



# E-ICES 7

Acta de trabajos completos





## Actas E-ICES 7

Trabajos completos presentados en el encuentro E-ICES 7 celebrado entre los días 31 de octubre al 3 de noviembre de 2011 en la ciudad de Malargüe.



Actas Trabajos Completos E-ICES 7 : trabajos completos / José Ruzzante  
...[et.al.] ; compilado por María Armeite y Emilia Molina. - 1a ed. - Buenos  
Aires : Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2012.  
CD-ROM.

ISBN 978-987-1323-27-2

1. Ciencias de la Tierra. I. Ruzzante, José E. II. Armeite, María, comp. III. Mo-  
lina, Emilia , comp.  
CDD 551

Fecha de catalogación: 16/05/2012

## AUTORIDADES ICES ARGENTINA

### Director Científico

Dr. José Ruzzante (CNEA).

### Secretaria 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. Lía Martínez (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. CynthiaHucailuk, 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)

Participaron en la organización del congreso alumnas del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de Cuyo sede Malargüe: María Belén Pedernera; Nadya Laciari; Cecilia Yamila Quiroga; Antonella Marianela Gómez.



# Índice

- 11** **Prólogo**  
José Ruzzante
- 12** **La Educación Ambiental como herramienta para la conservación del mallín**  
Barbieri P. - Cantarini M. S.
- 18** **G.E.M.A.S. Gestión de emergencias mediante análisis satelital**  
Barón J. - Miner G.
- 24** **Descripción petrográfica de cenizas del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa caídas en Malargüe el 5 de mayo de 2011**  
Bertotto G. W. - Visconti G.
- 28** **Métodos basados en computación de alto rendimiento para predecir el comportamiento de incendios forestales**  
Bianchini G. - Caymes Scutari P.
- 37** **Zonificación del riesgo de licuefacción asociado a sismicidad en el área norte de la provincia de Mendoza**  
Bravo V. - Silvestrini E. - Laudecina R. - Cisneros H. - López S. - Donaire G. - Torres J. - Capellozza Y. - Torres P. - Fermani S. - Castillo M.
- 48** **El nuevo observatorio geomagnético de Pilar, Córdoba, República Argentina**  
Cabrera E. - Riddick J. - Rasson J. - Gianibelli J. C. - Quaglino N.
- 57** **Geomorphometric Maps of Volcanic Areas through Multidimensional Analyses**  
Camiz S. - Poscolieri M.
- 67** **Tendencias del ozono troposférico en las estaciones GAW (Global Atmospheric Watch) en la Argentina**  
Carbajal Benítez G. - Barlasina M. E. - Copes G. - Cupeiro M. - Sánchez R. - Demasi M.

- 77** **Técnicas de estadística multivariada para la evaluación espacial y variación temporal de las características fisicoquímicas del agua de los ríos del departamento de Malargüe**  
Castaño Gañán A.R. - Barbero N. - Graciella V. - Martínez F.
- 83** **Marco normativo asociado a la prevención y mitigación de riesgos naturales de origen geológico con incidencia en el área metropolitana de Mendoza**  
Castillo M. - Fermani S. - Torres P. - Cisneros H. - Donaire G. - Laudecina R. - Capellozza Y. - Bravo V. - Silvestrini E. - López S. - Torres J.
- 94** **Riesgos naturales de origen geológico en la zona metropolitana de Mendoza: zonificación y mapeo. Propuestas de gestión**  
Cisneros H. - Delamarre J. - Coria M. - Torres J. - Laudecina R. - Bravo V. - Silvestrini E. - López S. - Donaire G. - Capellozza Y. - Torres P. - Fermani S. - Castillo M. - Carbajosa G. - Monárdez D.
- 103** **Variabilidad espacial y estacional de la temperatura de superficie en el Valle del Río Neuquén utilizando imágenes Landsat**  
Cogliati M.G.
- 110** **Observatorio Ambiental "Carcova": participación social en el monitoreo de la contaminación ambiental**  
Curutchet G. - Grinberg S. - Gutierrez R.
- 118** **Islas de calor en áreas metropolitanas: caso de Sevilla (sur de España)**  
De la Morena B. - Adame J.A. - Corzo M. - Mosert M.
- 127** **Diseño y avance del Proyecto MalARRgue**  
Draganov D. - Gómez M. - Ruigrok E. - Torres D. - Ruzzante J.
- 132** **Relación entre la flora y la geomorfología en un valle precordillerano con riesgo sísmico**  
Flores D. - Suvires G. - Dalmasso A.

- 138** **El Remonte Térmico de finales del periodo colonial en Chile y Argentina**  
Gascón M. - Caviedes C. N.
- 144** **Estimación de la actividad geomagnética en observatorios permanentes y estaciones base magnéticas**  
Gianibelli J. C. - Quaglino N.
- 151** **El modelo del campo geomagnético, la anomalía magnética del Atlántico Sur y la actividad solar**  
Gianibelli J. C.
- 159** **Parque Cretácico huellas de dinosaurios de Malargüe (Mendoza, Argentina): avances en los estudios icnológicos**  
González Riga B.J. - Ortiz David L. D. - Coria J. P.
- 167** **Desarrollo de una Metodología para Establecer Cotas Ortométricas mediante Observaciones de Gravedad, Nivelación Geométrica y Posicionamiento GNSS**  
Herrada A. H. - Miranda S. A.
- 172** **Relación entre sismos y emisión acústica en Cerro Blanco, Argentina**  
Hucailuk C. - Armeite M. - Filipussi D. - López Pumarega M. I. - Ruzzante J. - Sabio Montero M. A. - Veca B.
- 180** **Del viejo al nuevo mundo: Evidencia arqueológica del uso de plantas a través del registro de Cueva de Luna, Malargüe, Mendoza, Argentina**  
Llano C.
- 189** **Recuperación de un espacio periurbano ribereño: reserva natural Lagunas de Las Perlas. Neuquén**  
Martínez Fernández M<sup>a</sup> de la P.
- 200** **Evaluación de la calidad de las observaciones de una estación meteorológica automática**  
Mielnicki D. M. - Rössler C. E.

- 209** Desarrollo de un sistema para la medición de radón en tiempo real: determinación de la sensibilidad  
Miller M. - Villanueva J. - Pontiroli A.
- 215** Evaluación de la calidad del aire a través de la composición multielemental del líquen Parmotrema Austrosinense transplantado a la zona minera del oeste de Catamarca (Argentina)  
Mohaded Aybar C.B. - Jasan R.C. - Ocampo A.I. - Moyano R.G. - Coronel R.J. - Plá R.R.- Cañas M.S.
- 222** Análisis de Simulaciones Numéricas para el Procesamiento de Señales de un Radar de Aplicaciones Geofísicas  
Molina M. G. - Cabrera M. A. - Ezquer R. G. - Zuccheretti E.
- 229** Aplicación del método relación de Bowen para estimar la evapotranspiración sobre un cultivo de soja  
Ocampo D. - Rivas R. - Carmona F.
- 236** Estimación de la radiación neta a partir de datos meteorológicos en la región pampeana  
Ocampo D. - Rivas R.
- 243** Composición Elemental de las Partículas del Aire de una Zona de Montevideo, Uruguay  
Odino M d. R. - Gabrielli A. M. - Piuma L. A. - Reina E. A. - Suárez Antola R.
- 253** Caracterización fisicoquímica y radioquímica de polvo sedimentado en los departamentos de Colonia y Soriano de Uruguay  
Odino M d. R. - Gabrielli A. M. - Piuma L. A. - Reina E. A. - Suárez Antola R.
- 259** Caracterización geoecológica de la cuenca Río de Balcosna, departamento Paclín, provincia de Catamarca, Argentina  
Ovejero A.I. - Díaz M. A. - García M. E. - Márquez E. G.

- 265** **Historia ambiental de bosques de Prosopis flexuosa de cauce activo en el Desierto del Monte, NE de Mendoza**  
Piraino S. - Abraham E. M. - Roig Juñent F.A.
- 273** **Susceptibilidad Ambiental a la Licuefacción de Suelos en el Oasis Productivo de Zonda, Provincia de San Juan, Argentina**  
Pittaluga M. A. - Suvires G. M.
- 282** **Estudio petrográfico y geoquímico de los basaltos del centro eruptivo Cerro del Mojón, centro-oeste de la provincia de Río Negro**  
Ponce A. D. - Bertotto G. W.
- 291** **El Cambio Climático y destinos turísticos vulnerables. Una metodología para su estudio**  
Puccio H. - Grana N. - Bianchi G. - Olmos S. - Rial F.
- 301** **Biochemical indicators of nutritional status and its relation with feed intake in lactating beef cows fed in the rangelands of the Monte Desert of Mendoza, Argentina**  
Scotti A. - Camiz S. - Guevara J.C. - Stasi, C.R. - Visciglia, M.J. - Visciglia S.A.
- 313** **Oferta nutritiva para Lama guanicoe, bovinos y caprinos de vegas del Valle El Peñón, en la región del Complejo Volcánico Planchon-Peteroa, Malargüe, Mendoza, Argentina**  
Scotti A. - Durán V. - Lecitra R.
- 320** **Caracterización de cenizas del volcán Peteroa**  
Scotti A. - Torres D.N.
- 330** **Avance de la urbanización hacia tierras con riesgo de inundaciones. Aportes al Ordenamiento Territorial del Ejido de Plottier. Provincia de Neuquén**  
Tesoniero M. de los A.

- 336** **Análisis de la variabilidad climática del Oasis Norte de Mendoza y su relación con eventos de origen hidrológico-geológico. Propuestas de gestión**  
Torres J. - Cisneros H. - Capellozza Y. - Donaire G. - López S. - Laudecina R. - Torres P. - Silvestrini E. - Castillo M. - Bravo V. -Fermani M. S.
- 346** **Comparación de escalas de abundancia y/o cobertura para el estudio de la vegetación**  
Torres P.S. - Camiz S.
- 353** **Iniciación en la investigación científica en temas de glaciología. El glaciar piloto**  
Tosoni D. E.
- 361** **Recycling of slag from steel industry for CO<sub>2</sub> sequestration**  
Trapasso F. - Plescia P. - Tempesta E. - Esposito M. - Croci D.
- 369** **Aplicación del análisis de frecuencia regional en la Cuenca Andina del Río Grande, Mendoza**  
Vich A. I. J. - Bizzotto F. - Manduca F. - Vaccarino E.
- 380** **Recurrence Quantification Analysis of acoustic emission time series in the Peteroa volcano area (Argentina)**  
Zimatore G. - Rafanelli C. - Poscolieri M.

# Prólogo

Una vez más tengo el gusto de redactar el Prólogo correspondiente a este Séptimo Encuentro del ICES.

En esta ocasión se debe mencionar que se presentaron más de 105 trabajos con una importante participación de profesionales de Latinoamérica y Europa. Como es costumbre en estos Encuentros, se realizó el "Concurso de Jóvenes Investigadores" en el cual participaron 12 postulantes.

Debe destacarse también, que con el objeto de fomentar la interacción con la sociedad malargüina, se realizó una Mesa Redonda sobre "Impacto y Consecuencias de la Caída de Cenizas", en la que participaron destacados profesionales de distintas áreas y actores involucrados directamente en los hechos acaecidos durante la última erupción del Puyehue. Esta realización fue simultáneamente transmitida por radio y televisión a toda la comunidad. Así se mantuvieron presentes, dos de las premisas fundamentales del ICES: la multidisciplinaridad y la transferencia inmediata a la comunidad de los trabajos científicos. Bajo el mismo ámbito del E-ICES 7, y con idénticos objetivos, se realizó un simulacro de evacuación en una Escuela primaria de la zona, en colaboración con Defensa Civil de la Municipalidad de Malargüe. La evaluación de todos los observadores especialmente invitados para el ejercicio, fue muy satisfactoria.

Este Prólogo no estaría completo sin agradecer a las personas que colaboraron y que hicieron posible la realización del Encuentro. Sí!!, debo mencionar especialmente el apoyo de las siguientes Instituciones: Municipalidad de Malargüe, Embajada de Italia en Argentina, Fundación Williams, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica ANPCyT, Proyecto de Investigación PICT 2007-0001769 y al "Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, ICTP" de Italia.

Dr. José E. Ruzzante

ICES, Director Científico

*Buenos Aires, 9 de Mayo de 2012*

# La Educación Ambiental como herramienta para la conservación del mallín

## RESUMEN

San Martín de los Andes ocupa el valle modelado por el proceso glaciario, es un humedal continental de cordillera, ubicado en la cabecera este del Lago Lacar otra geoforma de origen glaciario, desarrollado sobre suelos volcánicos de poco espesor, con presencia de una napa de agua cercana a la superficie; uno de los ecosistemas más productivos de la Tierra; ubicada a 640 m.s.n.m; en el suroeste de la Pcia. del Neuquén.

El agua es el principal factor que controla el medio y la vida que en ellos se desarrolla: Almacenan agua, favorecen recarga y descarga de acuíferos, mitigan las inundaciones, retienen nutrientes, sedimentos y contaminantes actuando como un purificador; de gran productividad forrajera propicios para la cría de ganado y hábitat ideal para las aves acuáticas.

## ¿Por qué la Educación Ambiental?

Es una estrategia y herramienta que promueve cambios actitudinales, desarrolla compromiso ciudadano, y valores éticos con el medio que habita. La interpretación como el arte y la ciencia que propicia la conservación del recurso natural, revalorizando los espacios periurbanos. La Educación Ambiental favorece un espacio de participación y reflexión que involucra a la población local con el ambiente en el impulso de un turismo más sustentable.

Los objetivos propuestos son: Valorar el recurso natural mallín en su rol ecológico y la conservación. Realizar una propuesta de interpretación.

La Meta: desarrollar una propuesta con estudiantes de la carrera Guía de Turismo propiciando la reflexión, participación, apropiación; para fomentar el desarrollo de una

Patricia Barbieri (1),  
María Soledad Cantarini (2).

1- Universidad Nacional del Comahue – Facultad de Turismo – Asentamiento Universitario SM Andes -Carrera Guía Universitario de Turismo.

2- CPEM N° 57 - San Martín de los Andes.

[pbarbi@smandes.com.ar](mailto:pbarbi@smandes.com.ar)

mayor conciencia ambiental en la comunidad local y el visitante, y la conservación de este espacio.

## INTRODUCCIÓN

La presente propuesta de Educación Ambiental esta pensada para la Cátedra de Recursos Naturales Turísticos correspondiente al primer año de la carrera "Guía Universitario de Turismo" que se dicta en el Asentamiento Universitario de San Martín de los Andes, dependiente de la Facultad de Turismo – Universidad Nacional del Comahue.

Es importante que los futuros guías adquieran estos conocimientos para afianzar su formación integral como agentes de conservación, educación ambiental e interpretes del espacio "sistema área natural turística". Resignificando y fortaleciendo uno de los objetivos específico de la cátedra: "Propiciar una mayor conciencia ambiental del uso de los recursos naturales y del amor a la Naturaleza en el desarrollo del turismo y la recreación".

El proyecto combina estrategias Interpretativas e Investigación y acción buscando capacitar y formar a los alumnos en la comprensión de los fenómenos, el desarrollo de conocimientos singulares de casos particulares, desarrollar un pensamiento crítico para dar respuesta a problemas concretos.

Analiza e intenta movilizar formas de pensar; toma de posición a través de una serie de objetivos (que se irán alcanzando con el plan de actividades propuesto):

- Facilita a los estudiantes la oportunidad de practicar ciencias al aire libre. Tener contacto con su ambiente cercano, realizar sus propias observaciones.



- Estudiando aves reconociendo conceptos ecológicos, la identificación biorregional del bosque andino patagónico, sus especies, rasgos distintivos componentes claves,
- Rescatar y recuperar el uso histórico del mallín contraponiendo el desarrollo local (proceso de urbanización).
- Adquirir mayor concienciación del impacto ecológico que producen distintas acciones del hombre (urbanización, aprovechamientos productivos no regulados).
- Desarrollar un pensamiento crítico sobre investigaciones ecológicas aplicadas.

### Dónde se localiza el humedal

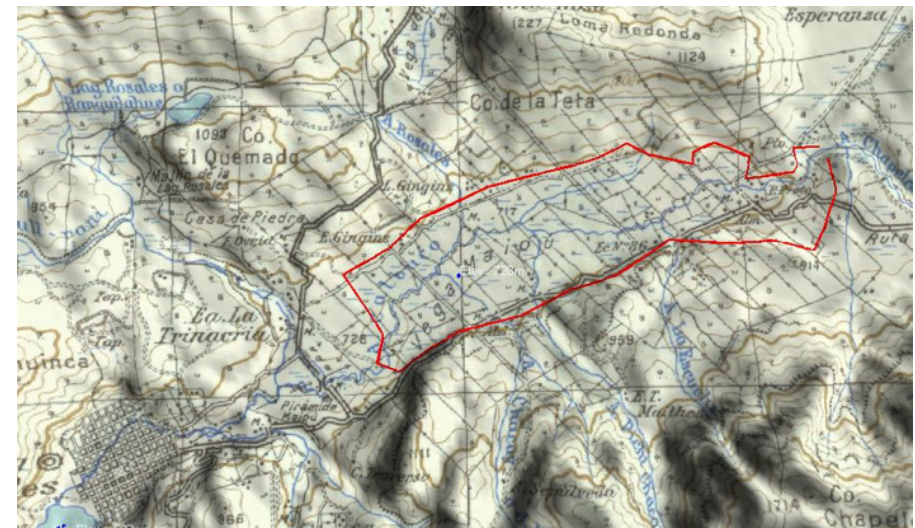
La localidad de San Martín de los Andes, enclavada en el departamento Lacar a 640 metros sobre el nivel del mar y con el marco de la región de los lagos del sur de la provincia de Neuquén, se asienta en un valle modelado por el proceso glaciario (valle en forma de "U", contenido entre 2 cordones montañosos de pendiente pronunciada).

El límite de la ciudad esta dado por la cabecera del sector este del lago Lacar. El terreno que ocupa el poblado es un valle que se extiende hacia el norte y presenta características de vega, lugar llano, fértil y húmedo; también denominado mallín. El termino "mallín" de procedencia araucana significa aguazal, bajos aguachentos o pradera cordillerana, se desarrolla sobre suelos de escaso drenaje de origen volcánico, de poco espesor, con presencia de una napa de agua cercana a la superficie en forma continua o temporal.

La fisonomía es de una pradera húmeda, siempre verde densa, con predominio de vegetación gramínea y con ciperáceas. El humedal es conocido con el nombre de la Vega Plana Maipú y se ubica a 8 kilómetros del casco céntrico de la ciudad, de forma longitudinal de NE a SO alimentado por el Arroyo Maipú que se une al los arroyos Trabunco y Pocahullo, cruzando la ciudad, para luego desembocar en el Lago Lacar y de aquí al Océano Pacífico.



*Imagen de Google sobre la ubicación de San Martín de los Andes y la verde extensión de la Vega Plana Maipú, hacia el norte de la Ciudad.*



*Sector de la carta topográfica de San Martín de los Andes, el sector de la vega remarcado en color rojo.*

### El Rol Ecológico

Geográficamente estos ambientes en la Argentina son considerados "humedales" desde Tierra del Fuego hasta Mendoza y desde la cordillera de los Andes hasta el Océano Atlántico, ocupando una superficie de 4.000.000 hectáreas, lo que equivale al 4% de la Patagonia distribuidos en las áreas ecológicas: Cordillera, Precordillera, Sierras y mesetas, Región del Golfo, Estepa Magallánica (Bran 1.992). En ellos el agua es el principal factor que controla el medio, la vida vegetal y animal relacionada con él, constituyen uno de los ecosistemas más productivos de la Tierra.

Desempeñan diversas funciones vitales como por ejemplo:

- Almacenamiento de agua.
- Protección contra tormentas y mitigación de inundaciones.
- Recarga y descarga de acuíferos.
- Purificación de las aguas mediante la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes.
- Estabilización de las condiciones climáticas locales (precipitación y temperatura).
- De gran productividad forrajera propicios para la cría de ganado.
- Hábitat ideal para las aves acuáticas.
- Recreación al aire libre.

### "La avifauna" el gran atractivo, natural y singular

Se han realizado varios trabajos científicos de relevamiento, y 22 monitoreo de aves en la Vega Maipú, por la Asociación Aves Patagónicas, algunos de los datos destacados: a lo largo del año se observan en el lugar 113 especies de aves, (de las 181 especies que se pueden observar en San Martín de los Andes y alrededores) entre ellas aves endémicas y migratorias, así cada año se registran nuevas especies que avanzan en su distribución territorial, entre ellas el Pitotoy Chico que migra desde Ártico y llega en primavera recorriendo 12.000 kilómetros o también la golondrina Zapadora que migra desde y hacia los Estados Unidos.

Presenta el ambiente ideal para el desarrollo del Cauquen común y Cauquen real con la curiosidad de que también es el sitio elegido de invernada por el Cauquen Real; su población alcanza un número de alrededor de 2.800 individuos entre los meses de Junio y Agosto; estos rasgos distintivos que vinculan la riqueza y diversidad de aves con el sustrato donde se desarrollan o migran genera un polo para el desarrollo local, regional en especial el Ecoturismo bajo la forma de birdwatching, y el turismo científico.



### EL PROBLEMA

La falta de espacio para el crecimiento urbano en San Martín de los Andes, se ha transformado en un problema de difícil solución ante la fuerte explosión demográfica motivada por la inmigración en las últimas décadas que provocó que la localidad creciera hacia el único lugar posible, a lo largo del valle hacia la zona de "la vega".

La Presión del sector inmobiliario sobre el mallín para dar respuesta al desarrollo urbano y la falta de conocimiento de la dinámica y fragilidad del mallín por parte de los vecinos recién llegados, genera inconvenientes. Sin embargo el municipio ya había tomado provisiones a través de la ordenanza municipal del año 1987. A fin de preservar los cursos de agua presentes en el sitio, se determina la categoría: "TUTELA HIDRO-BIOLÓGICA para el área contemplada en el artículo 25 de la citada ordenanza.-prohibiéndose afectaciones antrópicas sobre los distintos cursos de agua, incluidas obras civiles (taludes, explanadas, obras de relleno, edificaciones, etc.) u otras actividades. Posteriormente la nueva Ordenanza N° 8390/09 abre a la urbanización de 495 hectáreas de la Vega Plana y permite que se construyan en ella más de 4.000 viviendas.



### Y...¿por qué la educación ambiental?

La educación ambiental, genera procesos que promueve cambios actitudinales desarrolla compromiso ciudadano, valores éticos con el medio que habita. La interpretación del paisaje, arte y ciencia, estrategia de la educación ambiental que propicia la conservación del recurso natural.

Así el guía naturalista se transforma en el nexo entre el visitante y el medio promueve cambios en su modo de actuar generando:

1. Conciencia respecto al uso mediante estrategias de Interpretación Ambiental
2. Ayuda a comprender procesos e interrelaciones
3. Enriquece la experiencia recreativa y el disfrute de la naturaleza.

### Fundamentación

En la E A es necesario un enfoque integral y multidisciplinar. No basta con la comprensión de la realidad, y para esto tenemos que repensar los contenidos. "Para que los contenidos educativos se encuentren en perfecta consonancia con lo que el estudiante es, a partir de su entorno cultural y natural, pero es preciso también que esos contenidos puedan proveer la habilidad de conocer las causas de los problemas y no solo sus efectos mas aparentes." La E A puede hacer contribuciones en una pedagogía de la diferencia en oposición a una pedagogía de la desigualdad. "La formación de una conciencia ambiental requiere insistir en el sustrato socio afectivo de los procesos educativos, lo cual no se puede restringir al aumento de dosis de información".

El conocimiento del medio debe entenderse como un conocimiento procesual y relativo." (Eduardo Garcia- 1997); esto explica el papel de la Educación Ambiental a través de la cual los individuos se acercan desde el saber cotidiano e inmediato al menos evidente y más complejo (marcando la transición de lo simple a lo complejo). La Educación Ambiental, proceso que promueve cambios actitudinales desarrolla compromiso ciudadano, valores éticos con el medio que habita. La interpretación de la naturaleza es el arte y ciencia, estrategia y herramienta para la conservación del recurso natural.

La interpretación del paisaje entendida como arte y ciencia, estrategia y herramienta para la conservación del recurso natural.

El guía universitario de turismo es el Nexo entre el visitante y el medio; promueve cambios en su modo de actuar > Concientiza respecto al uso > mediante estrategias de Interpretación Ambiental:

- Ayuda a comprender procesos e interrelaciones.
- Colabora en el desarrollo del turismo sustentable.
- Enriquece la experiencia recreativa y el disfrute de la naturaleza.

La Educación Ambiental, la Interpretación del paisaje, y el guía en su rol como agente de conservación componen una entramada relación, a favor de la experiencia del visitante, el residente, y la conservación del ambiente.

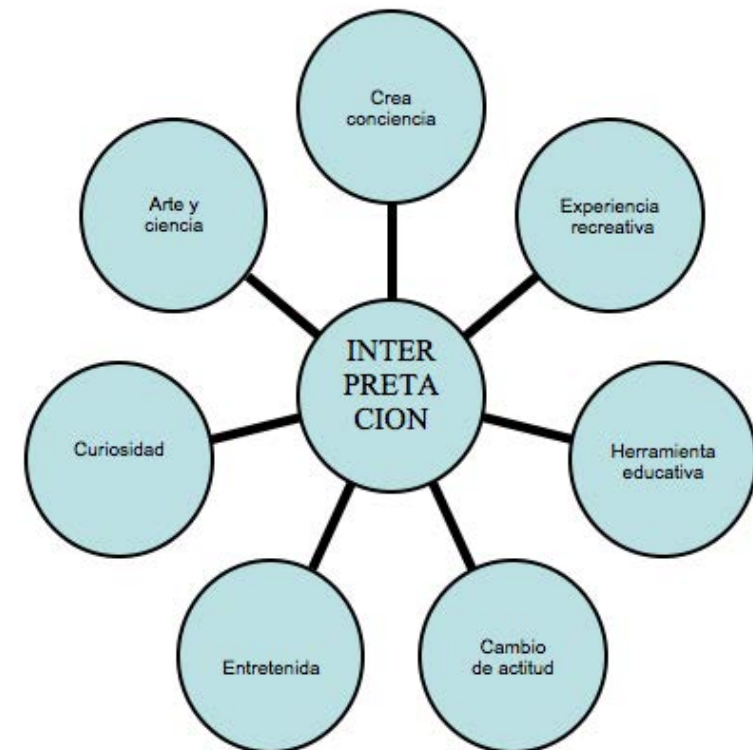


Gráfico que explica las funciones de la interpretación.

## EL PROYECTO EDUCATIVO

### Objetivo General

- Concienciar a los jóvenes de la importancia en la conservación del humedal (mallín) como parte del ambiente, ecosistema su funcionamiento en la dinámica del agua y soporte de la diversidad de avifauna.

### Objetivos específicos

- Valorizar el mallín como un recurso natural geológico y su conservación.
- Identificar el mallín como sitio para la recreación y el turismo en su rol como hábitat de las aves acuáticas.
- Realizar una propuesta de interpretación que vincule el humedal y las aves.

### Actividades

- a. Mapa parlante: A partir del plano de la vega plana se realizó un relevamiento del humedal-mallín; se identificaron y localizaron los sitios donde se concentra la avifauna.
- b. Se realizan observaciones de la avifauna y su hábitat; adaptaciones al ambiente en picos, patas, dieta, sitios de nidificación; tipo y características de la vegetación presente, y el cambio según el área en el mallín, y las diferentes problemáticas asociadas al mismo; en los sitios localizados en el punto anterior, se toman muestras fotográficas.
- c. Huellas: Los estudiantes analizan y comparan las actividades desarrolladas en el pasado y las que se desarrollan en la actualidad > El hombre y el uso de los recursos naturales.

Se realiza un registro de los efectos e impactos observados.

- d. El fuego y el hielo: Los procesos naturales que actuaron en el pasado fueron modelando la tierra para formar el paisaje actual. Vulcanismo – Glaciación la relación de los procesos en la formación del humedal de cordillera destacando sus rasgos singulares.
- e. Conservar. ¿...? Se recupera y resignifica el concepto de "Conservación", valor, alcance y aplicación a partir de preguntas disparadoras como: ¿Qué es conservar, cuál es su alcance? ¿Qué conservar? ¿Por qué?
- f. Diseñar el texto de un cartel interpretativo donde se vincula el humedal y las aves.

Se completó la información a partir de bibliografía indicada por la cátedra.

Resultados: Texto propuesto por un grupo de alumnos:



*Bandurria austral.*

Mi nombre científico es: *Theristicus melanosis*. Mido unos 60 cm, tengo una corona y cuello de color canela, espalda cenicienta, un babero negro, patas rojas; mi pico largo y curvo me permite capturar lombrices y otros bichos que son el menú de cada día. Tengo una fuerte voz que suena como una trompeta. Me gusta andar en grupos y cerca del hombre.

Mi hábitat es este hermoso humedal de cordillera llano, fértil denominado mallín; en términos araucanos significa aguazal. Es una pradera húmeda con gramíneas y ciperáceas; la comparto con amigos ganado vacuno y equino que se alimentan de los pastos verdes durante todo el año dada su capacidad forrajera, y otras aves el

Cauquen real, la gaviota capucho café, el pato maicero, el tero, si me acompañan se las presento.

El mallín es un recurso natural- atractivo que permite realizar actividades al aire libre; la observación de aves que no sólo permite identificar gran diversidad de especies sino que al mismo tiempo crea conciencia y educa a la población sobre la conservación de la avifauna y el hábitat en que viven.

*Alumnas: Acuña-Ascencio- D Urso- Santivañez*

### **METAS**

Esta propuesta educativa es en si misma un gran desafío que intenta abordar: La Conservación., como desarrollo sustentable y sostenido; que se puede lograr a través de la Educación en todos los niveles de la sociedad para que los niños de hoy, adultos de mañana se familiaricen con su entorno natural, reconozcan las consecuencias de las decisiones que toman que afectan ese entorno. Propiciando el desarrollo de actividades turístico -recreativas en el marco del ecoturismo:

- Interpretación de la naturaleza, Observación de aves- birdwatching, agroturismo.
- Participación, y/o colaboración en el diseño y propuesta de crear una Reserva urbana en un sector del mallín, intentando acercar los distintos sectores y trabajar de manera conjunta.
- Contar con el apoyo, participación y compromiso de los diferentes actores sociales.

### **CONCLUSIÓN**

El Impacto esperado es lograr que los alumnos estudiantes, se apropien y redescubran el valor de este humedal su uso en el tiempo e importancia y sientan el deseo de transmitirlo, protegerlo e incluso hacerlos sentir propietarios de la reserva.

“Dar respuesta a las necesidades sociales del presente, garantizando la presencia del recurso para las generaciones futuras”.

Aprovechando la creciente demanda por zonas para realizar observación de aves (sobre todo en invierno) y por todo lo anterior, consideramos que es un área para conocer y proteger, y nada mejor que nuestra aldea de montaña, cuente con un lugar tan cerca para ver la Naturaleza en su esplendor.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Galano, C Cultura, ciencia y Sociedad. Modulo 1. Carrera de Especialización en Educación en ambiente para el desarrollo Sustentable. CTERA /EMV – UNCo FAC de Ingeniería. 2004.
- Priotto, Guillermo Dossier Bibliográfico Modulo VIII - Carrera especialización Educación en Ambiente para el desarrollo sustentable. UNCo. – CTERA / EMV 2005.
- Enrique Leff. Saber Ambiental. Sustentabilidad, Racionalidad, Complejidad, Poder. PNUMA. Siglo veintiuno editores.
- Garret, Roger: Resolver problemas en la enseñanza de las Ciencias. Universidad de Bristol- Gran Bretaña.
- Feisenger, P; y otros: Senderos y recorridos de indagación: Guía para diseñar experiencias en áreas naturales y otros espacios educativo recreativo. Versión. 1.0.0 sept. 2006.
- Laclau, Pablo: Estudio Agro económico de la Vega Maipú (provincia del Neuquén) SMA – 1988.
- Gandullo Schmid- Análisis económico de mallines del Parque provincial Copahue, Neuquén Argentina (2001).
- Bergallo, A- Casals, N- Martinez, M- Barbieri, P. UNCo, Facultad de Turismo, “Las Áreas Naturales y el Turismo”. EDUCO – 2004.
- Francisco Perito Moreno. Una excursión al Neuquén, río Negro, Chubut y Santa Cruz. 1999 Editorial el Elefante Blanco.
- Comisión para la Cooperación Ambiental, Turismo Sustentable en Áreas Naturales. Montreal, Canadá -2008
- [www.smandes.gov.ar](http://www.smandes.gov.ar) (digesto- normativa total. – vega and plana).

# G.E.M.A.S. Gestión de Emergencias Mediante Análisis Satelital

## RESUMEN

Mendoza es territorio vulnerable por sus condiciones naturales: aluviones, lluvias, viento, granizo, terremotos, volcanes y riesgos antrópicos: destilería, diques, etc. El Desarrollo Humano de la Provincia debe minimizar riesgos, para sus habitantes, sus bienes e inversiones.

El ICES elabora y pone en marcha el Plan GEMAS (Gestión de Emergencias Mediante Análisis Satelital) tendiente a utilizar últimas tecnologías para evitar DESASTRES NATURALES Y ANTRÓPICOS, actuando en las etapas de pre-emergencia, emergencia y post-emergencia. Utiliza como base un sistema de información geográfico de software libre.

La Comisión Nacional de Asuntos Espaciales implementa el uso de imágenes SIASGE (Sistema Italo-Argentino de Satélites de Gestión de Emergencias), para ser utilizados en caso de producirse algún evento.

Los fenómenos naturales, se convierten en desastres después del evento. Estos pueden minimizarse con planes de contingencia vigentes. El agua, la electricidad y la distribución de alimentos se ven seriamente afectados ante un evento natural. La falta de estos servicios, producen más víctimas que el evento mismo.

En Mendoza 40 entidades proveen agua; nueve proveen electricidad y seis mercados cooperativos proveen alimentos. Prestan de servicios a, aproximadamente, el 80% del territorio provincial. La Provincia debe contar con estas entidades en casos de desastres.

Las empresas mendocinas de tecnología y servicios se encuentran agrupadas en el Instituto de Desarrollo Industrial, Tecnológico y de Servicios (IDITS) que ha firmado un convenio con el ICES para convocar y comprometer a las empresas para colaborar con sus recursos en caso de Emergencias. Para gestionar todos estos recursos, el

J. Barón (1),  
G. Miner (2).

1- Miembro del Consejo de Representantes por la UNCuyo - ICES Argentina.

2- Ministerio de Desarrollo Humano, Familia y Comunidad, Gobierno de Mendoza.

[jbaron@fing.uncu.edu.ar](mailto:jbaron@fing.uncu.edu.ar)

ICES está produciendo esta herramienta para gestionar el riesgo que derive en un plan de contingencia para la Provincia de Mendoza y quiere presentarla en ICES 7.

## PLANTEO DEL PROBLEMA

***fenómenos naturales ó acciones antrópico - tecnológicas + vulnerabilidad = desastre***

Vemos que los desastres sobrevienen al hombre cuando se encuentra en situación de vulnerabilidad. Esto significa que ha construido indebidamente o en sitios de riesgo, ya sea para vivir o para sus industrias.





La amplitud del PLAN GEMAS requiere un equipo multidisciplinario para poder abarcar todas las áreas necesarias. Sin embargo hay proyectos en ejecución y recursos humanos y materiales disponibles que permiten que este proyecto sea posible. Es indispensable entonces:

- educar para el riesgo ,
- estudiar los fenómenos naturales que generan riesgo en toda su amplitud,
- utilizar todos los recursos científicos disponibles para saber de ellos,
- predecir en la medida de lo posible lugares y tiempos en que se producirán,
- cuantificar los daños humanos y materiales antes y después en función de la zona,
- cuantificar por ende los recursos necesarios,
- relevar los recursos existentes,
- involucrar a toda la sociedad en la gestión del riesgo,
- generar la cartografía necesaria de todo el problema en formato de un sistema de información geográfico de plataforma gratuita.

**Se pretende en definitiva hacer del mundo un lugar más seguro para vivir.**

## DESARROLLO

### Educación para el riesgo

Las universidades vienen trabajando conjuntamente en gestión y educación de riesgo de desastres pre emergencia y pos emergencia:

- Uncuyo: Universidad Nacional de Cuyo.
- UTN: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.
- Ices: Centro Internacional de Ciencias de la Tierra.
- Iusp: Instituto Universitario de Seguridad Pública.

El ICES y el IUSP son institutos de la UNCUYO. La Uncuyo y la UTN vienen trabajando desde hace más de 3 años, realizando las jornadas internacionales sobre gestión de riesgo de desastres conjuntamente con otras instituciones provinciales, nacionales e internacionales. Estas jornadas han dado lugar a varias publicaciones, entre ellas la 1ra y 2da Carta de Mendoza sobre Gestión de Riesgo de Desastres, que ponen de manifiesto la vulnerabilidad de la zona y las falencias de capacitación e interacción entre los distintos actores.

La UNCUYO y la UTN son universidades que cuentan con los medios para una difusión a nivel nacional en acciones de prevención y capacitación. Atiende prioritariamente a la investigación aplicada y al desarrollo e innovación tecnológica que le sea requerida por el Estado Nacional, las Provincias y Municipios y el sector productor de bienes y servicios. Respecto a las relaciones internacionales, cuentan con convenios de Relaciones Internacionales que tiene por misión vincular las Universidades con la sociedad y el mundo, posicionándola a nivel internacional y regional. A nivel internacional, las Universidades tienen el objetivo general de coordinar y ejecutar proyectos y programas de intercambio con pares extranjeros trabajando sobre un plan estratégico de Cooperación Internacional y de Intercambio Académico.

Acciones generadas en educación:

- Beca Mauricio López.
- Modelo de educación para la gestión del riesgo de desastres.



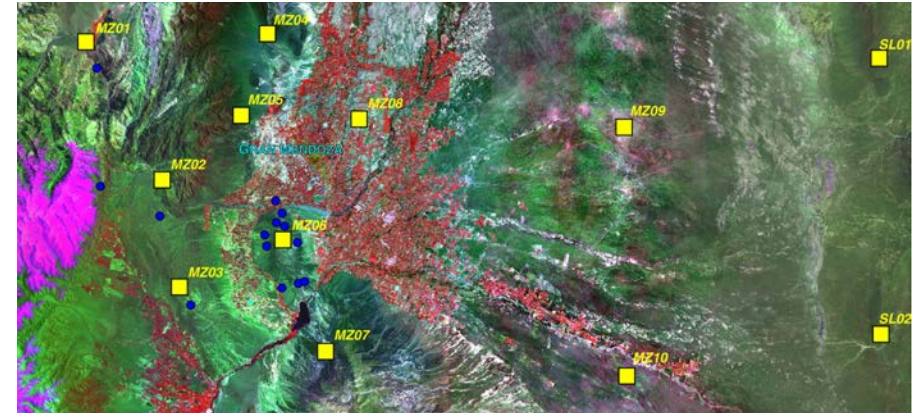


Para completar el ciclo educativos se pretende implementar:

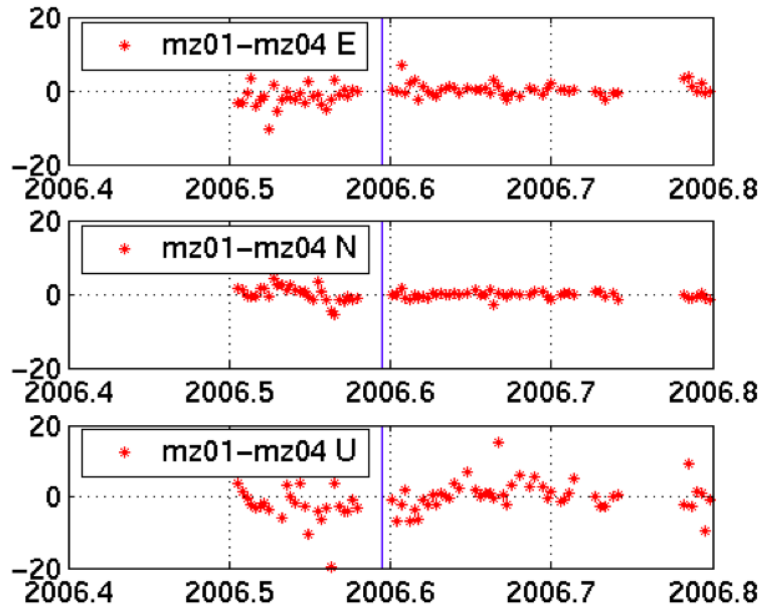
- Educación por dibujo propio.
- Simulador de seísmos en juegos infantiles.
- Preparación de material para distintos niveles.

### **Estudiar los fenómenos naturales que generan riesgo en toda su amplitud**

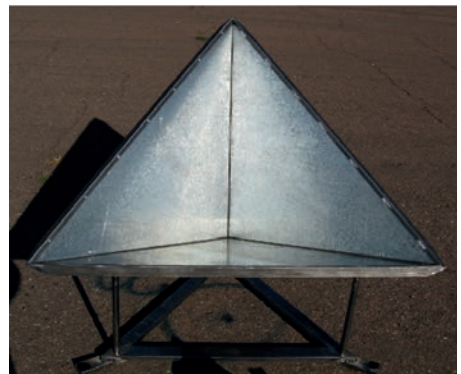
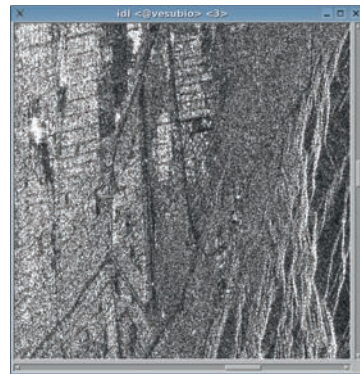
Los proyectos y recursos científicos actuales del ICES y la Uncuyo permiten medir la sismicidad en distintas zonas del país y el extranjero, a partir de una red GPS de estaciones permanentes. Su objetivo es estudiar tectónica de placas y efectos de terremotos, lo que ya permite saber donde se pueden producir estos eventos y su intensidad aproximadamente.







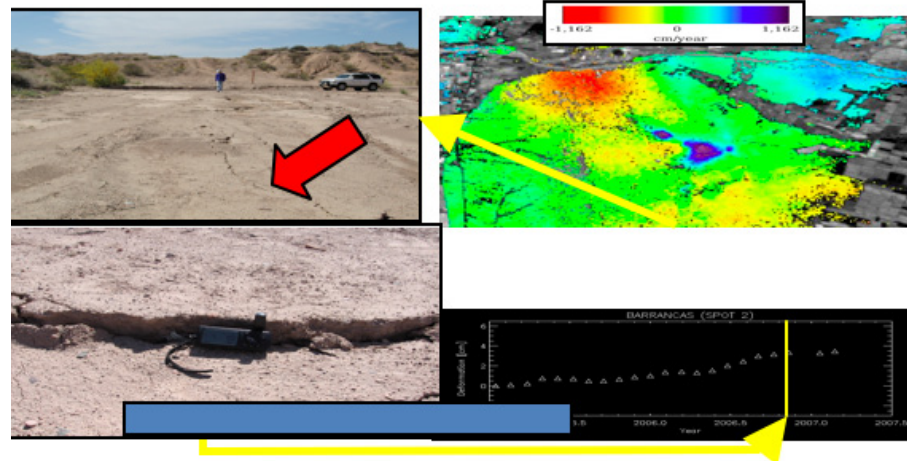
Red GPS (en ejecución) para control de la deformación cortical (ejecutada y en proceso de ampliación). Determina corrimiento dirección de movimiento de placas tectónicas.



Fabricación de conos de reflexión para orientar imágenes satelitales.



Prever y cuantificar daños humanos y materiales antes y después en función de la zona. En la imagen se distinguen casas de adobe y casa antisísmicas.



Estudios de sismos a partir de imágenes satelitales.

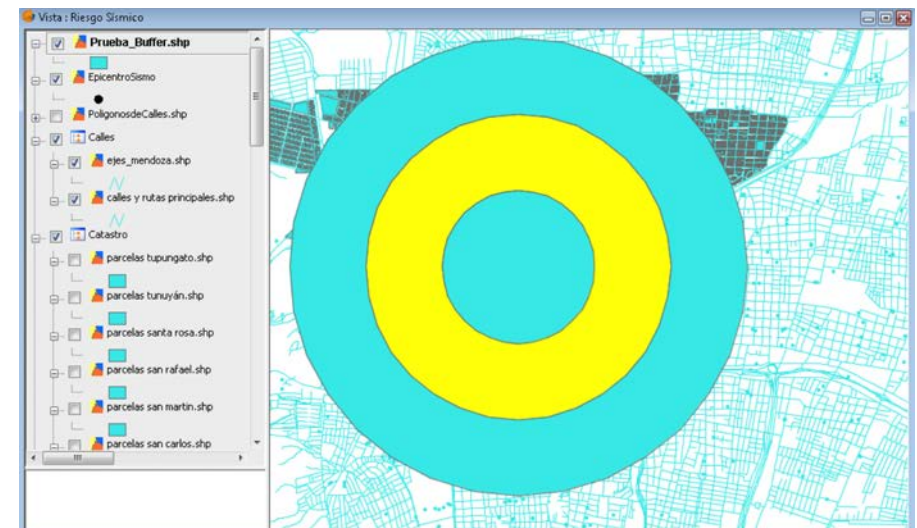
## Relevar los recursos existentes

Generar la cartografía necesaria de todo el problema en formato de un sistema de información geográfico de plataforma gratuita. El sistema ya cuenta con información brindada por las distintas instituciones y son parte del SIG de GEMAS: estaciones de bomberos, policía, hospitales, escuelas, industrias, clubes, polideportivos, centros de salud, etc.



Por otra parte se han generado los protocolos necesarios para la carga y manejo de la información.

En la imagen inferior vemos el área de influencia de un sismo que genera automáticamente la cantidad de personas e instituciones afectadas, en distintos radios de efecto de la onda sísmica.



### **Involucrar a toda la sociedad en la gestión del riesgo**

Preparar a la sociedad para que actúe en emergencia. Existen recursos en todas las instituciones, empresas, incluso particulares que deben ser parte del SIG. Hay que saber cuántos y donde están: generadores, GPS, radios, vehículos 4 x 4, motos enduro, ambulancias, camas, respuesta hospitalaria, gestión de albergue, etc.

Formación del equipo de profesionales de alerta, riesgo, acción y mitigación con **“ la misión de reducir el riesgo”**.

- **Misión Costos** “vivir más seguro cuesta menos”. Ejemplos claros del ahorro de la prevención y la planificación urbana.
- **Misión Ayer** “no perdamos nuestra historia”. Riesgo en reservas naturales, patrimonio histórico, bibliotecas.
- **Misión Palabra** “una sola voz” Sistema de alerta.
- **Misión Natura** “convivimos con la naturaleza”. Turismo de riesgos. Turismo para reducción de desastres. Pistas de interpretación. Viajes incendios. Viajes a zonas volcánicas.
- **Misión Todos**. Preparar a la sociedad: industria, médicos, psicólogos, etc. para que actúe en emergencia.

### **Falta realizar las siguientes acciones:**

- **Relevamientos:** Detalle de organizaciones nacionales e internacionales, detalle de fuentes de financiamiento, memoria histórica de eventos, legislación sobre riesgos.
- **Mapas:** SIG de la historia de eventos, Mapa de riesgo múltiple, SIG de instalaciones críticas.

### **Estudios pendientes:**

- Protección de la documentación de dominio.
- Medicamentos y prótesis.
- Mascotas.
- Por qué no hay conciencia.
- Efecto sobre el turismo.
- Sistema de alerta temprana.

### **Comunicaciones de emergencia:**

Debe considerarse el quiebre del sistema de comunicaciones ante la emergencia, para lo cual el PLAN GEMAS realiza gestiones con instituciones públicas y privadas para su implementación.



# Descripción Petrográfica de cenizas del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa caídas en Malargüe el 5 de Mayo de 2011

Gustavo Walter Bertotto (1),

Graciela Visconti (2)

1- INCITAP (CONICET-Universidad Nacional de La Pampa).

2- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa.

[gwbertotto@yahoo.com.ar](mailto:gwbertotto@yahoo.com.ar)

## RESUMEN

Se presentan los análisis al microscopio óptico efectuados sobre tefra de tamaño ceniza provenientes del complejo Planchón-Peteroa, colectadas en Malargüe el 5 de mayo de 2011. Las cenizas están compuestas por 56% de fragmentos líticos volcánicos (pasta vítrea-criptocristalina +/- plagioclasa); 23,25% de fragmentos vítreos (trizas blancas + vidrio blanco vesiculado + vidrio castaño sin vesicular) y 20,75% de fragmentos de cristales (plagioclasa >> piroxenos y cuarzo). Los fragmentos presentan contornos angulosos y el diámetro máximo varía entre 0,02 mm y 0,126 mm, la mayoría corresponden a tamaños entre 0,06 y 0,10 mm. Teniendo en cuenta la división entre ceniza fina (menor a 0,0625 mm) y gruesa, el 26% de los fragmentos corresponden a ceniza fina y el 74% a ceniza gruesa.

## INTRODUCCIÓN

El complejo Planchón-Peteroa o Azufre-Planchón-Peteroa se ubica en el límite entre las repúblicas de Argentina y Chile. La historia geológica de este complejo comenzó con la construcción durante el Pleistoceno del volcán Azufre, con lavas de composición andesítico-basáltica y dacítica, posteriormente durante el Pleistoceno superior se formó el volcán El Planchón con productos volcánicos de composición basáltica y andesítica-basáltica [1, 2, 3]. Ya en el Holoceno se desarrolló el volcán Peteroa, el cual emitió productos de variada litología incluyendo basaltos, andesitas basálticas, andesitas, traquiandesitas y traquidacitas [1, 3, 4]. El centro de emisión actual se localiza entre los centros Planchón y Peteroa [2] aproximadamente a los 35° 14' 30" de latitud sur y 70° 34' 30" de longitud oeste, distante unos 90 km en línea recta a la ciudad de Malargüe.

Las erupciones históricas (desde el año 1660 hasta la actualidad) tuvieron en su gran mayoría un índice de explosividad volcánica de 1 a 2, sólo una de 3 (1660) y una de 4 (1762) [2, 4].

Las últimas erupciones ocurrieron en septiembre-octubre de 2010 [4] y abril-mayo de 2011, durante las cuales se registraron varias emisiones de gases y material piroclástico, el cual en algunos casos llegó a la ciudad de Malargüe. La erupción del 2010 fue del tipo freatomagmático, se inició el 4 de septiembre y se extendió por 48 días con un índice de explosividad volcánica de 1 [4].

Durante el corriente año se registró la emisión de cenizas (y vapor de agua) desde el 16 de abril al 7 de mayo aproximadamente [5], con columnas eruptivas de hasta 1200 m de elevación por encima del cráter de emisión.

La proveniencia del complejo Planchón-Peteroa de la ceniza analizada, está confirmada por las imágenes satelitales del 5 y 6 de mayo de 2011 (Fig. 1) y de las imágenes captadas por la cámara del ICES-Malargüe (Fig. 2). Las imágenes muestran dispersión de piroclastos de color gris dirigidas al norte el 4 de mayo (Fig. 2), al este-sureste el 5 de mayo (Figs. 1, 2) y al sureste el 6 de mayo (Figs. 1, 2). La dispersión de piroclastos fue cambiando desde el norte el 4 de mayo al este-sureste el 5 de mayo y al sureste el 6 de mayo, lo que llevó a su caída en la ciudad de Malargüe entre el 5 y 6 de mayo.

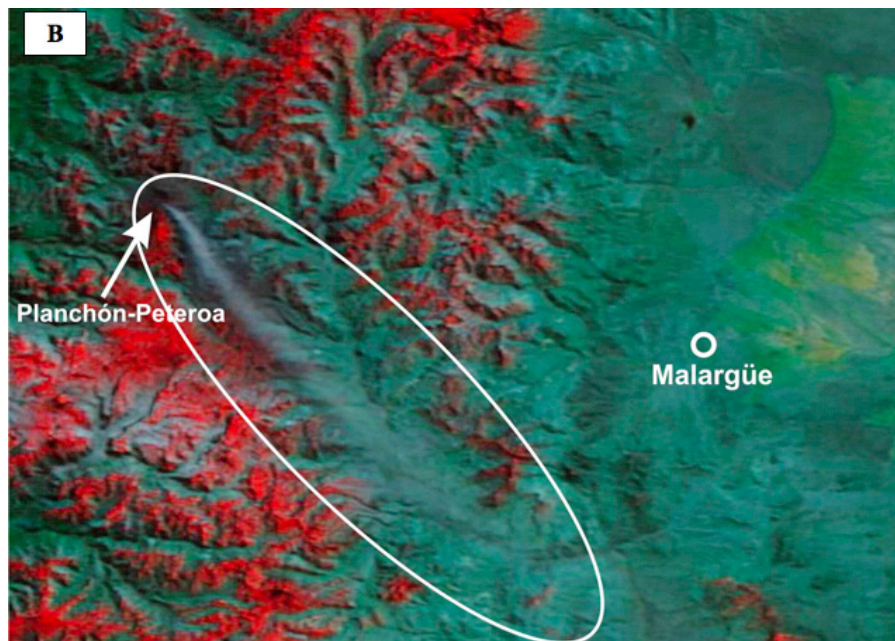
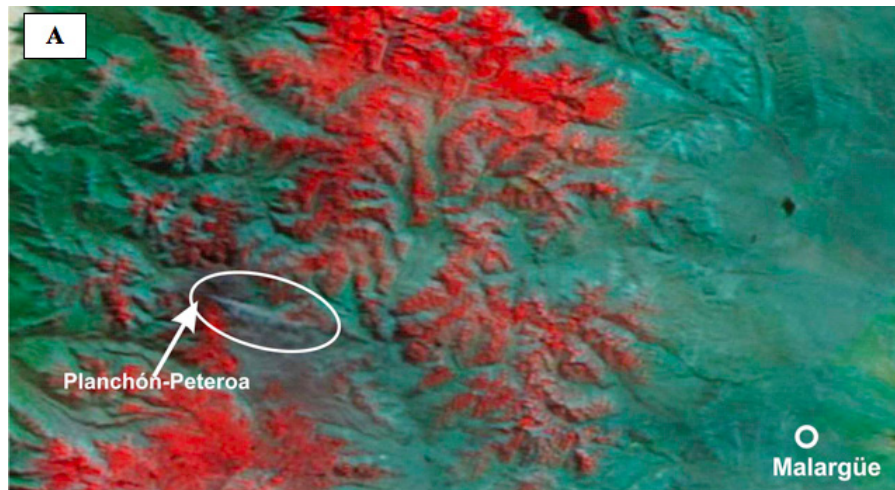


Fig. 1. Imágenes satelitales (MODIS-Terra) con combinación de bandas 3-6-7, del 5 (A) y 6 (B) de mayo del 2011. Se encierra con una elipse la dispersión de piroclastos en el momento de captura de la imagen. Disponibles en: <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?subset=CentralAndes>.





Figura 2. Dispersión de piroclastos desde el complejo Planchón-Peteroa el 4 (A), 5 (B) y 6 (C) de mayo de 2011. Imágenes captadas por la cámara del ICES-Malargüe, disponibles en <http://www.icesmalargue.org/>.

## MÉTODOS

El material piroclástico fue colocado sobre portaobjetos y fijado con resina epoxi transparente. Los preparados fueron observados y determinados con microscopio óptico petrográfico y, con el auxilio de un contador de puntos automático se realizaron los conteos y mediciones. Para la estimación de las proporciones de los componentes se contaron 400 granos linealmente a intervalos regulares en las secciones con los granos montados [6]. Las mediciones del tamaño se realizaron sobre 50 fragmentos, siguiendo también una línea.

## DESCRIPCIÓN DE LAS CENIZAS

Se hallaron las siguientes variedades de componentes en la ceniza:

- Fragmentos líticos volcánicos: formados por pasta vítrea a criptocristalina con o sin plagioclasa (Fig. 3). Cuando la plagioclasa está presente, se manifiesta la textura porfírica del fragmento. Poseen formas irregulares y contornos angulosos.
- Fragmentos vítreos: incluyen en orden de abundancia: trizas, vidrio blanco vesiculado, vidrio castaño sin vesicular y vidrio fluidal (Fig. 3). Los fragmentos vítreos poseen formas irregulares con los contornos más angulosos entre los tres tipos de fragmentos. Los fragmentos de vidrio castaño frecuentemente incluyen pequeños cristales no identificables ópticamente (cristalitos).
- Fragmentos de cristales: los minerales identificados fueron mayormente plagioclasas y, en menor medida piroxenos y cuarzo (Fig. 3). Las plagioclasas son principalmente incoloras y en menor medida grisáceas, se presentan con y sin macla de albita o Carlsbad. Los piroxenos son mayormente clinopiroxenos.

A partir del conteo efectuado se determinó que las cenizas están compuestas por 56% de fragmentos líticos volcánicos, 23,25% de fragmentos vítreos y 20,75% de fragmentos de cristales. La composición de esta tefra es equivalente con la de una Toba lítica [7].

El diámetro máximo varía entre 0,02 mm y 0,126 mm, la mayoría corresponden a tamaños entre 0,06 y 0,10 mm. Teniendo en cuenta la división entre ceniza fina (menor a 0,0625 mm) y gruesa, el 26% de los fragmentos corresponden a ceniza fina y el 74% a ceniza gruesa.



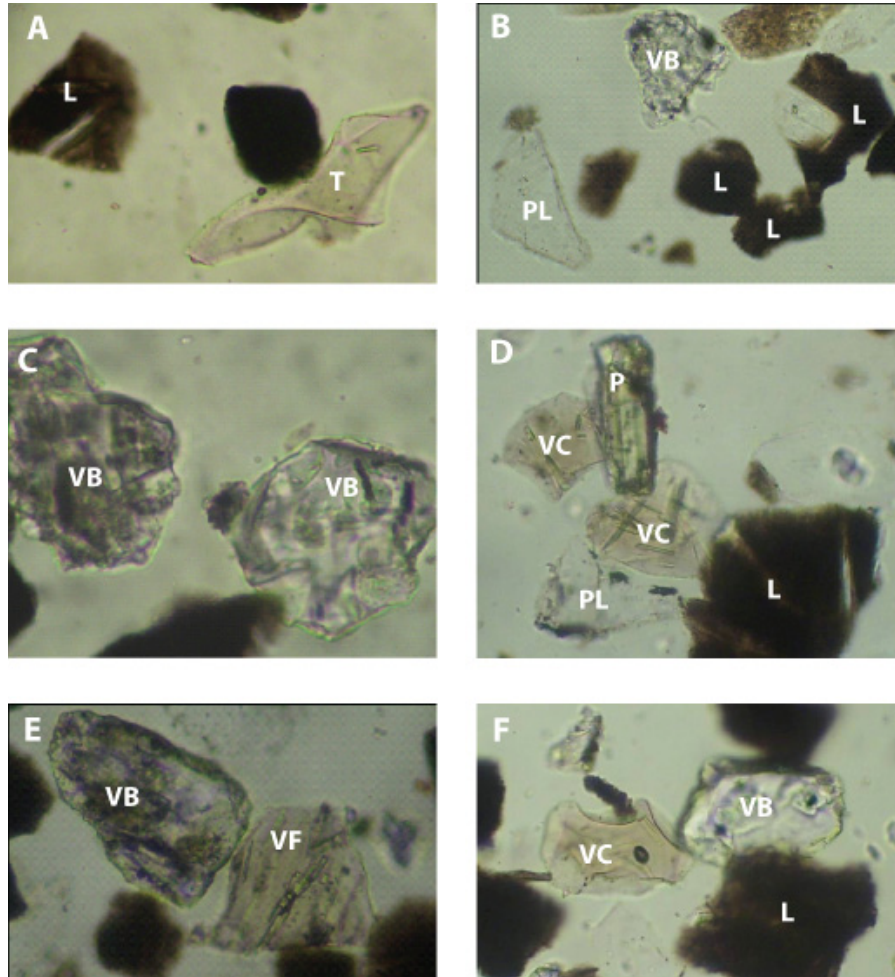


Fig. 3. A. Lítico volcánico (L) y triza (T); B, líticos volcánicos (L), plagioclasa (PL) y vidrio blanco vesiculado (VB); C, vidrios blancos vesiculados (VB); D, piroxeno (P), vidrios castaños con inclusiones (VC), plagioclasa (PL) y lítico volcánico (LV); E, vidrio blanco vesiculado (VB) y vidrio fluidal (VF); F, vidrio castaño (VC), vidrio blanco vesiculado (VB) y lítico volcánico (L). La barra blanca representa 0,05mm.

## DISCUSIÓN

La textura, el color de la pasta y la presencia dominante de plagioclasa como fenocristal de los fragmentos líticos, permite postular que provienen de rocas volcánicas de composición mesosilícica a básica [8].

Si bien el color tiene cierto grado de subjetividad, la predominancia de plagioclasas incoloras permite inferir que se trata de variedades intermedias (oligoclasa-andesina-labradorita) [9].

## REFERENCIAS

- [1] D. R. Tormey, F. A. Frey, and L. López, 1989. Geologic history of the active Azufre-Planchón-Peteroa volcanic center (35°15'S, southern Andes), with implications for the development of compositional gaps. *Revista de la Asoc. Geol. Arg.*, 44, 420-430.
- [2] M. J. Haller, H. A. Ostera, A. H. Pesce, M. Gardini y A. Folgueras, 1994. Vulcanoestratigrafía reciente y eruptividad del volcán Peteroa. 7° Congr. Geol. Chileno, 1, 319-323.
- [3] J. A. Naranjo y M. J. Haller, 2002. Erupciones holocenas principalmente explosivas del volcán Planchón, Andes del sur (35°15'S). *Rev. Geol. de Chile*, 29, 93-113.
- [4] M. J. Haller y C. Risso, 2011. La erupción del volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'O) del 4 de septiembre de 2010. *Revista de la Asoc. Geol. Arg.*, 68, 297-307.
- [5] SERNAGEOMIN, 2011. Reportes de actividad volcánica ([http://www2.sernageomin.cl/ovdas/ovdas7/informativos2/informes\\_ovdas01.php](http://www2.sernageomin.cl/ovdas/ovdas7/informativos2/informes_ovdas01.php)).
- [6] J. S. Galehouse, 1971. Point Counting. In: R. E. Carver Ed. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Chapter 16. Wiley-Interscience, New York.
- [7] F. J. Pettijohn, P. E., Potter and R. Siever, 1987. *Sand and Sandstone*. Springer, New York, 553.
- [8] R. A. Scasso y C. O. Limarino, 1997. *Petrología y diagénesis de rocas clásticas*. Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial N° 1. Buenos Aires.
- [9] H. B. Milner, 1962. *Sedimentary Petrography*. Allen and Unwin, London.

# Métodos basados en computación de alto rendimiento para predecir el comportamiento de incendios forestales<sup>1</sup>

## RESUMEN

En diversas áreas científicas, el uso de modelos para simular sistemas físicos o ambientales se ha tornado una estrategia común de trabajo. Tales modelos reciben ciertos parámetros de entrada que representan condiciones particulares y proveen una salida que representa la evolución en el tiempo del sistema modelado. Normalmente, dichos modelos se encuentran integrados en herramientas de simulación que pueden ejecutarse en sistemas computacionales. Un caso particular donde tales modelos son de gran utilidad es en la predicción de la propagación de Incendios Forestales, dado que la experimentación real es prohibitiva y extremadamente riesgosa.

Sin embargo, en muchos casos, los modelos presentan una serie de limitaciones. Comúnmente, dichas limitaciones se deben a la necesidad de un gran número de parámetros de entrada, donde a la vez, en muchos casos, los parámetros presentan un cierto nivel de incertidumbre a raíz de la imposibilidad de medirlos en tiempo real.

En consecuencia, deben ser estimados a partir de medidas indirectas. El uso clásico o simple de modelos existentes se basa en determinar los valores de un único conjunto de parámetros de entrada, el cual en general constituye una fuente de error en la calidad de la predicción. Para sobrellevar este problema proponemos dos métodos: el primero, aplica Análisis Estadístico y Computación de Alto Rendimiento (HPC) para

G. Bianchini (1),  
P. Caymes Scutari (1, 2).

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

2- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Argentina.

[gbianchini@frm.utn.edu.ar](mailto:gbianchini@frm.utn.edu.ar)

predecir la propagación del incendio. El segundo método refuerza el componente de HPC con Algoritmos Evolutivos Paralelos (AEP). Ambos métodos consideran un amplio rango de combinaciones de parámetros de forma de determinar diferentes escenarios, lo que les permite proveer predicciones más precisas.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de modelos para representar sistemas físicos se ha vuelto una forma de trabajo normal en multiplicidad de campos científicos. Normalmente, los modelos utilizados reciben un conjunto de parámetros de entrada representando condiciones particulares y proveen una salida que refleja la evolución del sistema a lo largo del tiempo. Además, es común que tales modelos se encuentren integrados en herramientas de simulación que normalmente son ejecutadas en computadoras [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Generalmente, el tamaño del conjunto de datos y la complejidad de las operaciones sobre dichos datos requieren la utilización de sistemas de gran potencia para resolver el problema en el menor tiempo posible. Esta creciente necesidad de contar con sistemas de alto rendimiento ha conducido a los científicos hacia los sistemas paralelo/distribuidos, cuya utilización se ha propiciado gracias a los avances tecnológicos de los últimos años.

Por su parte, 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 [8]. El riesgo aun se incrementa cuando las condiciones meteorológicas son extremas, con estaciones secas, temperaturas elevadas y/o

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido financiado por Conicet mediante el proyecto PIP 11220090100709, por la UTN a través del proyecto UTN1194, y por MEC-Spain TIN2007-64974.



fuertes vientos. Europa Meridional es un claro ejemplo de regiones que presentan condiciones con alto riesgo de incendio. Asimismo, en la Argentina recientemente se incendiaron más de 50 km<sup>2</sup> en el Valle de Punilla (Provincia de Córdoba), lo cual afectó a diversas localidades, rutas y caminos de la zona, lo que además de las pérdidas de flora y fauna tuvo como consecuencia la evacuación de una parte de la población y la suspensión del tráfico aéreo, entre otras (Figura 1).



Figura N° 1. Ordenan evacuaciones en las Sierras de Córdoba (Foto DyN) [9].

Lamentablemente, gran parte de los incendios se originan por distintos factores humanos [10]: 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 constituyen 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.

Si bien el modelado matemático-computacional se combina con sistemas de altas prestaciones con el fin de estudiar y solucionar problemas altamente complejos en forma rápida y eficaz, presenta algunas limitaciones atinentes a ambas componentes de la combinación que es menester tratar para lograr mejores resultados.

Las limitaciones de los modelos suelen estar relacionadas con la gran cantidad de parámetros de entrada que manejan. Es común que dichos parámetros presenten algún tipo de incertidumbre debido a la imposibilidad de medirlos en tiempo real, y por lo tanto deben ser estimados a partir de medidas indirectas.

En el presente trabajo se exponen dos métodos de reducción de incertidumbre, aplicados al problema de la predicción del comportamiento de incendios forestales, los cuales aplican procedimientos estadísticos y cómputo de alto rendimiento, para el primer caso, y algoritmos evolutivos paralelos (AEP) en el segundo caso, sumado también al uso de procedimientos estadísticos.

En la siguiente sección se explican con más detalle las características de lo que se ha mencionado como predicción clásica o uso clásico de los modelos. La segunda sección describe los métodos de reducción de incertidumbre. Seguidamente se da paso a la descripción del Método Estadístico de reducción de incertidumbre. Posteriormente se presenta el Método Estadístico Evolutivo, incluyendo una breve reseña

sobre los fundamentos y naturaleza de los algoritmos evolutivos. Finalmente, se presentan y describen algunos resultados experimentales obtenidos y se comentan las principales conclusiones del trabajo.

### PREDICCIÓN CLÁSICA

Como se mencionó previamente, los modelos requieren parámetros estáticos (topografía del terreno), parámetros que pueden cambiar lentamente (tipo de vegetación), parámetros que pueden cambiar frecuentemente (contenido de humedad) y parámetros que son completamente dinámicos (condiciones del viento). La precisión de estos parámetros es un punto crucial en la predicción, y en muchos casos resulta imposible mensurarlos.

Sin el conjunto de parámetros (vegetación, condiciones meteorológicas, etc.) el modelo no puede ser interpretado, y en consecuencia, desde el punto de vista computacional, el simulador no podrá trabajar. La aproximación conocida como Predicción Clásica es representada en la Figura 2. En este esquema, M corresponde al modelo implementado por el simulador de incendios subyacente, el cual es considerado como caja negra. ER0 es el estado real del incendio en el tiempo  $t_0$  (frente de fuego inicial), mientras que ER1 se corresponde con el estado del frente de fuego real en el tiempo  $t_1$ . Luego de aplicar los parámetros y ER0 a M, el estado del frente de fuego predicho se representa a través de EP, el cual, debiera coincidir con ER1. Sin embargo, debido a la complejidad del modelo de comportamiento del fuego, este esquema de trabajo clásico, aunque opera a un nivel aceptable, no resulta lo suficientemente aproximado a la realidad como para considerarlo una herramienta de trabajo confiable. Algunos ejemplos de predicción clásica son [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17] etc.

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. La incertidumbre en los parámetros de entrada puede impactar negativamente en el resultado y por ende la reducción de dicha incertidumbre debe ser considerada. En este contexto, la predicción del comportamiento del fuego no puede considerarse confiable por dos razones: por un lado, las dificultades existentes para estimar los parámetros, y por otra parte, la predicción resultante basada en una única simulación, la cual no suele constituir una base razonable para tomar una decisión.

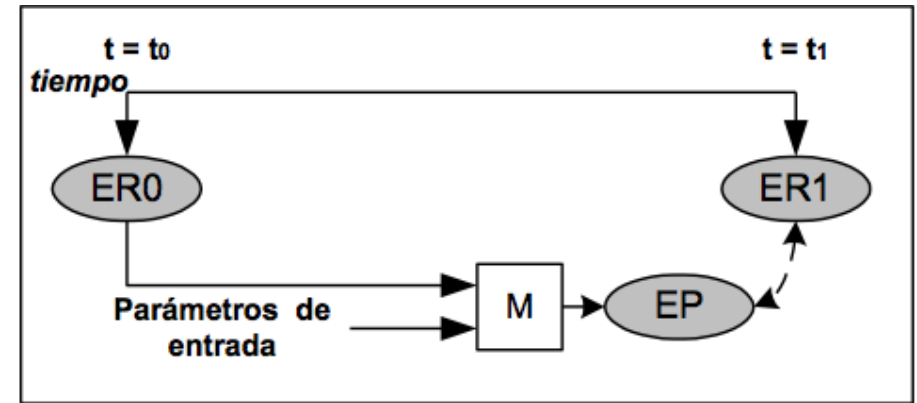


Figura N° 2. Diagrama esquemático del método de predicción clásica (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EP: estado propuesto por el modelo).

### MÉTODOS PARA LA REDUCCIÓN DE INCERTIDUMBRE

El uso de asimilación de datos en tiempo real combinado con algún método computacional para analizar la desviación de la predicción de acuerdo al comportamiento real resulta una opción interesante para mitigar el problema de la incertidumbre en los parámetros, la cual es frecuentemente utilizada en las geociencias (por ej. en la predicción del clima y en hidrología). En general, los métodos desarrollados [18, 19, 20, 21], 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. Dicho de otra forma, el objetivo de tal 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 de alguna forma 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 N°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. Sin embargo, a pesar de que esta clase de metodología mejora los resultados que pueden obtenerse 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. Los dos métodos descritos a continuación, subsanan la unicidad del conjunto de parámetros de entrada. Ambos métodos pertenecen a una nueva rama de DDM que realiza predicciones considerando el solapamiento de diversos casos o combinaciones de parámetros.

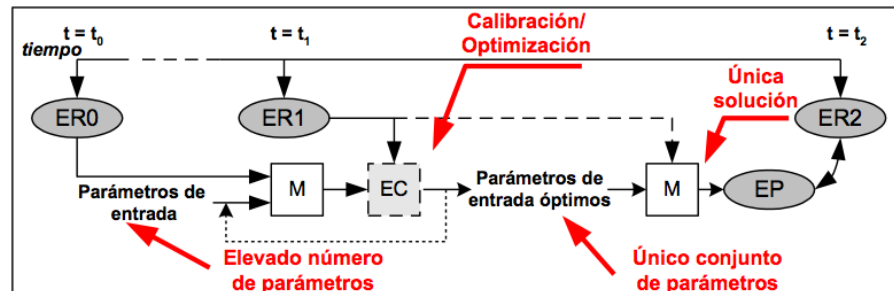


Figura N° 3. Diagrama esquemático de los Métodos Conducidos por Datos (ERX: estado real en tiempo  $X$ ,  $M$ : modelo,  $EC$ : etapa de calibración,  $EP$ : estado propuesto por el modelo).

## MÉTODO ESTADÍSTICO

El método Estadístico de Reducción de Incertidumbre [22, 23] ha sido el resultado de la conjunción de diversos proyectos de investigación. Tal método, tiene como fundamento conceptos de análisis estadístico y cómputo distribuido. Se basa en hallar un patrón del comportamiento del modelo en el cual se aplica, independientemente de los valores particulares de los parámetros. Todos los posibles escenarios (combinaciones de valores de parámetros de entrada) son generados mediante un experimento factorial [24] y el modelo es evaluado con cada conjunto. 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.

Dicho método requiere un importante número de operaciones, y por lo tanto es muy demandante en tiempo de ejecución, razón por la cual se aplica un esquema de cómputo paralelo/distribuido para su implementación. Para reducir el tiempo se utilizan múltiples recursos computacionales trabajando en paralelo. Teniendo en mente la naturaleza que el problema resuelve, se aplica el modelo de algoritmo paralelo Master-Worker [25], 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. Éstos llevan a cabo en paralelo cada simulación de manera independiente y retornan el resultado al proceso Master, quien en cada iteración agrega los resultados parciales y se encarga a su vez de realizar el cálculo de la etapa estadística, aparte de realizar los cómputos restantes vinculados con la técnica de predicción. 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.

Si bien el método estadístico puede utilizarse para la resolución de diversos Grand Challenge Problems, como caso de estudio particular fue aplicado sobre un modelo de comportamiento de propagación de incendios forestales. Como resultado, se desarrolló un sistema denominado Statistical System for Forest Fire Management ( $S^2F^2M$ ) [26], el cual es el producto de la combinación de la aplicación del método propuesto junto con el simulador fireSim [27], que es la implementación de un simulador de comportamiento de incendios basado en el modelo de Rothermel [28] e implementado con la librería fireLib [27].

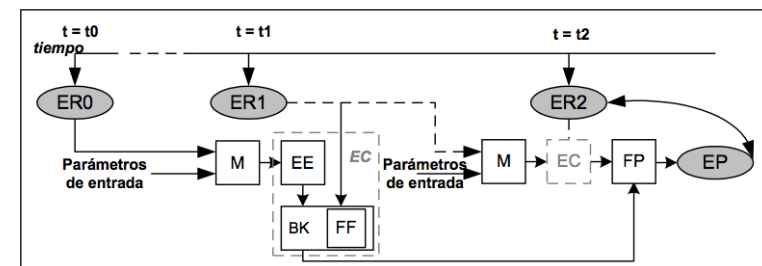


Figura N° 4. Diagrama esquemático del sistema  $S^2F^2M$  (ERX: estado real en tiempo  $X$ ,  $M$ : modelo,  $EC$ : etapa de calibración,  $EE$ : etapa estadística,  $BK$ : búsqueda de Kign,  $FF$ : función fitness,  $FP$ : etapa de predicción,  $EP$ : estado propuesto por el modelo).

En la Figura N°4 se puede apreciar un esquema del sistema S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M. 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 K) 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.

El sistema ha sido validado mediante la utilización de un conjunto de quemas reales prescritas efectuadas en el área de Gestosa (Portugal) [29], como parte del proyecto SPREAD [30]. A su vez, se confrontó el método contra otros dos DDM: el framework BBOF [18] en todas sus posibilidades (Genetic Algorithm, Taboo Search y Simulated Annealing) y el método GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) [31]. Este último corresponde a una adaptación de un sistema hidrológico, el cual es una aproximación de simulación Monte Carlo [32].

### SISTEMA ESTADÍSTICO EVOLUTIVO

La mejora y modificación del método estadístico comentado en la sección previa ha dado como resultado un nuevo método que combina la fortaleza de tres componentes: **reducción de incertidumbre, algoritmos evolutivos y paralelismo**, el cual se ha dado en llamar Sistema Estadístico Evolutivo (o Evolutionary Statistical System, ESS) [33].

La mejora del método se relaciona con la introducción de características de AEP en la etapa de calibración del método estadístico. Como se ha visto en la sección anterior, 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 (con lo cual, podrían considerarse como casos negativos que en definitiva degradan el resultado ofrecido por el método). Para evitar este problema es que se ha decidido aplicar los AEs, cuyo fundamento se explica con mayor detalle en la siguiente sección.

### Algoritmos Evolutivos

Los algoritmos evolutivos (AEs) imitan el concepto de la evolución biológica natural: operan sobre una población de soluciones potenciales aplicando el principio de supervivencia del más fuerte [34]. En cada iteración se crea un nuevo conjunto de aproximaciones a través de un proceso de selección de individuos en función del nivel de aptitud para el dominio del problema (a través de la función de *fitness* que cuantifica esta característica) y se realiza una recombinación de ellos utilizando operadores que imitan a los de la genética natural. Este proceso guía a la evolución de la población de individuos que mejor se han adaptado al ambiente de la misma forma en que sucede en la adaptación natural.

Los AEs modelan procesos naturales tales como la selección, el cruzamiento, la mutación, la migración, la localidad y la noción de vecindario, trabajando sobre poblaciones de individuos en vez de hacerlo sobre soluciones únicas. De esta manera, la búsqueda puede realizarse de forma paralela, proveyendo así un número de soluciones potenciales en vez de una única.

Las potenciales soluciones se pueden representar como cadenas de 0s y 1s, o también es posible utilizar otras codificaciones como por ejemplo, matrices de números de punto flotante o símbolos especiales que generen circuitos [35]. En cada generación se evalúa la aptitud de cada individuo de la población, se seleccionan estocásticamente múltiples individuos de la población actual (en función del *fitness*), y se modifican (mediante recombinación o por mutación aleatoria) para formar una nueva población. El *fitness* se define en función de la representación genética y las medidas de calidad de la solución representada. La función de *fitness* siempre es dependiente del problema. Por ejemplo, en el problema de la mochila [36] se pretende maximizar el número total de objetos que se pueden poner en una mochila de capacidad fija. Una posible representación podría ser un conjunto de bits, donde cada bit represente un objeto, y el valor de los bits (0 o 1) indique si el objeto está o no en la mochila. De esta manera, la función de *fitness* podría evaluar cuántos elementos (cuántos bits 1) posee el individuo y qué valor asociado (peso) tiene cada elemento, comparándolo con la capacidad máxima admitida por la mochila.

La ejecución del AE puede finalizar siguiendo diferentes criterios. Un método consiste en finalizar después de un número predeterminado de iteraciones. Otra forma

es controlar si la medida de calidad de la población ha mejorado o no después de un cierto número de generaciones. Otra es poner fin cuando todos los individuos son idénticos, cosa que sólo puede ocurrir cuando no se utiliza la mutación.

Los algoritmos evolutivos constituyen una herramienta poderosa para resolver diferentes clases de problemas. Sin embargo, a veces este tipo de metodología itera por largo tiempo y no converge o converge a un óptimo local. Esta es una de las razones por las cuales suele combinarse el uso de métodos evolutivos con cómputo paralelo. No obstante, dada la utilización de algoritmos evolutivos en problemas de optimización, en donde se han hallado muy buenos resultados, se plantea la aplicación de esta metodología en combinación con métodos estadísticos, como se verá en la siguiente sección: Metodología del Sistema Estadístico Evolutivo.

### Metodología del Sistema Estadístico Evolutivo

En vista de las ventajas que ofrece la aplicación de AEs, y tras haber experimentado y observado los resultados que ofrece la aplicación de AEs en este tipo de problemas [37], se define un esquema híbrido (búsqueda de casos mediante AEs) para aplicar los casos resultantes a la etapa estadística. En virtud del funcionamiento general de los AEs que ponderan mejor a aquellos individuos que mejor se adaptan a la situación, al integrar ambos métodos (estadístico y evolutivo) el conjunto de escenarios resultantes queda conformado por aquellas poblaciones que se van constituyendo más relevantes al estudio.

En la Figura N°5 puede apreciarse en un simple esquema la inclusión de la etapa nueva (AEP) y la realimentación que se produce en la entrada del modelo (M) dependiendo de la calidad observada en los individuos evaluados en la etapa de *fitness* incluso en AEP. Es importante notar que la inclusión del AE se ha efectuado siguiendo un esquema de AEP Centralizado, dado que en este caso la evaluación del *fitness* de cada individuo se ha implementado de forma paralela. En la Figura N°5, por cuestiones de simplicidad, no se ha incluido el esquema gráfico de dicha paralelización, pero sí puede apreciarse cómo, la nueva etapa llamada EO (Etapa de Optimización) involucra tanto al modelo en cuestión (M) como al algoritmo evolutivo paralelo (AEP).

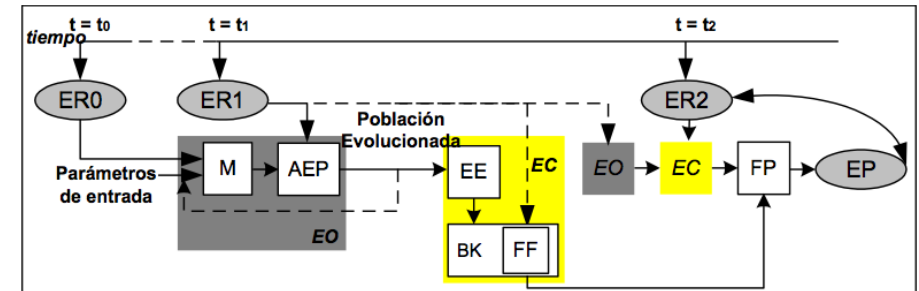


Figura N° 5. Diagrama esquemático del método estadístico-evolutivo (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EO: etapa de optimización, EC: etapa de calibración, AEP: algoritmo evolutivo paralelo, EE: etapa estadística, BK: búsqueda de  $K_{ign}$ , FF: función *fitness*, FP: etapa de predicción, EP: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

Como puede observarse, el sistema está dividido en dos etapas generales: una Etapa de Optimización (EO) que implementa el AEP, y una Etapa de Calibración (EC) que se encarga de la aplicación del método estadístico (EE y BK). EO itera hasta que la población ha alcanzado cierto nivel de calidad. Entonces cada individuo es incluido en la EE, cuyo resultado (un mapa de probabilidad) es utilizado para un doble propósito: por un lado, es aplicado como entrada de BK para calcular el valor actual de  $K_{ign}$  (un número clave usado para efectuar la predicción del modelo), al cual será aplicado en el próximo paso de predicción ( $t_3$ ). En esta etapa, la función de *fitness* FF es usada para evaluar el mapa de probabilidad; por otro lado, la salida de EE también ingresa a FP, quien se encargará de generar el mapa de predicción para el tiempo  $t_2$  tomando en consideración el  $K_{ign}$  hallado en  $t_1$ . Este proceso se repetirá mientras el sistema sea alimentado con información acerca de los distintos estados del modelo a lo largo del tiempo.

El sistema, tal como se lo ha descrito, ha sido implementado en un sistema operacional que incorpora un *kernel* de simulación [27] y aplica la metodología descrita. La implementación se efectuó sobre un cluster de PCs Linux, usando lenguaje C y MPI [38] como librería de paso de mensajes.

## RESULTADOS

En la presente sección se comparan los resultados obtenidos tras aplicar el método clásico, el método estadístico original (S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M) y el Sistema Estadístico Evolutivo (ESS). Para tal propósito se ha utilizado un par de casos de quemas controladas efectuadas en el campo, en particular en Serra de Louçã (Gestosa, Portugal).

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. En la Tabla I pueden apreciarse las características (dimensiones y pendientes) de los terrenos utilizados para los dos experimentos.

Experimento	Ancho (m)	Largo (m)	Pendiente (°)
1	75	126	19
2	95	123	21

Tabla I. Dimensiones y pendientes de los terrenos utilizados en la experimentación.

### Experimento 1

De acuerdo a la información conocida acerca del experimento y al modelo de Rothermel [28], se han establecido rangos considerando la información medida y los valores estándares del modelo a partir de los datos incluidos en BehavePlus [15]. Para poder realizar la comparación de los tres métodos, se ha definido un tiempo inicial ( $t_0$ ) y un valor de incremento para definir una serie de instantes en los que realizar la comparación. Tales valores han sido fijados en 4 minutos (para el inicio) y en 1 minuto para el incremento. En la Figura 6 (a) se puede observar una gráfica que representa la evolución del incendio, y en la Figura 6 (b) se muestran los valores de *fitness* alcanzados por cada método. Respecto de esta última gráfica, los valores mostrados para ESS corresponden a un promedio de 10 ejecuciones del método, ya que el método es no determinístico.

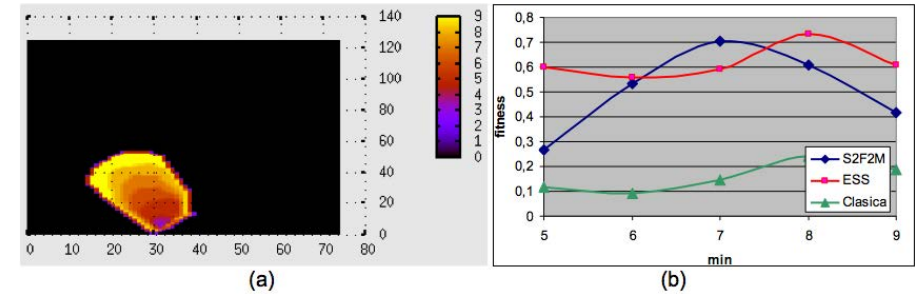


Figura N° 6. (a) Imagen del proceso de quema del Experimento 1. (b) Comparación del *fitness* obtenido por cada método.

### Experimento 2

El segundo experimento tiene una duración algo superior al primero y exhibe ciertas características que lo diferencian, como por ejemplo la velocidad del viento y la pendiente del terreno. Sin embargo, ambos comparten el mismo tipo de disparador inicial, ya que los dos casos se corresponden con fuegos 'puntuales', lo cual significa que la propagación del incendio ha comenzado en un punto determinado del terreno, y no en una línea.

La Figura N°7 (a) muestra una gráfica que representa el proceso de quema del terreno en el que puede apreciarse el efecto de la pendiente y del viento. Los valores obtenidos luego de la experimentación se encuentran graficados en la Figura N°7 (b). Puede apreciarse que de los cuatro instantes de tiempo utilizados para efectuar la comparación de ambas metodologías, el método ESS presenta un mejor desempeño en tres instantes, y además ofrece un nivel de predicción más regular que el ofrecido por S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M. El caso del método clásico, como en el experimento previo, alcanza valores muy bajos de predicción.



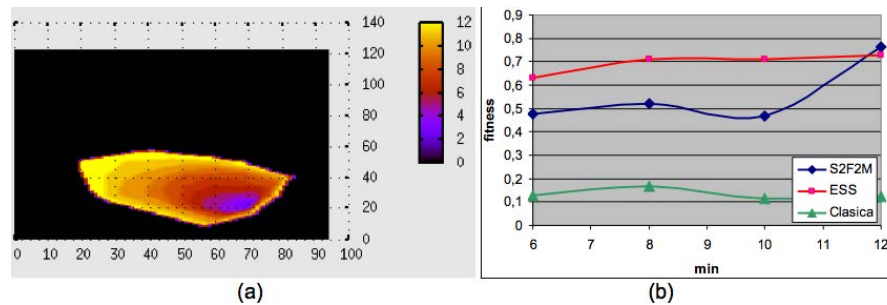


Figura N° 7. (a) Imagen del proceso de quema del Experimento 2. (b) Comparación del fitness obtenido por cada método.

## CONCLUSIONES

La resolución de Grand Challenge Problems se vale en muchos casos de la potencia brindada por el paralelismo para poder afrontar el tamaño del problema, y/o para resolver el problema en un tiempo más reducido que el que implicaría el uso de un sistema meramente secuencial. Como ha podido observarse, las técnicas que combinan cómputo de altas prestaciones con métodos estadísticos presentan una excelente posibilidad para solventar o reducir el problema de la incertidumbre presente en los parámetros de entrada. Por tal motivo, resulta de gran interés la investigación continua sobre este tema, de forma de optimizar y evolucionar sobre las aproximaciones y métodos ya desarrollados para maximizar los resultados alcanzados. De esta forma es que a partir de S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M se ha arribado al concepto de método estadístico evolutivo ESS. Para ello, se combinó el poder del cálculo estadístico con las capacidades provistas por los algoritmos evolutivos paralelos, logrando resultados que efectivamente mejoran a la metodología inicial de S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M basada solamente en cálculo estadístico y en cómputo de alto rendimiento. Ambos métodos se han descrito a lo largo del presente trabajo. Los mismos corresponden a métodos de reducción de incertidumbre en los parámetros de entrada, en este caso, aplicado a la predicción de incendios forestales. Dados los costos, riesgos y dificultades obvias de realizar múltiples quemas en campos para contar con datos fiables para la experimentación y validación de los métodos, para su evaluación se realizaron experimentos sobre dos incendios reales considerando diversos instantes de tiempo en cada caso.

Además de mejorar significativamente la precisión de la calidad de predicción del método clásico, otra de las características más importantes de ambos métodos es

que son lo suficientemente generales como para ser usados sobre diferentes modelos (inundaciones, avalanchas, etc.). De esta manera, la combinación de cómputo evolutivo, paralelismo y reducción de incertidumbre constituye una opción prometedora para afrontar diferentes Grand Challenge Problems, como en este caso particular lo es la predicción del comportamiento de incendios forestales.

## REFERENCIAS

- [1] Chow, T., He, W., Chan, A., Fong, K., Lin, Z., Ji J., 2008. Computer modeling and experimental validation of a building-integrated photovoltaic and water heating system. Applied Thermal Engineering, Volume 28, Issues 11-12, pp. 1356-1364.
- [2] Dalforo, C., Mostaccio, D., Suppi, R., Luque, E., 2008. Increasing the scalability and the speedup of a fish school simulator, LNCS 5073 (PART 2), pp. 936-949.
- [3] Ivanovskayaa, V., Enjashina, A., Sofronova, A., Makurina, Y., Medvedevab, N., Ivanovskii, A., 2003. Quantum chemical simulation of the electronic structure and chemical bonding in (6,6), (11,11) and (20,0)-like metal-boron nanotubes. Journal of Molecular Structure: THEOCHEM. Volume 625, Issues 1-3, pp. 9-16.
- [4] Learmount, J., Taylor, M., Smith, G., Morgan, C., 2006. A computer model to simulate control of parasitic gastroenteritis in sheep on UK farms. Veterinary Parasitology, Volume 142, Issues 3-4, pp. 312-329.
- [5] Mostaccio, D., Suppi, R., Luque, E., 2005. Simulation of Ecologic Systems Using MPI. PVM/MPI 2005: pp. 449-456.
- [6] Odstrcil D., 2003. Modeling 3-D solar wind structure. Advances in Space Research, Volume 32, Issue 4, pp. 497-506.
- [7] Riffat, S., Ma, X., Wilson, R., 2006. Performance simulation and experimental testing of a novel thermoelectric heat pump system. Applied Thermal Engineering, Volume 26, Issues 5-6, pp. 494-501.
- [8] Morgan P., Hardy C., Swetnam T.W., Rollins M. G., Long D. G., 2001. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and finescale fire patterns. International Journal of Wildland Fire, Vol. 10. pp. 329-342.
- [9] Incendios en Córdoba. La Nación On line. <http://www.lanacion.com.ar/1403400-incendios-en-cordoba-evacuan-a-varias-localidades> (Accedido en octubre de 2011).
- [10] Cochrane M. A., 2002. Se extienden como un reguero de pólvora. Publicado por el Programa de las Naciones unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- [11] Ball, G. L., Guertin, D. P., 1991. FIREMAP — fire and the environment: ecological and cultural perspectives. March 20–24 1990, Knoxville, TN. USDA Forest

- Service, pp. 215–218. (Asheville, NC.)
- [12] Wallace, G., 1993. A numerical fire simulation model. *Int. J. Wildland Fire* 3 (2), 111–116.
  - [13] Finney, M. A., 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.)
  - [14] Jorba, J., Margalef, T., Luque, E., Campos da Silva, J., Viegas, D. X., 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.
  - [15] Andrews, P.L., Bevins, C.D., Seli, R.C., 2003. BehavePlus Fire Modeling System, Version 2.0: User's Guide. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-106WWW, Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, 2003, p.132.
  - [16] Lopes, A. M. G., Cruz, M. G., Viegas, D. X., 2002. FireStation – An integrated software system for the numerical simulation of wind field and fire spread on complex topography. *Environmental Modelling & Software*, 17 (3), pp. 269–285.
  - [17] Ribeiro, L. M., Viegas, D. X., Lopes, A. G., Mangana, P., Moura, P., 2006. Operational application of a decision support tool in fire management in Portugal. *Forest Ecology and Management* 234 (Supplement 1), S243.
  - [18] Abdalhaq B., 2004. A methodology to enhance the Prediction of Forest Fire Propagation. Ph. D Thesis. Universitat Autònoma de Barcelona (Spain).
  - [19] Beven, K. J., Freer, J., 2001. Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems. *Journal of Hydrology* 249. pp.11-49.
  - [20] Mandel, J., Bennethum, L. S., Chen, M., Coen, J. L., Douglas, C. C., Franca, L. P., Johns, C. J., Kim, M., Knyazev, A. V., Kremens, R., Kulkarni, V., Qin, G., Vodacek, A., Wu, J., Zhao, W., Zornes, A., 2005. Towards a Dynamic Data Driven Application System for Wildfire Simulation. LNCS 3515, pp. 632-639.
  - [21] Thorndahl, S., Beven, K.J., Jensen, J.B., Schaarup-Jensen, K., 2008. Event based uncertainty assessment in urban drainage modelling, applying the GLUE methodology, *Journal of Hydrology* 357 (3-4), pp. 421-437.
  - [22] Bianchini, G., Denham, M., Cortés, A., Margalef, T., Luque E., 2010. Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution. *Journal of Computational Science (JOCS)* Vol 1 Issue 4, pp.229-237.
  - [23] Bianchini, G., Denham, M., Cortés, A., Margalef, T., Luque E., 2006. Improving forest-fire prediction by applying a statistical approach. *Forest Ecology and Management*. (Volume number 234, supplement 1), p.S210.
  - [24] Montgomery, D., Runger, G., 2002. Probabilidad y Estadística aplicada a la ingeniería. Limusa Wiley.
  - [25] Mattson, T., Sanders, B., Massingill, B., 2004. Patterns for Parallel Programming. Addison-Wesley.
  - [26] Bianchini G., 2006. Wildland Fire Prediction based on Statistical Analysis of Multiple Solutions. Ph. D Thesis. Universitat Autònoma de Barcelona (Spain).
  - [27] Bevins, C. D., 2004. FireLib User Manual & Technical Reference. <http://www.fire.org> (Accedido en enero de 2004)
  - [28] Rothermel, R. C., 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA FS, Ogden TU, Res. Pap. INT-115.
  - [29] Gestosa Project, 2005. ADAI - CEIF (Center of Forest Fire Studies) <http://www.adai.pt/ceif/Gestosa/> (Accedido en enero de 2005)
  - [30] Viegas, D.X. (Coordinator) et al., 2004. Project Spread - Forest Fire Spread Prevention and Mitigation. <http://www.algosystems.gr/spread/> (Accedido en noviembre de 2008)
  - [31] Piñol J., Salvador R., Beven K., 2002. Model Calibration and uncertainty prediction of fire spread. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. On CD-ROM, Millpress.
  - [32] Robert, C. P., Casella, G., 2004. Monte Carlo Statistical Methods. Springer. ISBN: 0387212396.
  - [33] Bianchini, G., Caymes Scutari, P., 2011. Uncertainty Reduction Method Based on Statistics and Parallel Evolutionary Algorithms. *Proceedings of High-Performance Computing Symposium - 40 JAIIO (HPC 2011, ISSN: 1851-9326)* pp. 1- 4.
  - [34] Goldberg, D.E., 1994. Genetic and evolutionary algorithms. *Communications of the ACM*, 37(3), pp. 113-119.
  - [35] Holland, J., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press.
  - [36] Kellerer, H., Pferschy U., Pisinger, D., 2004. *Knapsack Problems*. Primera Edición. Springer.
  - [37] Abdalhaq, B., Bianchini, G., Cortés, A., Margalef, T., Luque, E., 2006. Between Classical and Ideal: Enhancing Wild-land Fire Prediction Using Cluster Computing. *Journal of Cluster Computing Special Issue on cluster computing in science and engineering*. Vol 9, Num 3. pp. 329-343.
  - [38] Snir, M., Otto, S., Huss-Lederman, S., Walker, D., Dongarra, J., 1996. *MPI: The complete reference*. The MIT Press. Cambridge Massachusetts. London England.



# Zonificación del riesgo de licuefacción asociado a sismicidad en el área norte de la provincia de Mendoza

## RESUMEN

El proceso de licuefacción es aquel que se da en suelos que son sometidos a una fuerza externa, pasando de estado sólido a líquido. Esto incluye todos los fenómenos donde se presentan excesivas deformaciones o movimientos como resultado de transitorias o repetidas perturbaciones de suelos saturados poco cohesivos.

Los procesos de licuefacción son, por lo general, una consecuencia de movimientos sísmicos importantes ( $M_w > 6$ ), aunque también pueden producirse por eventos aluvionales, los cuales generan que en un lapso de tiempo muy corto se acumule un volumen de agua superior a la capacidad de carga del terreno.

Este fenómeno es común en Mendoza, con sucesos que se han dado como consecuencia directa de sismos, ejemplo de esto fue el proceso de revenición en El Pastal después del terremoto de Caucete en 1977 y el de Costa de Araujo luego del terremoto de Lavalle en el año 1920.

Se analizan en este trabajo los sitios donde históricamente se han registrado fenómenos de licuefacción debido a esfuerzos sísmicos, y zonas con alto potencial de ocurrencia. Radica la importancia de este estudio en que este proceso cosísmico genera en el lugar afectado mayores daños que el sismo en sí.

Como resultado de este informe se enumera una serie de propuestas de gestión ante riesgos por procesos de licuefacción, teniendo en cuenta los eventos históricos ocurridos en la zona de estudio y la conjunción de condicionantes naturales que existen en el área.

V. Bravo (1),  
E. Silvestrini (1),  
R. Laudicina (1),  
H. Cisneros (1, 2, 3),  
S. López L. (1),  
G. Donaire (1),

J. Torres (1),  
Y. Capellozza (1),  
P. Torres (1),  
S. Fermani M. (1),  
M. Castillo (1).

1- *Secretaría de Investigaciones, Universidad de Congreso, Mendoza, Argentina.*

2- *Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis.*

3- *Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Cuyo.*

[vbravomellado@gmail.com](mailto:vbravomellado@gmail.com)

## Palabras Clave:

Riesgos naturales, Licuefacción, Peligro sísmico, Mendoza, Piedemonte, Gestión ambiental.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de licuefacción son, por lo general, una consecuencia de movimientos sísmicos importantes, aunque también pueden producirse por eventos aluvionales, los cuales generan que en un lapso de tiempo muy corto se acumule un volumen de agua superior a la capacidad de carga del terreno.

Los eventos naturales mencionados (sismos, aluviones) son comunes en Mendoza, por lo tanto resulta necesario analizar la conjunción de las condicionantes ambientales del área de estudio para poder determinar zonas con mayor vulnerabilidad.

En este trabajo se muestran los resultados parciales de un proyecto general donde se estudian los riesgos naturales a los que se ve expuesto la zona metropolitana del "Gran Mendoza" desarrollando un marco conceptual acerca del fenómeno en estudio, un marco histórico donde se realiza un relevamiento de los eventos de los que se tiene registro en la Provincia de Mendoza y de zonas circunvecinas, presentando como resultado cartografía de la zona de estudio donde constan áreas riesgosas con referencia a este proceso natural de tipo destructivo.

## MARCO TEÓRICO

El proceso de licuefacción es aquel que se observa cuando un suelo conformado por materiales no consolidados y que, además, se encuentra saturado de agua es sometido a una presión externa, como por ejemplo, movimientos sísmicos.

Las vibraciones pueden provocar que los materiales superficiales saturados en agua pierdan su resistencia, pierdan cohesión y se conviertan en masas que fluyen [1]. Al finalizar la acción de la presión externa sobre este tipo de suelos, y pasado un determinado lapso de tiempo, la fluidez desaparece y la masa en reposo vuelve a su estado inicial. La licuefacción es la disrupción in situ del soporte mutuo entre granos en la que se produce la pérdida total o parcial de la resistencia de cizalla de los materiales afectados. Esta pérdida de resistencia al corte y a la ruptura del suelo puede generarse, por ejemplo, por un sismo, donde se generan rápidamente elevadas presiones intersticiales [2]. Esto trae aparejado una amplificación de los movimientos y da lugar a efectos sísmicos severos [3]. Es decir que, la licuefacción o licuación de suelos es un cambio reversible de consistencia del suelo bajo la acción de una fuerza [4].

La licuefacción es uno de los efectos que acompañó a todos los terremotos ocurridos en el área de estudio. Las grietas, volcanes de arena, derrames, han sido muy abundantes en áreas distantes hasta 260 km del epicentro, y afectaron áreas de hasta 4000 km<sup>2</sup> [5].

Haciendo referencia a los eventos sísmicos como factor disparador, se debe considerar la magnitud del evento. A continuación se presenta una tabla donde se describe cuáles son, en términos generales, las distancias donde pueden encontrarse estructuras de licuefacción según la magnitud del sismo:

Magnitud	Descripción
5	Es posible encontrar estructuras de licuefacción en la zona del epicentro
de 5 a 5,7	Se estudian estructuras de licuefacción a 25 km del epicentro
6	Se pueden generar estructuras de licuefacción en un radio de 40 km del epicentro
7	Puede producirse licuefacción en un radio de 70 km del epicentro.
8	Se detectan geoformas asociadas en un radio de 100 km desde el epicentro

Tabla 1. Elaboración propia en base a [5] y [2].

Es decir que cuanto mayor sea la magnitud del terremoto, a mayor distancia del epicentro se producirá licuefacción. Sin embargo, es probable que, si están dadas las condiciones físicas necesarias en el terreno, ocurra la licuefacción de los suelos, aunque el movimiento no sea de gran importancia [5].

### Criterios y factores que determinan la susceptibilidad de un terreno

Es importante tener en cuenta que las probabilidades de ocurrencia del fenómeno de licuefacción no están dadas solamente por la actividad tectónica que se observa en la región, sino, también, deben considerarse una serie de componentes ambientales que, conjugados o no, pueden propiciar o condicionar la manifestación de este tipo de eventos. Se puede evaluar la susceptibilidad de licuefacción usando los siguientes criterios:

- **Criterios históricos.** Bajo condiciones ambientales constantes se ha observado que los fenómenos de licuefacción ocurren frecuentemente en los mismos lugares, es por eso que la evidencia de paleolicuefacción puede ser tomada como prueba de susceptibilidad en un determinado lugar.
- **Criterios geológicos.** Entre estos se encuentra la edad de los depósitos y el origen de los mismos. La edad de los materiales tiene relación con los procesos de cimentación, ya que el paso del tiempo fortalece el contacto entre las partículas e incrementa la resistencia de fricción [2]. Diversos autores han concluido que los depósitos de suelo más nuevos son más susceptibles de ser licuefactados que los más antiguos.
- **Criterios basados en la composición del suelo.** La composición física de un suelo cumple un papel importante en la determinación de su susceptibilidad de licuefacción. Los suelos conformados por rocas sedimentarias propician la ocurrencia de licuefacción de suelos. Los sedimentos arenosos sin cohesión y los depósitos de limos suelen tener una resistencia de cizalla alta, soportando grandes cargas sin producirse alteraciones en su estructura interna, pero al estar saturados de agua, pierden estabilidad y se comportan como fluidos [5].
- **Criterios basados en el estado del suelo.** El potencial de licuefacción también depende de las tensiones efectivas a las que está sometido y a su densidad in situ. Los suelos sueltos son más susceptibles que los suelos densos. Los suelos bajo tensiones de confinamiento altas son más susceptibles que los suelos bajo tensiones de confinamiento bajas.

- **Amplificación de ondas sísmicas.** Las ondas sísmicas hacen que vibre el material que atraviesan. En los suelos blandos las vibraciones se amplifican notoriamente en comparación con sustratos rocosos, es decir que, en los primeros la longitud de las ondas sísmicas es mucho mayor, al igual que los efectos del evento.

### Factores de ocurrencia

- a. Profundidad del nivel freático: La relación entre el nivel del acuífero y la intensidad de los sismos, fue analizado por Lomtadze (1983, citado en [4]), concluyendo que si la freática está:

- entre 0 y 1 metro de profundidad, la intensidad aumenta una unidad;
- entre 1 y 4 metros de profundidad, la intensidad aumenta 0,5 unidades;
- a más de 4 metros de profundidad, no se considera.

La época del año de ocurrencia del sismo también es de suma importancia, ya que en los meses de enero a agosto, el nivel freático se encuentra a mayor profundidad que en los meses de septiembre a diciembre, época de los deshielos en cordillera donde la profundidad varía entre uno y tres metros, favoreciendo la licuefacción [5]. Para este ítem, es importante considerar la influencia del evento ENSO (El Niño Southern Oscillation), que consta de 3 subconjuntos: fase cálida conocida como El Niño, fase fría llamada La Niña y años normales o neutros. La variabilidad interanual de precipitaciones sólidas (nieve) está dada en gran medida por el aumento en la temperatura del mar que bordea a las costas de Ecuador. El mayor aporte nival en la Cordillera determinará el ascenso de los niveles freáticos [6].

- b. Escasa capacidad de drenaje: en arenas saturadas sin drenaje, independientemente de su densidad relativa, se ha comprobado experimentalmente, que ante una sollicitación dinámica tienden a compactarse; y al no existir drenaje están impedidas de realizar un cambio volumétrico, generan un incremento en la presión de poros la que eventualmente podrá llegar a igualar la presión de confinamiento, anulándose en consecuencia la presión intergranular [3].
- c. Salinización de suelos: otro factor que se considera determinante, y que se encuentra asociado al punto anterior, es la salinización de suelos, específicamente a los llamados procesos de revenición. La revenición de suelos es un fenómeno que comúnmente se observa en zonas donde el nivel freático es poco profundo, esto hace que el gradiente de salinidad del suelo se encuentre invertido, disminuyendo a medida que aumenta la profundidad del suelo. La salinidad de los

suelos en las zonas revenidas tiene como consecuencia una amplificación de los efectos sísmicos y aumento de susceptibilidad a licuefacción. Vale aclarar que la revenición se acentúa en períodos hidrológicamente ricos por efecto de la modificación climática conocida como eventos Niño o años Niño [6] [4].

- d. Piping: el piping (del inglés "pipe" = cañería) o erosión en túnel es un tipo de erosión hídrica subsuperficial con procesos de disolución (químico) y/o colapso (físico) de materiales más o menos solubles con la formación de túneles interconectados [7] [8] [9]. Es un proceso pseudocárstico que tiene lugar en suelos con ciertas características físico-químicas, como por ejemplo horizontes salinos cálcicos, designados localmente como "toscas". En estos, al entrar en contacto con agua, se produce una solubilización de las sales y tienen lugar procesos cársticos que originan agujeros denominados "resumideros" o "sumideros". La disolución y/o colapso de umbrales de tosca que constituyan niveles de base pueden tener diversos efectos desfavorables, entre los que se menciona la alteración del equilibrio hidrogeológico local y/o regional, ej.: reducción de la profundidad de freáticas, con las consecuencias que esto acarrea. [6][4]

Según Wicander y Monroe [10] las estructuras construidas sobre el lecho de roca generalmente sufren menos daño que los erigidos sobre el material mal consolidado, como los sedimentos saturados de agua o el relleno artificial. Las estructuras que se hallan sobre material mal consolidado o saturado de agua son sometidas a un sacudimiento de suelo de mayor duración, así como a amplitud de ondas S mayor que aquellas sobre lecho de roca.

### Paleolicuefacción

La licuefacción ha tenido lugar en numerosos sismos, y ha quedado en evidencia en los registros históricos y geológicos. Las evidencias de licuefacción del pasado son llamadas paleolicuefacción y se emplean para evaluar los peligros sísmicos en determinadas áreas [11]. Algunas estructuras asociadas a este proceso pueden conservarse en el tiempo y ser consideradas como paleoindicadores. Entre estos se encuentran [12]:

- embudos, diques y "sills" de arenas,
- depósitos de caída de sedimentos superiores (en este caso gravas), generalmente localizados en la base de los embudos,
- estructuras de flujo hacia las paleosuperficies, con disposición paralela a las paredes de los embudos o diques.

## MARCO HISTÓRICO

A continuación se detallan los eventos sísmicos de mayor importancia a nivel provincial y regional, en orden cronológico.

FECHA	EPICENTRO	M.S.	DESCRIPCION	PROCESO LICUEFACCION
22/05/1782	Ciudad de Mendoza	7	Ocasiónó daños en varias construcciones sin ocasionar víctimas	No hay registro
20/03/1861	Ciudad de Mendoza	7	El terremoto porcentualmente más destructivo de toda la historia argentina. Destruyó la ciudad de Mendoza y dejó alrededor de 6000 muertos sobre una población total de 18000 habitantes	Por evidencias de paleolicuefacción, volcamientos de arena y barro fluido, se determina que existieron procesos de licuefacción en el área de Las Ciénagas, Lavalle. Distancia al epicentro:
27/10/1894	Noreste de San Juan	8	El llamado terremoto Argentino, provocó graves daños y algunas víctimas en toda esta provincia y en la de La Rioja. Además ocasionó daños menores en las provincias de Catamarca, Córdoba, San Luis y Mendoza, a distancias de 500 km de la zona epicentral.	Se generaron extensos e importantes fenómenos de licuefacción, Se describen fenómenos de licuefacción, con agrietamiento del terreno, volcanes de arena y salida de agua en forma de chorros de hasta 2 metros de altura en terrenos de Mendoza a más de 200 km del epicentro.
12/08/1903		6	Afectó al Gran Mendoza, especialmente a la zona urbana del departamento Las Heras. Ocasiónó daños moderados y pocas víctimas	No hay registro
27/07/1917	Las Heras	6.5	Ocasiónó daños moderados en el Gran Mendoza. Nuevamente los mayores daños se concentraron en Las Heras y en el norte de la ciudad capital.	No hay registro
17/12/1920	Lavalle	6	Causó graves daños y numerosas víctimas en un conjunto de poblaciones ubicadas a unos 30 km al noreste de la ciudad capital de Mendoza, especialmente en Costa de Araujo, Lavalle y El Central.	En San Martín y Tres Porteñas se generaron numerosas fisuras y pozos luego de que emergió una abundante cantidad de arena y agua (Diario la voz de Cuyo, 1.920). Se encontraron fisuras entre 0.2 y 0.3 m. de ancho en Costa de Araujo, cerca del río Mendoza.
14/04/1927	Las Heras	7.1	Afectó nuevamente al Gran Mendoza. Los mayores daños estuvieron otra vez localizados en el departamento Las Heras. También produjo algunas víctimas	No hay registro
23/05/1929	Las Heras	5.7	Afectó nuevamente al Gran Mendoza. Los mayores daños estuvieron otra vez localizados en el departamento Las Heras. También produjo algunas víctimas	No hay registro

30/05/1929	Villa Atuel	6.8	Causó daños importantes y numerosas víctimas en las poblaciones de Villa Atuel y Las Malvinas.	Se observaron numerosos cráteres en Villa Atuel y se mencionó que la licuefacción fue favorecida por la presencia de loes (depósitos de limo) y un alto nivel freático (95 cm. de la superficie).
15/01/1944	San Juan	7.4	Este terremoto destruyó la ciudad de San Juan y varios departamentos vecinos. Causó alrededor de 10.000 muertos sobre una población de 90.000 habitantes. También ocasionó daños en Mendoza, especialmente en el departamento Las Heras.	Durante el terremoto se registraron numerosos fenómenos de licuefacción, con la surgencia de aguas y la formación de volcanes y cráteres de arena, no sólo en el departamento Albardón sino también en localidades vecinas.
23/11/1977	Caucete, San Juan	7.4	Produjo daños importantes en casi toda la provincia de San Juan, especialmente en la ciudad de Caucete, donde murieron 65 personas. También causó leves daños en la zona norte del Gran Mendoza	Se observaron volcanes de arena a una distancia de 260 km del epicentro. Los daños causados por la licuefacción incluyeron fallas debajo de edificaciones, caminos, líneas férreas, canales de riego, campos, tanques y casas inundadas de arena y agua de los volcanes que se formaron en el interior de las mismas.
06/12/1977	Caucete, San Juan	5.9	Réplica del terremoto del 23 de noviembre de 1977. Produjo leves daños en la ciudad de Caucete y en otras poblaciones de este departamento, en la provincia de San Juan	No hay registro
26/01/1985	Godoy Cruz, Mendoza	5.9	Causó daños considerables en todo el Gran Mendoza, aunque muy pocas víctimas. Los departamentos más afectados fueron Godoy Cruz y Las Heras.	No hay registro
08/06/1993	San Juan	6.5	Sentido con gran intensidad en las provincias de San Juan y Mendoza y en Illapel (Chile). Ocasiónó leves daños en el departamento de Calingasta (San Juan). Fue percibido con menor intensidad en otras provincias argentinas y localidades chilenas	No hay registro

Tabla 2: Fuente: INPRES ([www.inpres.gov.ar](http://www.inpres.gov.ar)) y elaboración propia.

### ANÁLISIS DEL ÁREA DE TRABAJO

Si bien el área de estudio definida en este informe corresponde a la zona Norte de la Provincia de Mendoza, y que, históricamente, se han registrado procesos de licuefacción como consecuencia de eventos sísmicos en el Noreste (zona de El Pastal, El Borbollón), es importante considerar que estos tuvieron lugar en períodos de tiempo excepcionales que coincidieron con años en los que el fenómeno del Niño (ENSO) se manifestó con mayor intensidad.

El fenómeno meteorológico del Niño provoca en ésta provincia en la época de invierno un incremento de las precipitaciones líquidas y sólidas. En la época de invierno produce temperaturas muy bajas. Por lo tanto, en el primer verano hay un aumento de los caudales y en el segundo verano aumentan las crecidas y también los caudales [13].

Considerando que existen otros sectores de la provincia donde los condicionantes naturales del suelo asociados a las actividades antrópicas propician el desarrollo de este fenómeno, se establece como área de estudio de caso la zona cenagosa del Centro-Norte de la Provincia de Mendoza, específicamente en el Departamento de Guaymallén.

### ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO

El área de surgencia del Río Mendoza ha sido reconocida en diversos estudios [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20].

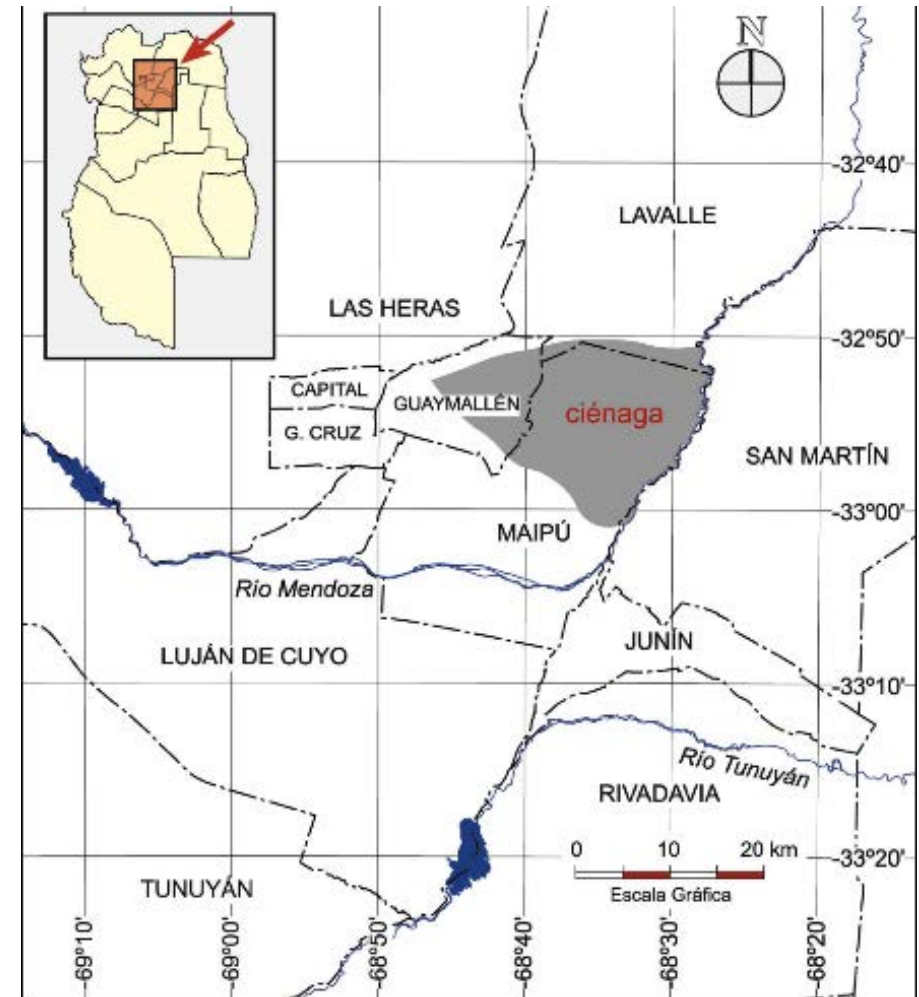


Figura 1: Ciénaga del Río Mendoza (máxima extensión). Fuente: [13].

El tamaño de esta ciénaga ha sido variable, según el paleoclima y la influencia antrópica, ya que por ser un sector topográficamente bajo fue utilizado para derivar las crecientes de la ciudad y los excedentes de riego. Sus períodos de mayor extensión ocasionaron problemas de salubridad (proliferación de mosquitos) que obligaron a las autoridades a proponer una serie de medidas para solucionar el problema [13]. Actualmente, el ecosistema lacustre está muy reducido por la construcción de dre-



nes a cielo abierto o "sangrías", para bajar el nivel freático. De este modo, se pueden usar cultivos de escaso desarrollo radicular (hortícolas) y reducir la humedad en los cimientos de las construcciones. Los duripanes (horizontes cementados) de los suelos del área en estudio favorecen la formación de freáticas colgadas, especialmente después de los riegos o de los lavados para lixiviación de sales [21].

### PELIGROSIDAD FREÁTICA

Este aspecto es analizado en varias publicaciones [18] [20] [22] relacionadas con los oasis de Mendoza.

En muchos casos corresponde a falsas freáticas o freáticas colgadas originadas por excedentes del riego que quedan retenidos por estratos o lentes de materiales de baja permeabilidad, por ej.: "toscas" (término local, generalmente horizontes de carbonato de calcio, con variable cementación), horizontes petrogípsicos (yeso cementado fuertemente), capas de arcilla, entre otros.

La importancia de la peligrosidad freática es que se puede asociar con diversos procesos físico-químicos de degradación de suelos [23] tales como: salinización (particularmente "revenición"), remoción en masa (licuefacción) y erosión (piping o erosión en túnel). A su vez, los dos últimos se consideran procesos de Peligrosidad Geológica que afectan al área de los alrededores de la capital de Mendoza [6].

### Análisis del Cono Maipú

En el tramo superior del Río Mendoza se encuentra el acuífero libre. Esos terrenos, correspondientes al ápice del cono aluvial, presentan predominio de sedimentos de granulometría gruesa (gravas y gravillas, en terminología local denominados "ripios" o "cantos rodados"): La altísima permeabilidad de este tipo de materiales favorece una rápida infiltración y por tanto actúan como "áreas de recarga" del acuífero.

En cambio, en el tramo medio la granulometría de los sedimentos disminuye, aparecen capas limo-arcillosas que confieren a los acuíferos características de semiconfinamiento o confinamiento. Estas capas de reducida permeabilidad originan una extensa área de surgencia. [24] [19] [20].

La mayor parte del área de surgencia de la Cuenca Norte presenta una forma de "media luna" (Figura 3). Esta forma corresponde al sector distal de la confluencia de dos conos aluviales activos del Río Mendoza: los denominados (según [25]) "cono Maipú" (correspondería al sector NE del área de surgencia) y "cono Palmira" (sector SE de surgencia).



Figura 2: Suelos en el acuífero libre del Río Mendoza en el ápice del Cono Maipú: se observan potentes estratos de gravas y gravillas con gran continuidad lateral. Estos sedimentos de granulometría gruesa favorecen la recarga del acuífero por su alta permeabilidad.



Figura 3: Delimitación del área de surgencia en Guaymallén.

### Freáticas superficiales

Los niveles freáticos cercanos a superficie (inferior a 2 m. de profundidad) se corresponden fundamentalmente con zonas irrigadas [18]. Estas freáticas superficiales se originan por una combinación de factores antrópicos (exceso de láminas de riego, canales no impermeabilizados) y sedimentológicos (presencia de estratos u horizontes de baja permeabilidad). El área de surgencia está afectada por niveles freáticos muy superficiales.

### Acuífero surgente

Para el área en estudio (localizada al Este de la Ciudad de Mendoza) el nivel piezométrico corresponde aproximadamente a los 680 m.s.n.m. Como el área en estudio está altitudinalmente más baja que el nivel piezométrico, el nivel del agua en las perforaciones de los acuíferos profundos (confinados) se estabilizará por encima del nivel del terreno, con varios metros de nivel positivo de agua surgente.

El exceso de agua por falta de válvulas de cierre es un factor condicionante de la Peligrosidad Geológica.



Figura 4: Pozo surgente en Los Corralitos, Guaymallén. Se observan terrenos húmedos, de texturas finas y ricos en materia orgánica humificada (color pardo muy oscuro, casi negro). Este surgente es uno de los pocos que posee válvula de cierre. Cultivo anterior existente en el terreno: berros (acuática).

### EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD GEOLÓGICA

Los procesos edafogénicos [26] condicionan las características de los suelos. Analizando en escala regional de Mendoza [27] se observa que, dentro del área de estudio, hay zonas donde los suelos están afectados principalmente por tres procesos:

- Paludización: acumulación de restos orgánicos. Indica ambientes palustres (ciénagas).
- Salinización: acumulación de sales solubles. Un caso especial es la revenición donde el gradiente salino es inverso (mayor concentración de sales cerca de la superficie del suelo).
- Desalinización: eliminación de sales solubles (Piping).

Todos estos procesos están relacionados a la presencia de freáticas superficiales, y por tanto condicionan la Peligrosidad Geológica de Subsistencia (hundimiento) y Remoción en Masa denominados licuefacción y erosión en túnel o piping.

### Licuefacción

Los procesos asociados a Licuefacción son Subsistencia y Remoción en Masa ("lateral spreading"). Se muestran a continuación los factores condicionantes y disparadores de licuefacción en algunos sectores de la zona de estudio:

Grado de consolidación	Tipo	Susceptibilidad a licuefacción			
		Edad			
		< 500 años	Holoceno	Pleistoceno	Pre-Pleistoceno
Friables	lacustre y playa	ALTA (+4) área surgencia Cono Palmira	Moderada área surgencia Cono Maipú	Bajo (+2)	Muy bajo (+1)
	aluvial	Moderada			
	till (alto % fragmentos gruesos)				
consolidadas	tufa (caliza)				

Tabla 3 Factores condicionantes y disparadores de licuefacción en algunos sectores de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

### Influencia de la actividad sísmica

El área en estudio corresponde a los 33° Latitud Sur (región 2). Se observa que presenta una historia sísmica de magnitudes que han superado los 5,0 con más de treinta sismos.

Desde el punto de vista sísmico, el área en estudio cumple con los requerimientos de Magnitud necesarios para desencadenar procesos de licuefacción ( $M = 5$  o mayores según [28]).

Los estudios del INPRES [29] [30] ubican la zona Norte de Mendoza en el sector de mayor intensidad sísmica: VIII (para un período de recurrencia de 50 años) o IX (100 años). Por lo tanto, el área de estudio presenta condiciones sumamente favorables a procesos de Peligrosidad Geológica.

En Mecánica de Suelos la Capacidad Portante ("Bearing Capacity") es la capacidad de un cuerpo natural (ej.: suelo) o artificial (ej.: un edificio) de soportar una carga sin deformación. En otros términos, es la máxima presión (Presión = Peso/Superficie) que se puede ejercer sobre un terreno sin perder la cohesión (fuerza de unión entre partículas individuales) de la fracción sólida del suelo.

Varios procesos pueden desencadenar la pérdida de la Capacidad Portante del suelo, por ej.: licuefacción, piping, etc. Aparte de los previamente citados, en el área de estudio se ha encontrado un caso especial, al que se denomina sobresaturación por "sub-inundación".



Figura 5: Pérdida de Capacidad Portante por Proceso de "sub-inundación" (migración subsuperficial del agua de riego excedente entre propiedades limítrofes).

SUELO	Test de laboratorio
sólido	S/D
semi-sólido	
plástico	Límite Plástico ("Plastic Limit" = PL)
líquido	Límite Líquido ("Liquid Limit") = LL)

Tabla 4: Estados del suelo en función del contenido hídrico. S/D = sin datos.

### CONCLUSIONES – PROPUESTAS DE MEDIDAS DE GESTIÓN

Para la realización del presente plan de gestión, se clasifican propuestas tendientes a disminuir el riesgo de licuefacción de acuerdo a una aplicación en el corto, mediano o largo plazo.

#### Medidas de Corto Plazo:

Las medidas para minimizar el riesgo de licuefacción en el corto plazo son no estructurales. Esto se debe a que es necesario conocer cuáles son las zonas más expuestas, capacitar a la población, elaborar planes de seguridad, entre otras acciones.

A continuación se enumeran propuestas de gestión:

- Identificar zonas más vulnerables, elaborando un mapa de riesgo;
- Brindar capacitaciones técnicas a entes públicos y privados involucrados en la toma de decisión, con el objeto de considerar el riesgo de licuefacción en la planificación del uso de suelo;
- Generar información de libre acceso a la población. Es primordial sensibilizar a los pobladores en las gestiones adecuadas para el uso de sus tierras y la Peligrosidad Geológica existente en las mismas.
- Organizar los recursos necesarios en caso de emergencia y disponer de lugares físicos para albergar a la población cuya vivienda haya sido destruida o dañada severamente;
- Exigir a nivel provincial y municipal, la elaboración de estudios de suelo para todo proyecto;
- Revisar el código de edificación y la normativa relacionada;
- Realizar un relevamiento de las estructuras presentes en zonas con riesgo de licuefacción y un análisis estructural de las mismas.

#### Medidas de Mediano Plazo

Con las medidas a mediano plazo, se pretende incorporar en la conciencia colectiva y la toma de decisiones los riesgos de licuefacción. Por lo tanto las acciones a implementar son:

- Integrar el concepto de riesgo de licuefacción en las proyecciones y planificaciones de crecimiento de la ciudad;
- Desarrollar un plan de ordenamiento territorial;
- Mantener actualizado el relevamiento de zonas tendientes a manifestar procesos de licuefacción;
- Conocer las condiciones presentes en el terreno para la realización de toda actividad. Por ello deben determinarse que tipo de actividades o usos del suelo son aptos y cuales estarán totalmente prohibidos o con restricciones para cada zona. Así como fomentar la realización de nuevas actividades verdaderamente aptas a las condiciones del terreno;
- Generar adaptaciones en las construcciones que se hayan encontrado defectuosas en el relevamiento realizado; pudiendo en algunos casos plantear la reubicación de las mismas.

#### Medidas de Largo Plazo

En esta etapa, se debe realizar una planificación y proyección del crecimiento de la ciudad, incorporando el riesgo de licuefacción en un plan de ordenamiento territorial:

- Conformar un equipo interdisciplinario, abocado a gestionar el plan de ordenamiento territorial, al análisis de proyectos de gran envergadura o localizados en zonas de alto riesgo y al relevamiento de zona de riesgo;
- Controlar, no con el único fin de verificar la realización de lo establecido, sino también, de evaluar la eficacia y eficiencia de las gestiones que se ejecutan. De modo que se logre una retroalimentación continua, afianzando medidas, modificando otras, eliminando algunas, introduciendo nuevas. Mejorando continuamente.



## REFERENCIAS

- [1] Tarbuck, E. Lutgens, F., 2005. Ciencias de la tierra. Editorial Pearson Educación. Madrid.
- [2] Zamora Sauma, N., 2007. Morfología costeira, faciología e geotecnia na região de Puerto Jiménez, Costa Rica: um estudo integrado na análise de potencial de liquefação e erosão costeira. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociencias. Programa de Pós-Graduacao em geociencias.
- [3] Fiore, J. M., 1987. Licuación de suelos. Características del fenómeno de licuación y movilidad cíclica y análisis del potencial de licuación de suelos arenosos saturados. Revista del Centro de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores de Mendoza. Año 30 – N° 71. Mendoza.
- [4] González, M. A., González Díaz, E. F., Sepúlveda, E., Regairaz, M. C., Costa, C., Cisneros, H., Bea, S., Gardini, C., Pérez, I. y Pérez, M., 2002. Carta de Peligrosidad Geológica 3369-II. Mendoza. Provincias de Mendoza y San Juan. Esc.: 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas de la República Argentina. Boletín N° 324. Servicio Geológico Minero Argentino – Subsecretaría de Minería de la Nación
- [5] Perucca, L y Bastías, H., 2005. El Terremoto Argentino de 1894: Fenómenos de licuefacción asociados a Sismos. Insugeo. Serie Correlación Geológica. Pp.: 55-70.
- [6] Regairaz, M. C. y González, M. A., 2001. Zonificación de áreas afectadas por salinización para el estudio de la peligrosidad geológica en la hoja Mendoza. Revista de Geología aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 16. Buenos Aires. Pp.: 124-133.
- [7] Dregne, H., E., 1976. Soils of Arid Regions. Elsevier Publ. Amsterdam.
- [8] Cooke, R., Warren, A. and Goudie, A., 1993. Desert Geomorphology. UCL Press, England.
- [9] Laudecina, A. R., 2010. Tesis de grado. Análisis y propuestas de gestión para el área de surgencia del departamento Guaymallén, Mendoza. Universidad de Congreso.
- [10] Wicander, R. y Monroe, J. S., 2000. Fundamentos de Geología. International Thomson Editores, ed. 2000, trad. de 2ª ed. México.
- [11] Santibáñez Rodríguez, D. H., 2006. Determinación del potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar. Tesis de grado. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- [12] Paredes, J., y Perucca, P., 2000. Evidencias de paleolicuefacción en la quebrada del Río Acequión, Sarmiento, San Juan. Revista Asociación Geológica Argentina, 55: 394-397.
- [13] Prieto, M. R., Dussel, P, Abraham, E y Garavaglia, J. C., 2003. Transformaciones de un Ecosistema Palustre. La gran ciénaga del Bermejo- Mendoza, siglos XVIII y XIX. Congreso de Americanistas. Simposio de Historia Ambiental.
- [14] Vitali, G., 1940. Hidrología Mendocina: Contribución a su conocimiento, Talleres Gráficos D´Accurzio. Mendoza.
- [15] Alba, A., 1973. "Morfología de la superficie piezométrica: su análisis e importancia", CRAS. Serie Técnica N° 2.
- [16] Cerqueti, M., 1986. Análisis hidrológico preliminar de la zona de surgencia de la Cuenca Norte de agua subterránea - Período 1984-1985, provincia de Mendoza, Informe Técnico CRAS N° 67. San Juan, Argentina.
- [17] Martines, N., Comellas, E. y Barone, R., 1987. Cuantificación de la descarga en el área de surgencia natural de la cuenca Norte. Provincia de Mendoza, Informe Técnico CRAS N° 100. San Juan, Argentina.
- [18] DGI., 1988. Instalación de redes freáticas en las áreas irrigadas de la provincia de Mendoza. Publicación Técnica N° 1.
- [19] Martinis, N. y Robles, J., 2001. Oasis Norte de Mendoza: acuífero libre: período 1969-1999, Rev. Facultad Ciencias Agrarias, UNC, Tomo XXXIII, N° 1. Pp: 65-74.
- [20] Ortiz Maldonado, G. y Gómez, H. W., 2000. Tramo medio del Río Mendoza: niveles freáticos 1986-1996. Revista Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Tomo XXXIII. Vol. N° 53 a 63.
- [21] Nijensohn, L., 1990. Extensión y Capacitación de Regantes del Área de Influencia del Colector Pescara. Informe Final. Programa de Desarrollo Institucional Ambiental. Subprograma B. Control de la Contaminación Industrial.
- [22] Ortiz Maldonado, G. y Carmona, V., 2008. Comportamiento y clasificación del Riesgo Freático, Lavalle, Mendoza, Argentina, Revista Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Tomo XL, N° 2, 25-40.
- [23] FAO, 1980. Metodología provisional para La evaluación de la degradación de los suelos. Roma, 1980.
- [24] Torres, E. y Zambrano, J., 2000. Hidrogeología de la provincia de Mendoza, en: Caracterización Ambiental Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja, Argentina: Recursos y Problemas Ambientales de la Zona Árida, Abraham, EM y Rodríguez Martínez, F (Eds.), Tomo I, Pp.: 49-58.
- [25] Regairaz, A. C. y Barrera, R. O., 1975. Formaciones del Cuaternario. Unidades Geomorfológicas y su relación con el escurrimiento de las aguas en el Piedemonte de la Precordillera. Anales Academia Brasileña de Ciencia, 47 (Suplemento), Pp.: 5-20.



- [26] Buol, S.W., Hole, F.D. y McCracken, R.J., 1981. Génesis y Clasificación de Suelos. Editorial Trillas. México.
- [27] Ferrer, J. A y Regairaz, M. C., 1993. Suelos de Mendoza: Factores y Procesos de Formación. Relatorio del XIII Congreso Geológico Argentino y II Congreso Argentino de Hidrocarburos, Mendoza, V (3). Pp.: 633-642.
- [28] Atkinson, G., 1984. Simple computation of liquefaction probability for seismic hazard applications. Earthquake Spectra, 1 (1). Pp.: 107-123.
- [29] Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES, 1977. El terremoto de San Juan del 23 de Noviembre de 1977 (informe preliminar), San Juan..
- [30] Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES, 1978. Determinación de los Coeficientes Sísmicos Zonales para la República Argentina. Publicación Técnica N° 6. San Juan.

# El nuevo Observatorio Geomagnético de Pilar, Córdoba, República Argentina

## RESUMEN

El Servicio Meteorológico Nacional desarrolla las actividades de determinación de los elementos del campo magnético terrestre desde 1904 en el Observatorio Geofísico de Pilar (PIL, Lat: 31° 40' 03" S Long: 63° 52' 53" W). Los registros en soporte analógico consistente en papel fotográfico llamados magnetogramas cubren el intervalo 1904 hasta el mes de abril de 2011. En el mes de Diciembre de 2010 se inició la instalación de un equipamiento digital consistente en un variómetro triaxial de compuerta de flujo ( Flux-gate en inglés) y un magnetómetro de precesión protónica. En este trabajo se presentan los resultados preliminares de los primeros meses de registros de las variaciones absolutas del campo magnético terrestre. También se presentan la evolución de los elementos magnéticos para el intervalo 1905-2010. Se comparan las variaciones diurnas con los registros digitales de los Observatorios de Las Acacias (LAS, Lat: 35° 00,5' S; Long:57° 41,65' W) y Trelew (TRW, Lat: 43° 16,1' S; Long: 65° 22,9' W) estimándose comparativamente mediante el índice P1F los niveles de actividad geomagnética registrada diariamente. La nueva tecnología incorporada y la formación del recurso humano en el manejo de los nuevos instrumentos son un desafío para continuar la instalación en otros Observatorios Permanentes de la República Argentina.

### Palabras Clave:

Pilar, Observatorios Magnéticos, registro digital, magnetómetros, variaciones.

Esteban Cabrera (1),  
John Riddick (2),  
Jean Rasson (3),

Julio César Gianibelli (4),  
Nicolás Quaglino(4).

1- Servicio Meteorológico Nacional, 25 de Mayo 658. Cdad. de Buenos Aires, Argentina.

2- British Geological Survey, Edinburgh, United Kingdom.

3- Institut Royal Météorologique, Dourbes, Belgium.

4- Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Univ. Nac.de La Plata. Paseo del Bosque s/n, 1900, La Plata, Argentina.

[ecabrera@smn.gov.ar](mailto:ecabrera@smn.gov.ar)

## INTRODUCCIÓN

En los comienzos del año 1904 la Oficina Meteorológica Argentina realizó el estudio para establecer un Observatorio Magnético perfectamente equipado en Pilar, Provincia de Córdoba, con el objeto de establecer una estación que sirviera como base para un levantamiento magnético de toda la República, se eligió entonces la parte central de la provincia de Córdoba como región apropiada para instalar el observatorio. Una investigación preliminar del campo magnético demostró que en la región indicada, con excepción de la inmediata vecindad de las sierras, las condiciones eran favorables en un paraje cercano al pueblo de Pilar, a 40 Km. al sudeste de la ciudad de Córdoba. La extensión del terreno es de ocho hectáreas y está situado sobre la orilla sur del Río Segundo. La posición geográfica es la siguiente: Latitud Sur: 31°40'03"; Longitud Oeste: 63°52'53" y Altura Sobre el Nivel del Mar 333 m.

En enero de 1904 se comenzó la construcción del pabellón de variómetros y el de observaciones absolutas magnéticas los que fueron terminados en junio de 1904. El primer registro fotográfico de los elementos del CMT se obtuvo el 1° de julio de 1904, por esa causa se tomó esa fecha como la del nacimiento del Observatorio de Pilar.

Las Figuras 1, 2 y 3 muestran los tres primeros magnetogramas correspondientes a la Declinación, componentes Horizontal (H) y Vertical (Z) respectivamente.

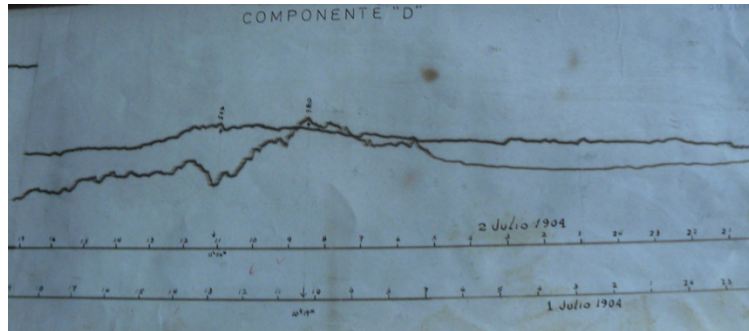


Figura 1.

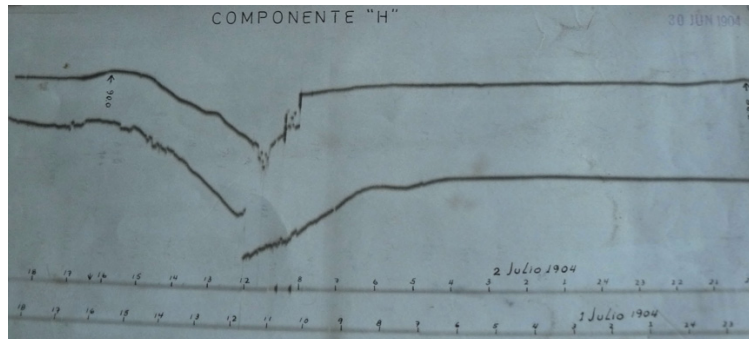


Figura 2.

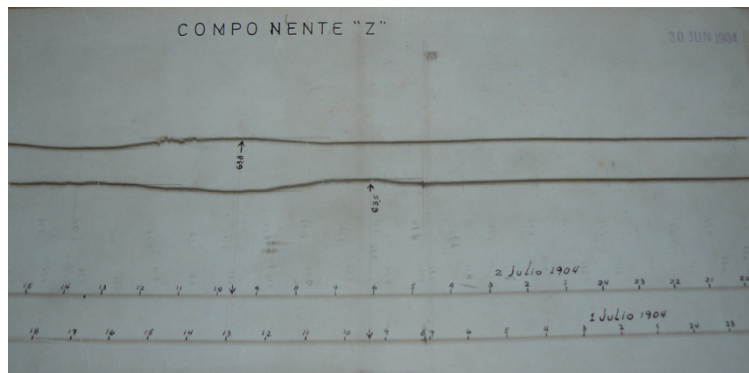


Figura 3.

En las Figuras 4 y 5 se tiene la ubicación del Observatorio Magnético Permanente (OMP) de Pilar (PIL) en la República Argentina y en el contexto dado por la cartografía del Campo Magnético Terrestre (CMT) representado por la carta de isodinas de F obtenidas a partir del modelo del Campo Geomagnético Internacional de Referencia para la época 2010.0 donde se ha señalado también la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS).



Figura 4.

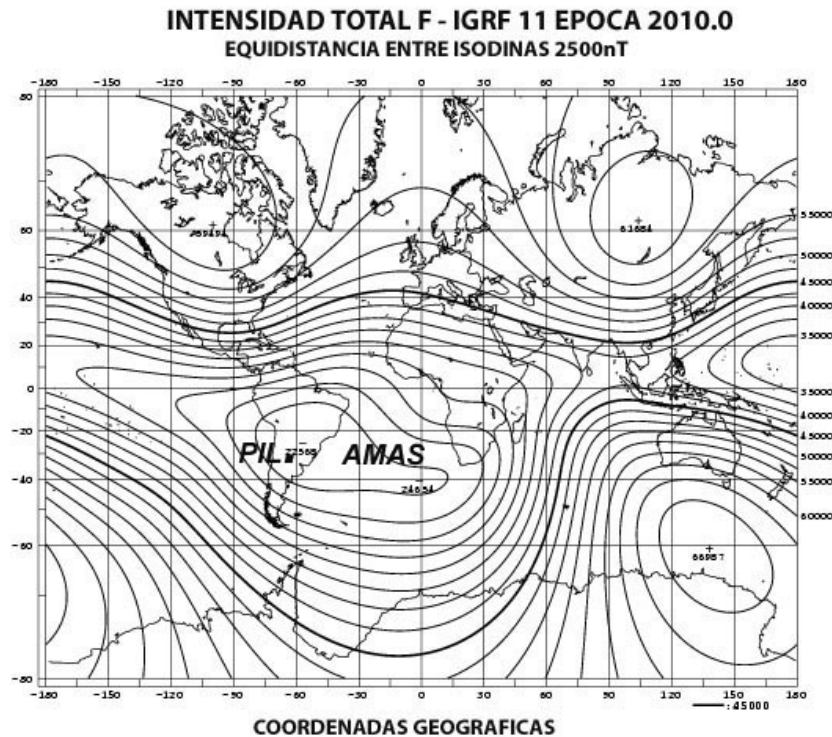


Figura 5.

El 21 de noviembre de 1951 a las 21:35 un tornado destruye prácticamente todo el Observatorio, de sus doce pabellones tan solo cuatro resistieron el fenómeno meteorológico, los demás con el instrumental que guardaban sufrieron daños casi totales. La labor quedó interrumpida por muy poco tiempo pues la tarea de Geomagnetismo se cumplió con instrumental de campaña mientras se reparaban los edificios.

Desde su creación en 1904, su labor en geomagnetismo no tuvo casi interrupción hasta la fecha de la destrucción. Es el centro de todas las actividades geomagnéticas, tales como los relevamientos magnéticos del país, confección y publicación de las Cartas Magnéticas de la República Argentina desde 1914 hasta 1965; continuado luego como OMP y generando bases de datos de los elementos magnéticos de Declinación, y Componentes Horizontal y Vertical. La Figura 6 muestra la primera carta isógona editada por la Oficina Meteorológica en 1914.

Las actividades de Geomagnetismo son las más intensamente abarcadas dentro de la Geofísica de la Oficina Meteorológica y en el actual Servicio Meteorológico Nacional (SMN), cuyas observaciones le dieron al observatorio de Pilar la importancia en el continente Americano y a nivel mundial. El Instituto Panamericano de Geografía e Historia y la unión Geodésica y Geofísica Internacional a través de su comité de Asociación Internacional de Magnetismo Terrestre consideraron al OMP de PIL como el "Observatorio Sub-Patrón de América"; y posteriormente se lo designó "Observatorio Magnético Patrón para Centro y América del Sur".

El instrumental utilizado desde 1904 hasta el mes de Marzo de 2011 son variómetros de suspensión unifilar acompañados por los magnetómetros para medir D y H llamado QHM, y la Balanza para determinar Z llamada BMZ para las determinaciones absolutas que conducían a la determinación de la línea de base del magnetograma para obtener las variaciones absolutas de D, H y Z del CMT. Los registros contaban además con sistemas de tiempo conformados en sus inicio por relojes mecánicos y luego por relojes de control electrónico además de estar en casillas totalmente fabricadas sin ningún elemento magnético y con diversos tipos de aislamiento térmico. Los variómetros se disponen en mesas de mármol, horizontalizadas apoyadas en pilares enterrados a una profundidad suficiente para evitar cambios. De la misma forma se disponen varios pilares para instalar el instrumental absoluto (Parkinson 1983 [1], Jacobs 1987 [2]).





Figura 6.

La Figura 7 muestra los variómetros que registran D, H y Z instalados en la denominada "Casilla de Variómetros" (Ver Figura 10), mientras que la Figura 8 muestra el magnetómetro absoluto QHM y la Figura 9 el magnetómetro BMZ instalados en la llamada "Casilla de Absolutas" (Ver Figura 10).

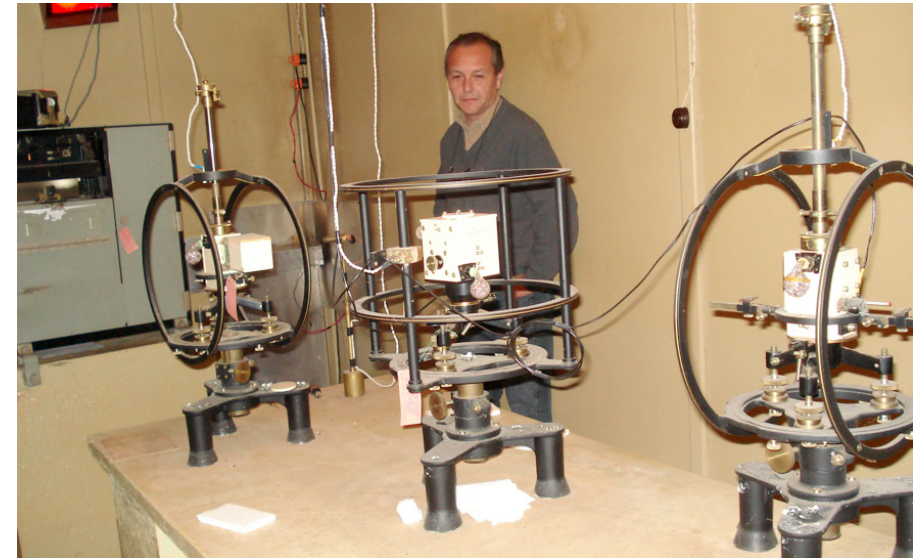


Figura 7.



Figura 8.



Figura 9.





Figura 10.

### RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES 1904-2011

El instrumental denominado como "clásico" estuvo en operación hasta el mes de Marzo de 2011. Los resultados más importantes están dados por los anuarios publicados de valores medios horarios (VMH), valores medios mensuales (VMM) y los valores medios anuales (VMA). Estos últimos se encuentran en las bases de datos digitales de libre acceso por Internet. Los VMH, VMM y VMA de los elementos del CMT son utilizados para la confección del Modelo de Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF por sus siglas en inglés). La Figura 11 muestra la variación con el tiempo desde 1904 a 2009.5 de la Declinación e Inclinación, mientras que la Figura 12 representa la variación temporal de los elementos isodinámicos de la intensidad total F, de H y de Z.



Figura 11.

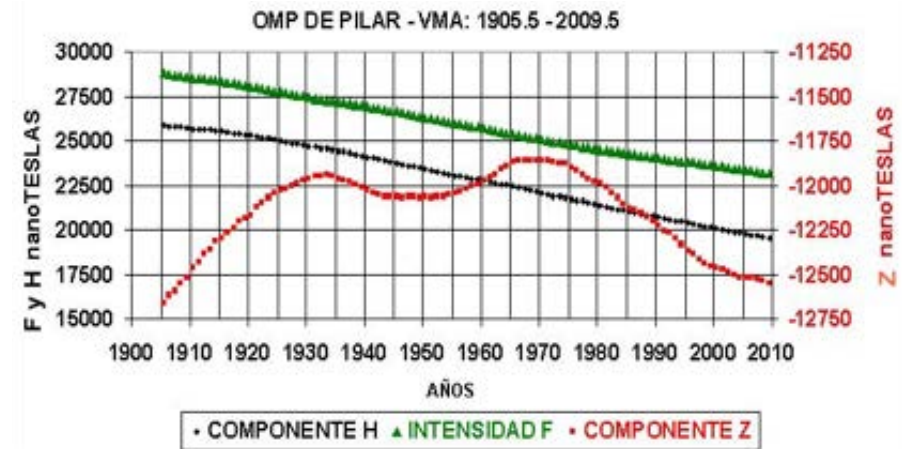


Figura 12.

Un aspecto importante son las características de variación de la Declinación (Figura 11), la cual fue nula durante 1982, indicando que la línea agónica pasó sobre el OMP de PIL, como se muestra en la Figura 13, indicando como lentamente se mueve la aguja de una brújula en 100 años. De la misma manera las variaciones de Z tiene dos máximos uno en 1934 y el otro mas prolongado centrado en 1970. Esto marca el comportamiento en la superficie terrestre de los elementos magnéticos que luego son modelados y representados por el IGRF.

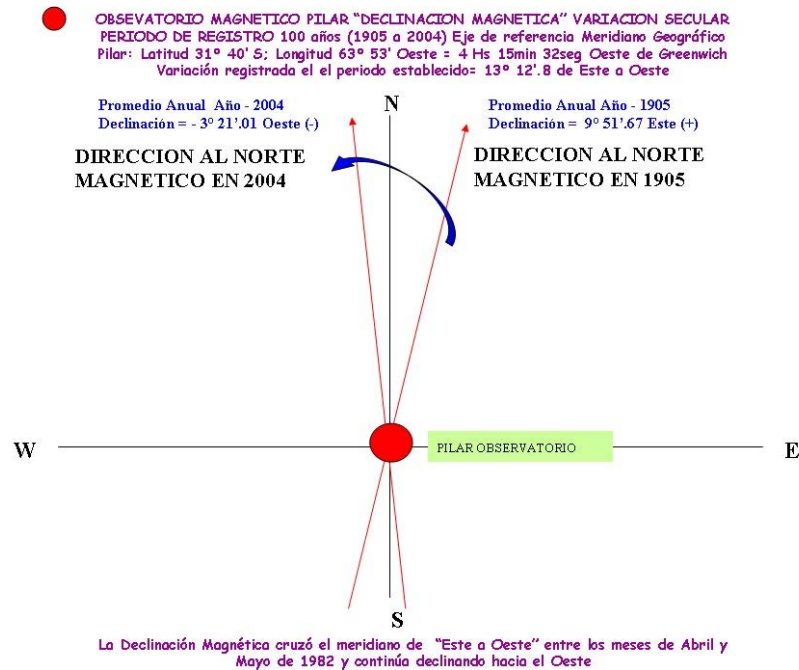


Figura 13.

### EL NUEVO OBSERVATORIO MAGNÉTICO DIGITAL DE PILAR

En noviembre de 2010, el OMP de PIL fue renovado, instalándose un sistema digital denominado INDIGO que cumple con las normativas de la Red Internacional INTERMAGNET, comenzando sus observaciones digitales con un variómetro fluxgate de tres componentes EDAFM105. Este equipo también incluye un magnetómetro de protones GEM para grabación absoluta total del campo (F) y un receptor GPS para proporcionar control de alta precisión de tiempo. Los elementos del CMT son muestreados cada 5 segundos con una resolución de 0,1 nT.

Además se realiza un programa regular de observaciones absolutas para determinar el valor de la línea de base que se lleva a cabo diariamente para la declinación e inclinación magnética usando un Teodolito DIM EDA D/I fluxgate ZEISS020 y el campo total (F) es medido con un magnetómetro GEM GSM90 Overhauser de precesión protónica (Jancowski and Suckdorff 1996 [3]).

En la casilla de variómetros (Figura 10) se encuentra instalado el sistema del variómetro digital y el magnetómetro de precesión protónica que determina la variación absoluta de la intensidad total F del CMT. Las Figuras 14, 15 y 16 muestran el instrumental instalado.



Figura 14.



Figura 15.





Figura 16.

El instrumental absoluto consistente en un Teodolito no magnético provisto con una sonda fluxgate se muestra en la Figura 17 y se encuentra instalado en la casilla de absolutas (Figura 10).



Figura 17.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO

Los registros muestran una calidad óptima desde el momento de la instalación e inicio de los registros durante el mes de Enero de 2011 y se encuentra en estado de testeo para luego integrarse definitivamente y en línea en tiempo real al sistema INTERMAGNET. Durante el mes de septiembre de 2011 se registraron tres tormentas importantes cuyo registro en la intensidad absoluta del campo F registrado por el magnetómetro de precesión protónica GEM se muestra en la Figura 18; comprobándose su origen en las perturbaciones observadas en los registros de la velocidad y densidad del viento solar efectuadas por la sonda ACE (Figura. 19).

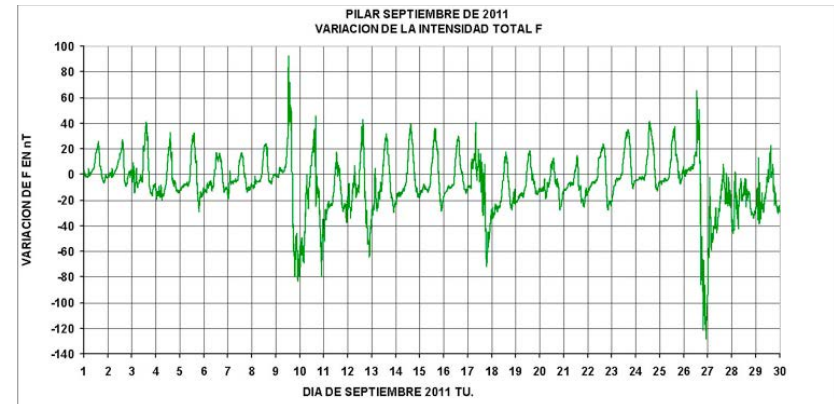


Figura 18.

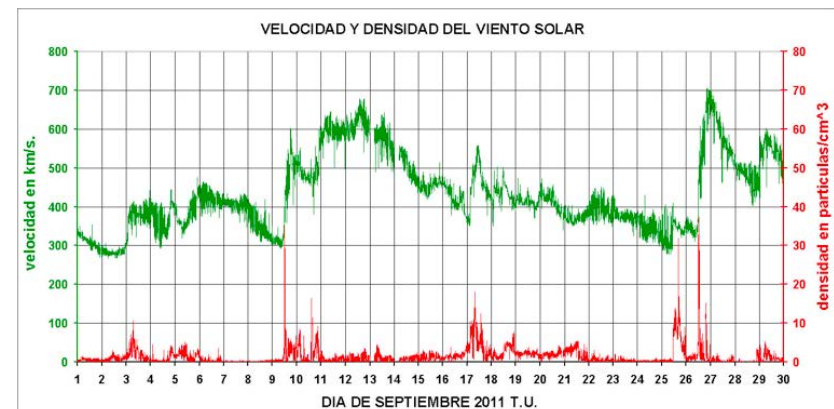


Figura 19.

La determinación de la actividad magnética se realiza sobre la intensidad total F y para ello se aplicó el índice diario P1F (Gianibelli y Quaglino 2009 [4]) a los registros realizados entre el 1 de Abril y 31 de Agosto de 2011. Se comparó los índices P1F de Pilar con los realizados en los OMP de Las Acacias y Trelew para el mismo intervalo (Figuras 20 y 21 respectivamente). Conociendo el nivel de mínima actividad para Trelew en 700nT se determinó el nivel equivalente para Pilar para el intervalo 1 de Abril de 2011 – 31 de Agosto de 2011 que resultó ser de 874nT (Figura 22). A partir de este nivel del índice P1F diario se seleccionaron todos los días menores que dicho nivel para caracterizar la variación diurna calma (Figura 23).

La Figura 22 muestra el cambio temporal de la actividad magnética diaria para Pilar, Las Acacias y Trelew indicándose el nivel límite de 874nT para Pilar y de 700 para TRW para caracterizar a un día como calmo.

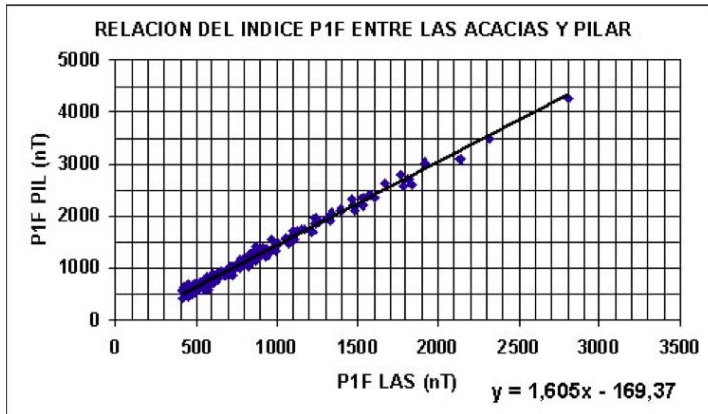


Figura 20.

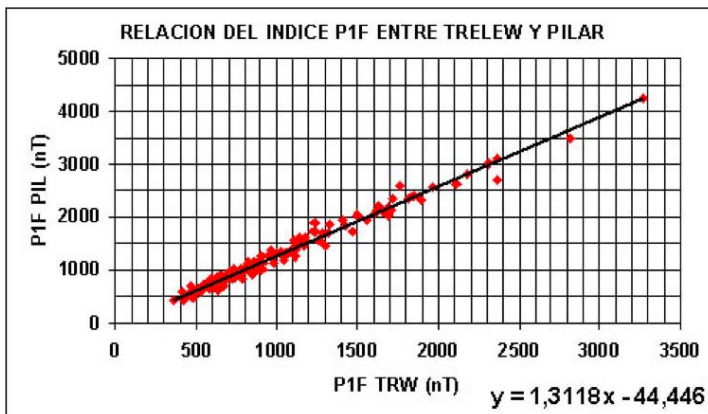


Figura 21.

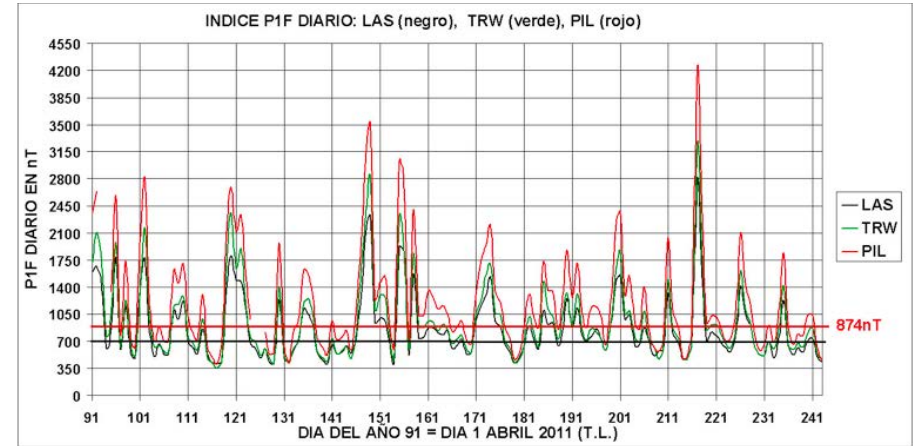


Figura 22.

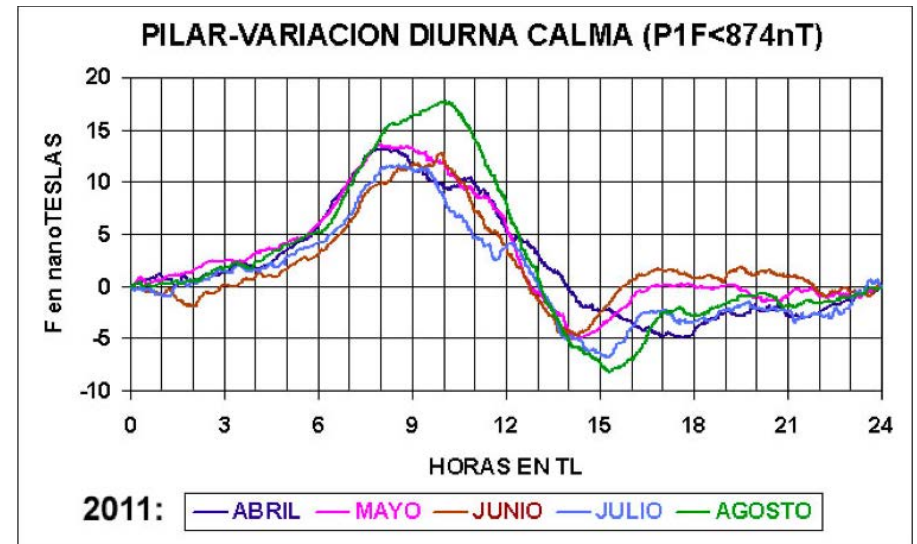


Figura 23.

## CONCLUSIÓN

Uno de los aspectos importantes de este nuevo OMP consiste en la facilidad informática para realizar análisis comparativos sobre los fenómenos registrados y su estado de verosimilitud y perturbación, mediante la determinación de parámetros que caracterizan a la interacción del "sistema real existente o geosistema" con el sistema detector pasivo. La determinación de los días perturbados y calmos es de importancia en la selección de los días para el estudio de las variaciones diurnas calmas. La ubicación del OMP de Pilar está directamente relacionado con la evolución de la AMAS como lo analizan Hartmann y Pacca (2009) [5]. Estos autores proponen una trayectoria resultante de aplicar dos modelos diferentes en la determinación del centro de la AMAS: IGRF y GUMF1 esto queda plasmado en la Figura 24. De ella se desprende que el valor mínimo de la AMAS estará situado en la región comprendida entre los OMP de LQA y PIL.

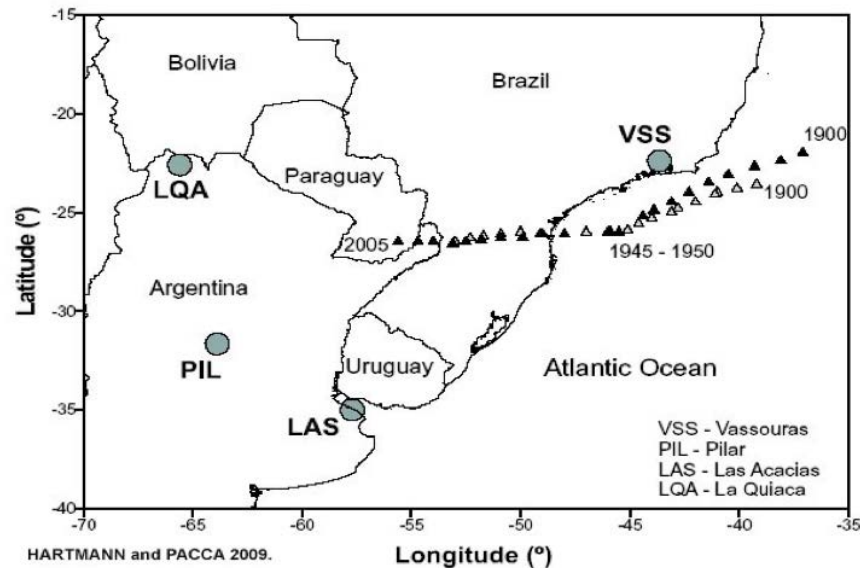


Figura 24.

## REFERENCIAS

- [1] W. D. Parkinson (1983). Introduction to Geomagnetism. Scottish Academic Press, pp 1-433.
- [2] J. A. Jacobs (ed). (1987). Geomagnetism Vol 1. Academic Press, pp 1-627
- [3] J. Jancowski and C. Suckdorff (1996). Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. Pub by IAGA. Warsaw 1996, pp1-235.
- [4] J. C. Gianibelli y N. Quaglino. 2009. La Actividad del Campo Magnético Terrestre y la determinación de los Días Calmos. Actas XXIV Reunión Científica de la AAGG 2009. 1a ed. - Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 2009. ISBN 978-987-25291-1-6. Ciencias de la Tierra. I. Pag. 261, 267, 2009. <http://www.aagg2009.org/espanol/contents/trabajos>.
- [5] G. Hartmann and I. Pacca (2009). Time Evolution of the South Atlantic Magnetic Anomaly. Anais da Academia Brasileira de Ciencias 81 (2) pp.243-255.



# Geomorphometric Maps of Volcanic Areas through Multidimensional Analyses

## ABSTRACT

The geomorphometric classifications of local topographic gradients for the Latera caldera (Italy) and Peteroa Volcano (Argentina) areas are introduced and compared. The adopted method is Tandem Analysis on correlation matrices. Input data are obtained by processing raster Digital Elevation Models extracted from ASTER stereopairs. The resulting 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 being described by either mean gradient values or mean topographic attributes such as elevation, slope and aspect. Next, these data are interpreted in terms of morphological setting.

## INTRODUCTION

In a previous paper [1] Camiz et al. compared three multidimensional techniques to classify geomorphometric data of an area, as described by a raster Digital Elevation Model (DEM). The usual approaches, aiming at defining borders of homogeneous terrain units [2], are based on landforms attributes, that include slope, aspect, and elevation among many others. On the opposite, Poscolieri [3] proposes to take advantage of the local topographic gradients only, as identified by comparing each pixel elevation with that of its 8 nearest neighbours. In [1], among the tested methods, the most suitable technique to deal with this kind of data resulted the so-called Tandem Analysis, that combines a previous Exploratory Factor Analysis, of ordination kind, with an Exploratory Classification, both applied to the 8 topographic gradients. This technique has been used successfully in several papers [4,5].

In this work, we take advantage of the same method to compare the geomorphology of two volcanic sites: Latera, an Italian extinct volcano (Figure 1), and Peteroa, an

S. Camiz (1,2),  
M. Poscolieri (2).

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

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

[sergio.camiz@uniroma1.it](mailto:sergio.camiz@uniroma1.it)

Argentinean active one (Figure 2).

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



Figure 1 - View of the Latera caldera from South.

## THE SITES

The Latera volcanic complex (Figure 1) is located at  $42^{\circ}36' N$  latitude and  $11^{\circ}47'41'' E$  longitude. It forms the western portion of the Vulsinian volcanic district, the northernmost extension of the potassic Roman Comagmatic province. The Latera Complex is formed by an essentially pyroclastic structure which partly collapsed, forming an elliptic  $7 \times 9$  km wide caldera intersecting the western border of the Bolsena depression [6]. It is the best preserved volcanic complex. After a paleo-Vulsini stage of mixed activity (0.6-0.3 million years), a sequence of pyroclastic flows occurred (0.3-0.2 million years [7]), causing the formation of the present-day Latera Caldera. Eruption fractures are not exposed, except for the Onano pyroclastic flow [8], which outpoured from N  $170^{\circ}$ - and N  $100^{\circ}$ -trending fractures tangent respectively to the eastern and northern rim of the Latera Caldera. Finally, the post-caldera activity, dated 0.18-0.15 million years, was characterized by the eruption of the Pitigliano pyroclastic flow, from a N  $60^{\circ}$ -trending fracture along the western rim of the caldera. Following it, a number of cinder and scoria cones with associated lava flows were formed.

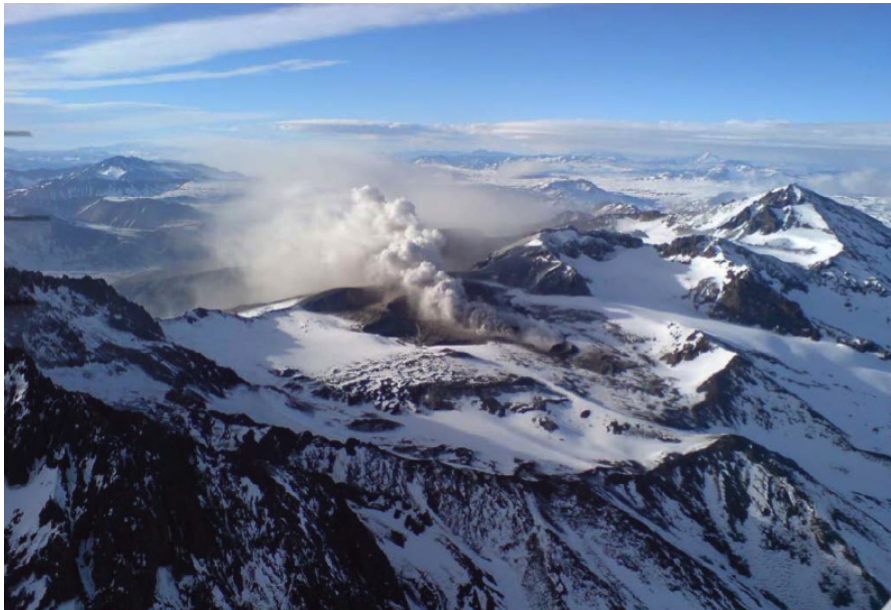


Figure 2 -Aerial view of the Azufre-Planchon-Peteroa volcanic complex summit from NW during its activity in Fall 2010.

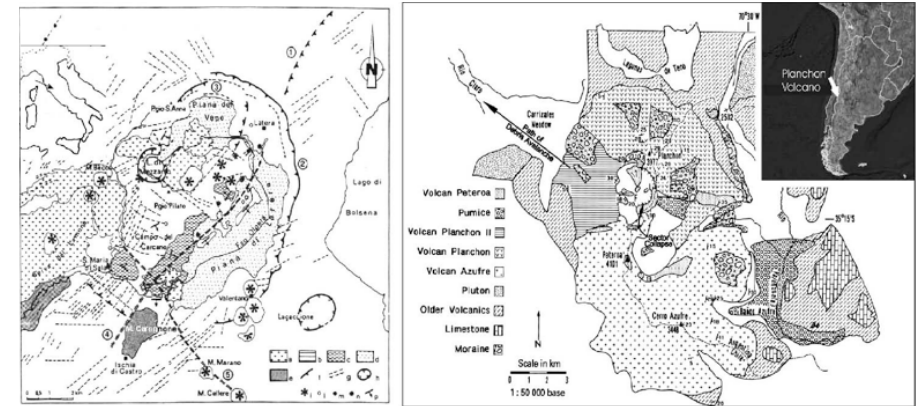


Figure 3 – (left) Geostructural sketch map of Latera caldera (from [6]); (right) Geological sketch map of the volcanic complex of Azufre-Planchon-Peteroa (from [9]).

The Peteroa Volcano (Figure 2) is located 110 km West of Malargüe town, in the Argentinean province of Mendoza, and belongs to the Azufre-Planchón-Peteroa volcanic field. This large, basaltic to dacitic, volcanic complex is located in the Andes, on the Chile-Argentina border, at  $35^{\circ}15' S$  latitude and  $70^{\circ}35' W$  longitude. It covers an area of 78.5 sq.km. and reaches at its summit 4,107 m a.s.l., with several overlapping calderas. The structure of the edifice is complicated by at least 2 syn-volcanic glaciations and a large debris avalanche (the Teno Lahar) that removed a sector of Planchón. The volcanic activity began in the Pleistocene with the emerging of Volcano Azufre, followed by the formation of Planchón (now 3977 m), 6 km North. About 11,500 years ago, much of Azufre and part of Planchón collapsed, forming the massive Rio Teno debris avalanche, which reached Chile's Central Valley. Subsequently, Volcano Planchón II was formed. The youngest Volcano Peteroa, consisting of scattered vents between Azufre and Planchón, has been active into historical time and contains a small steaming crater lake [9]. For recent Peteroa volcano history, see [1, 10]. In Figure 3 the geological sketch maps of both volcano complexes are shown.

## THE DATA

In order to obtain DEM files of both volcanos complexes, we used the ASTER data. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer) Global Digital Elevation Model (GDEM) is the result of a joint-venture of Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry and NASA [11]. It is a database which is acquired by a

satellite-borne sensor ASTER to cover all the land on Earth. The GDEM was created by stereo-correlating the 1.3 million scenes in the database, produced with about 30 meters/pixel resolution, and formatted in 1x1 degrees tiles as GeoTIFF files [12]. The GDEM data are free available for download [13].

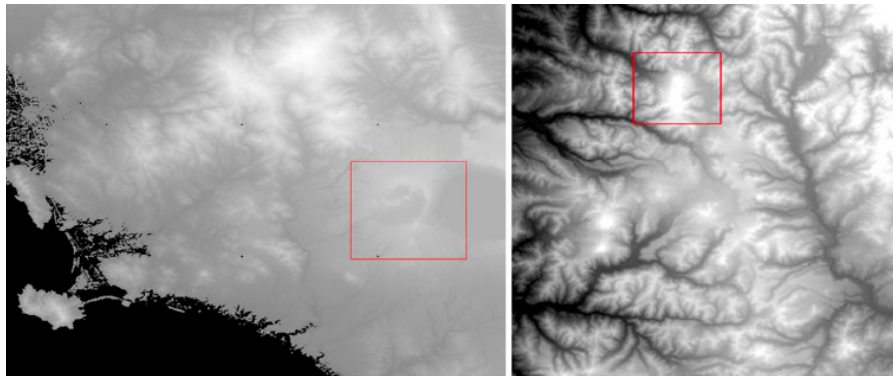


Figure 4 – Gray-level representation of the regional DEM including the studied areas: (left) – Latera caldera; (right) - volcanic complex of Azufre-Peteroa.

To build the DEM file, we selected within an ASTER tile a rectangular subset centred on the volcanic complex of our interest, represented by raster scenes: for Latera, it is 21.16x15.78 kms large, composed by 686x696 pixel, with a spatial resolution of every pixel of 30.85x22.67 m; for Peteroa it is 23.46x19.86 km large and composed by 782x662 pixel, with a spatial resolution of 30.85x25.23 m. In Figure 4, the original tiles are shown, the grey level corresponding to the elevation of each pixel. The red square entails the selected areas. Through a simulation of a given lighting geometry, based on the position of the illumination source we obtained shaded reliefs of the two areas. They are reported as 3D displays in Figure 5: Latera caldera (left) and volcanic complex of Azufre-Peteroa (right); the two images are oriented as the picture in Figure 1 and 2 respectively.

We then processed the DEM file taking into account the elevation value at a given pixel and those at the eight closest neighbours. This way, 8 elevation gradients were calculated for each pixel. In Remote Sensing, this corresponds to an 8-layer data set that may be analysed with classification methods as a multi-band imagery [1]. As well, the same data sets may be seen as data tables of 477,456 (Latera caldera) and

517,684 (volcanic complex of Azufre-Peteroa) units with 8 characters and submitted to multidimensional analyses.

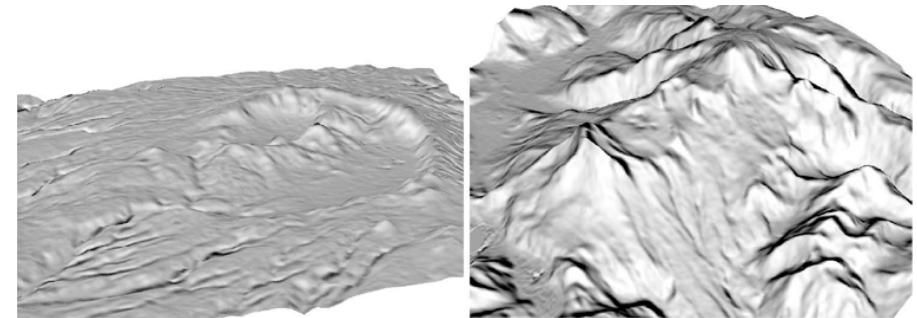


Figure 5 – 3D shaded relief views of the study areas: (left) – Latera caldera; (right) - volcanic complex of Azufre-Peteroa. The 3D views are oriented as the pictures in Figures 1 and 2.

## 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 [14] (see also [3] for a review), 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  $1^\circ$  and  $359^\circ$  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 classification method adopted.

In this framework, the identification of the intrinsic classification of the units of a sample through multi-dimensional clustering methods, based on a classical data table, is a task very difficult to achieve. Indeed, given a pattern of points in a multi-dimensional space, its shape and density may be so various that no method known so far can a priori ensure to provide a suitable partition of the sample. Indeed, the distribution of geomorphometric data is sufficiently uniform to exclude a natural partition, that is a partition able to isolate clusters of points sufficiently separated by empty space from the other clusters. Thus, limiting attention to exploratory methods



that provide sufficiently homogeneous groups may be suitable for this task. The experimentation performed so far [1] shows that, albeit not optimal, the Tandem Analysis may be considered suitable to classify the DEM data.

### Tandem Analysis

With this term (first used by [15]) we refer to the sequence of an exploratory factor analysis followed by a hierarchical classification of units based on the distance among them on a selected principal space. The method belongs to the so-called exploratory data analysis techniques [16] as a cognitive model able to suggest a possible structure of the data, based on the search of ordination gradients as factors that influence the variation of the data and classifications that allow the partition of the units according to possible sub-populations with respect to the chosen factors. We refer to [1] for a thorough description of the used method. Suffice here to remind that it is composed by a Principal Component Analysis (PCA, [17]) followed by a mixed classification algorithm, based on a K-means reallocation algorithm [18], followed by a Hierarchical Ascendant Classification (HAC, [17,19]) based on the Euclidean distance on the selected factor space and on the Ward's [20] criterion to aggregate the classes and integrated by another K-means. This way, a partition in a maximum given number of optimally homogeneous classes is built, in our case at most 500; then, on these classes, a HAC was performed, and eventually, once decided the suitable number of classes, another K-means was run, in order to get these classes more compact.

### Colouring the map

As our aim is to build thematic maps to be compared, we decided to colour the classes in both cases according to a uniform criterion, based on the average values of the geomorphometric parameters in the classes of belonging. Thus, pixels belonging to the same class have the same colour and classes with similar structure have similar colours. So, 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 HSL (Hue-Saturation-Lightness) colour modelling [21]. As for the Lightness a mean shadow value was chosen.

<b>Gradient</b>	<b>N. of obs.</b>	<b>Mean</b>	<b>Variance</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>Latera</b>	<b>648528</b>				
NW		-0.15	3.87	-29.00	35.00
N		-0.21	2.92	-21.00	26.00
NE		-0.26	3.11	-27.00	26.00
E		-0.05	2.02	-16.00	16.00
SE		0.15	3.87	-35.00	29.00
S		0.21	2.91	-26.00	21.00
SW		0.26	3.11	-26.00	27.00
W		0.05	2.02	-16.00	16.00
Height		387.89	82.21	159.00	642.00
Slope		5.49	5.40	0.00	48.15
Aspect		178.89	111.11	0.00	360.00
<b>Peteroa</b>	<b>514800</b>				
NW		1.01	13.58	-116.00	107.00
N		-0.11	9.93	-85.00	88.00
NE		-1.22	12.02	-89.00	90.00
E		-1.12	8.16	-47.00	85.00
SE		-1.01	13.57	-107.00	116.00
S		0.11	9.93	-88.00	85.00
SW		1.23	12.04	-90.00	89.00
W		1.11	8.16	-85.00	47.00
Height		2635.96	475.19	1222.00	4058.00
Slope		20.21	11.86	0.00	73.15
Aspect		193.64	104.19	0.00	360.00

Table 1 -Mean, variance, Minimum and Maximum of both the eight topographic gradients and the three morphometric parameters for both Latera caldera and Azufre-Peteroa complex. Gradient N. of obs. Mean Variance Minimum Maximum.

## RESULTS

In Table 1 a direct comparison of morphological setting parameters is possible about the two volcanic sites: they result highly different. Indeed, the Peteroa complex shows much higher gradients' minima and maxima than Latera, with larger means, variances, and ranges for what concerns Height and Slope too. In both sites, the negative correlations between opposite directions are very high, albeit their values are lower in Latera than in Peteroa. As well the correlations between close directions are higher than those farther. In general, the correlations among the directions N, NW, S, and SE are higher than those among the directions E, NE, W, and SW. In Figure 6 the eight gradients are represented on the correlation circle spanned by the first two principal components of the two data sets.

Here, the gradients form a smaller angle as the correlation among them increases: in both cases on these planes nearly all total inertia is represented, as the sum of the inertias along the two axes (for Latera  $57.79 + 36.40 = 94.19\%$ ; for Peteroa  $55.03 + 43.54 = 98.6\%$ ), with a difference between the two factors, larger in Latera and somehow smaller for Peteroa. This may be interpreted as an agreement of gradients with close orientation and the relative independence of those nearly orthogonal. The higher correlations in Peteroa mean that these agreements are higher than in Latera. Indeed, in Latera PCA, a third axis explains around 4% of inertia, that corresponds to the simultaneous increase or decrease of all gradients, that identifies summits, pits, saddle points, ridges, and valleys. Looking at the figure, it is evident that in both cases the two axes are slightly rotated with respect to the four cardinal points: the first axis' direction is nearly NNW-SSE and the second's is nearly ENE-WSW. In both cases, the projection of the aspect on this plane is most correlated with W. This represents only a share of the aspect's inertia (52.3% for Latera and 67% for Peteroa), Both height and slope are never correlated with these axes.

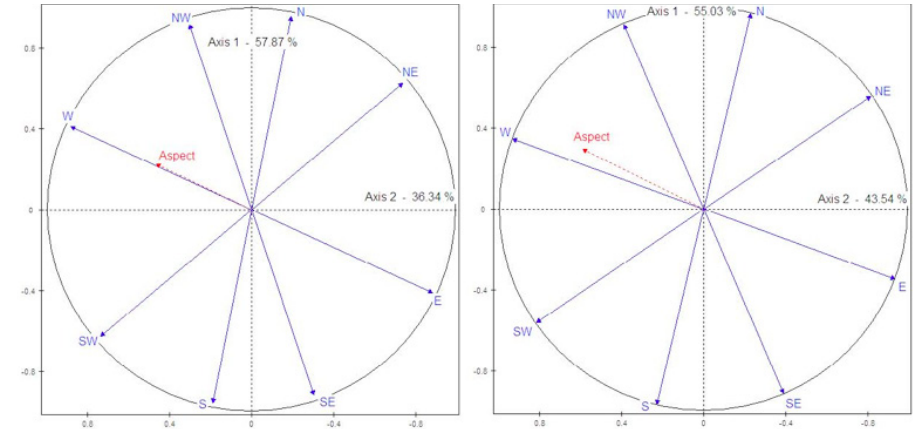


Figure 6 – Correlation circle of the PCAs performed on the eight topographic gradients derived from the DEMs: (left) – Latera caldera; (right) – volcanic complex of Azufre-Peteroa.

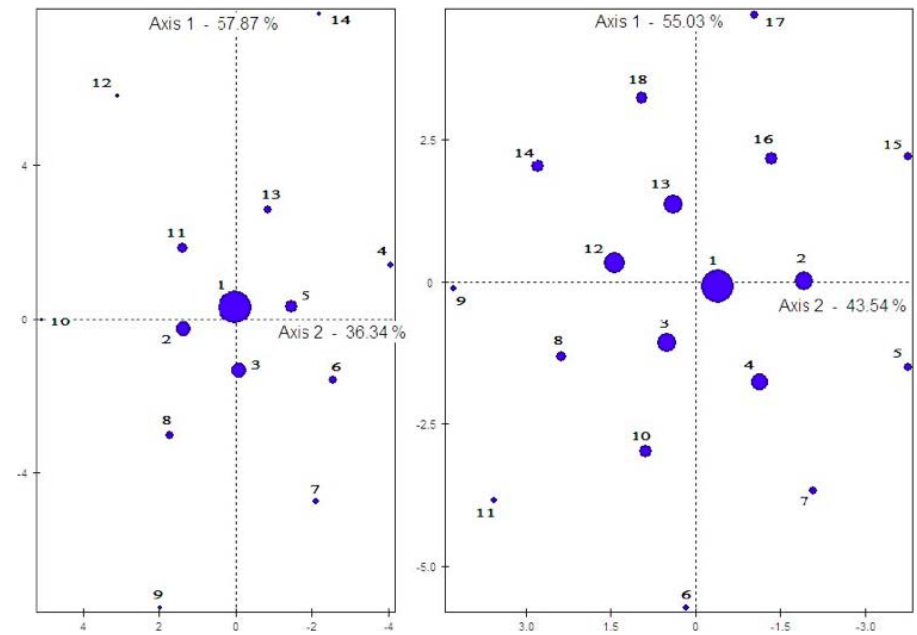


Figure 7 – Representation of the centroids of the classes of pixels of the partitions in 14 and 18 classes respectively: (left) – Latera caldera; (right) – volcanic complex of Azufre-Peteroa. The dots size is proportional to the classes frequency.



GEOMORPHOMETRIC CLASSES	RELIEF INTERPRETATION	MEAN ELEVATION/ SLOPE ASPECT	TOPOGRAPHIC GRADIENTS (m)		
1 (31.56%→144.0 Km <sup>2</sup> )	Quite flat areas slightly facing NW	361.6 m 1.3° 337.6°	+0.33 +0.18 +0.02	+0.16 ↖ -0.16	-0.02 -0.18 -0.33
2 (12.60%→ 57.5 Km <sup>2</sup> )	Gently sloping areas facing SE	395.8 m 4.0° 227.9°	+0.35 +1.39 +2.34	-1.02 ↘ +1.01	-2.36 -1.39 -0.36
3 (13.49%→ 61.6 Km <sup>2</sup> )	Gently sloping areas facing S-SE	392.3 m 5.1° 167.1°	-2.48 -0.58 +1.36	-1.95 ↘ +1.94	-1.36 +0.59 +2.47
4 (2.60%→ 11.9 Km <sup>2</sup> )	Averagely sloping areas facing NE	422.8 m 10.5° 43.9°	-0.57 -3.67 -6.51	+3.01 ↗ -2.93	+6.50 +3.67 +0.75
5 (9.49%→ 43.3 Km <sup>2</sup> )	Gently sloping areas facing E-NE	413.5 m 3.6° 60.8°	-0.62 -1.34 -1.98	+0.69 ↗ -0.70	+1.95 +1.32 +0.60
6 (4.71%→ 21.5 Km <sup>2</sup> )	Averagely sloping areas facing SE-E	413.9 m 7.3° 120.5°	-4.60 -3.24 -1.69	-1.44 ↘ +1.48	+1.76 +3.23 +4.58
7 (2.55%→ 11.6 Km <sup>2</sup> )	Quite steep sloping areas facing SE-S	379.3 m 15.8° 153.1°	-9.45 -3.97 +1.77	-5.65 ↘ +5.68	-1.68 +3.98 +9.43
8 (4.56%→ 20.8 Km <sup>2</sup> )	Averagely sloping areas facing S	398.6 m 11.9° 186.7°	-3.97 +0.70 +5.32	-4.71 ↘ +4.69	-5.35 -0.68 +3.98
9 (1.06%→4.9 Km <sup>2</sup> )	Steep sloping areas facing S	370.9 m 25.0° 177.1°	-11.17 -0.77 +9.78	-10.55 ↘ +10.6	-9.72 +0.81 +11.20
10 (1.52%→ 6.9 Km <sup>2</sup> )	Averagely sloping areas facing SW-W	421.3 m 11.8° 246.3°	+3.49 +5.35 +7.15	-1.83 ↖ +1.98	-7.11 -5.34 -3.22
11 (7.48%→ 34.1 Km <sup>2</sup> )	Gently sloping areas facing NW	403.4 m 6.2° 315.1°	+3.82 +2.22 +0.45	+1.72 ↖ -1.74	-0.47 -2.23 -3.88
12 (1.47%→ 6.7 Km <sup>2</sup> )	Steep sloping areas facing NW	362.8 m 18.3° 326.3°	+11.49 +5.55 -0.73	+6.33 ↖ -6.26	+0.91 -5.54 -11.54
13 (5.76%→ 26.3 Km <sup>2</sup> )	Gently sloping areas facing N	406.9 m 9.4° 357.4°	+3.95 +0.28 -3.42	+3.72 ↑ -3.72	+3.42 -0.26 -3.92
14 (1.15%→5.3 Km <sup>2</sup> )	Steep sloping areas facing N	355.4 m 25.1° 357.2°	+11.41 +0.84 -9.85	+10.7 ↑ -10.70	+9.87 -0.77 -11.32

Table 2. Classes obtained by processing the topographic gradients of the LATERA caldera on the basis of Tandem Analysis on correlation matrix. Each class, of which the covered surface is pointed out, is provided with a morphologic interpretation and the mean values of both main landform attributes and topographic gradients with respect to the central pixel of a 3x3 kernel (shown as Red for negatives and as Blue for positives).

GEOMORPHOMETRIC CLASSES	RELIEF INTERPRETATION	MEAN ELEVATION/ SLOPE/ASPECT	TOPOGRAPHIC GRADIENTS (m)		
1 (16.14%→ 64.7 Km <sup>2</sup> )	Quite flat areas slightly facing NE	2553.1 m 5.6° 106.6°	-0.59 -0.83 -0.71	+0.84 ↗ -0.88	+0.60 +0.58 +0.49
2 (9.08%→ 36.4 Km <sup>2</sup> )	Quite gently sloping areas facing E-NE	2832.3 m 17.3° 68.1°	-4.30 -6.69 -9.01	+2.37 ↗ -2.34	+8.96 +6.64 +4.31
3 (8.13%→ 32.6Km <sup>2</sup> )	Gently sloping areas facing S-SW	2783.8 m 16.1° 185.4°	-4.00 +1.86 +7.23	-5.67 ↘ +5.50	-7.38 -1.64 +3.93
4 (6.99%→ 28.0 Km <sup>2</sup> )	Quite gently sloping areas facing SE	2809.3 m 22.3° 142.8°	-12.7 -5.92 +0.88	-6.75 ↘ +6.76	-0.76 +5.93 +12.60
5 (3.08%→ 12.3 Km <sup>2</sup> )	Averagely sloping areas facing E	2741.1 m 33.6° 99.9°	-18.54 -16.36 -13.88	-2.26 ↗ +2.46	+13.95 +16.30 +18.68
6 (1.25%→ 5.0 Km <sup>2</sup> )	Very steep sloping areas facing S-SE	2519.9 m 51.8° 169.6°	-32.31 -5.86 +28.76	-26.54 ↘ +28.51	-28.19 +6.16 +32.20
7 (3.19%→ 12.8 Km <sup>2</sup> )	Steep sloping areas facing SE	2623.1 m 40.1° 144.5°	-26.58 -12.36 +2.07	-14.20 ↘ +14.33	-1.81 +12.37 +26.44
8 (4.28%→ 17.2 Km <sup>2</sup> )	Averagely sloping areas facing SW	2510.9 m 29.5° 219.9°	-0.04 +8.95 +17.86	-8.05 ↖ +9.04	-17.99 -8.93 +6.19
9 (1.93%→ 7.8 Km <sup>2</sup> )	Steep sloping areas facing W-SW	2587.6 m 38.2° 249.4°	+12.70 +18.44 +24.19	-5.73 ↖ +6.05	-24.11 -18.48 -13.21
10 (4.64%→ 18.6 Km <sup>2</sup> )	Averagely sloping areas facing S	2685.5 m 35.4° 102.1°	-14.07 +0.65 +15.30	-14.70 ↘ +14.72	-15.36 -0.61 +14.82
11 (2.16%→ 8.7 Km <sup>2</sup> )	Very steep sloping areas facing SW-S	2336.7 m 48.2° 201.7°	-11.36 +10.53 +32.24	-23.03 ↘ +22.86	-32.32 -18.38 +11.82
12 (8.33%→ 37.4 Km <sup>2</sup> )	Gently sloping areas facing W	2618.1 m 17.0° 267.2°	+7.09 +7.35 +7.57	-8.24 ↖ +8.26	-7.62 -7.48 -7.12
13 (8.73%→ 35.8 Km <sup>2</sup> )	Quite gently sloping areas facing NW	2567.9 m 18.5° 325.9°	+18.12 +4.50 -1.15	+5.65 ↖ -5.69	+1.12 -4.53 -16.23
14 (4.86% →19.5 Km <sup>2</sup> )	Averagely sloping areas facing W-NW	2662.1 m 33.6° 294.0°	+28.88 +15.19 +9.58	+5.85 ↖ -5.72	-9.29 -15.23 -28.88
15 (2.36%→ 9.5 Km <sup>2</sup> )	Steep sloping areas facing NE	2692.1 m 39.7° 33.6°	+3.53 -11.29 -25.79	+14.64 ↗ -14.57	+25.65 +11.36 -3.18
16 (5.50%→ 22.1 Km <sup>2</sup> )	Quite gently sloping areas facing N	2586.5 m 29.1° 6.5°	+18.08 -1.44 -12.95	+11.48 ↗ -11.51	+12.89 +1.59 -9.95
17 (2.90%→ 11.6 Km <sup>2</sup> )	Steep sloping areas facing N	2655.8 m 47.3° 353.5°	+25.76 +3.21 -19.37	+22.45 ↗ -22.65	+19.45 -3.12 -25.66
18 (5.46%→ 21.8 Km <sup>2</sup> )	Steep sloping areas facing NW-N	2574.3 m 36.6° 338.2°	+22.69 +9.38 -4.82	+13.46 ↖ -13.45	+4.21 -9.32 -22.74

Table 3. Classes obtained by processing the topographic gradients of the Peteroa volcano on the basis of Tandem Analysis on correlation matrix. Each class, of which the covered surface is pointed out, is provided with a morphologic interpretation and the mean values of both main landform attributes and topographic gradients with respect to the central pixel of a 3x3 kernel (shown as Red for negatives and as Blue for positives).

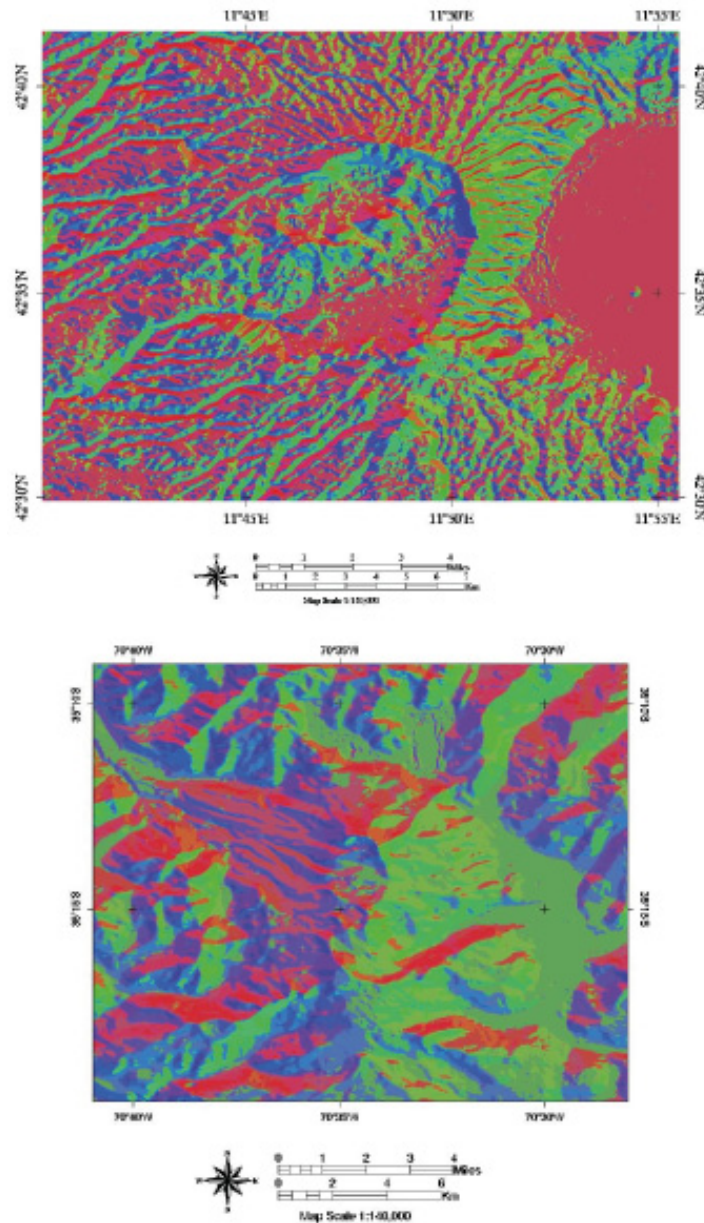


Figure 8 – Color coded geomorphometric classification map of: (above) Latera caldera; (below) Azufre-Planchón-Peteroa volcanic complex.

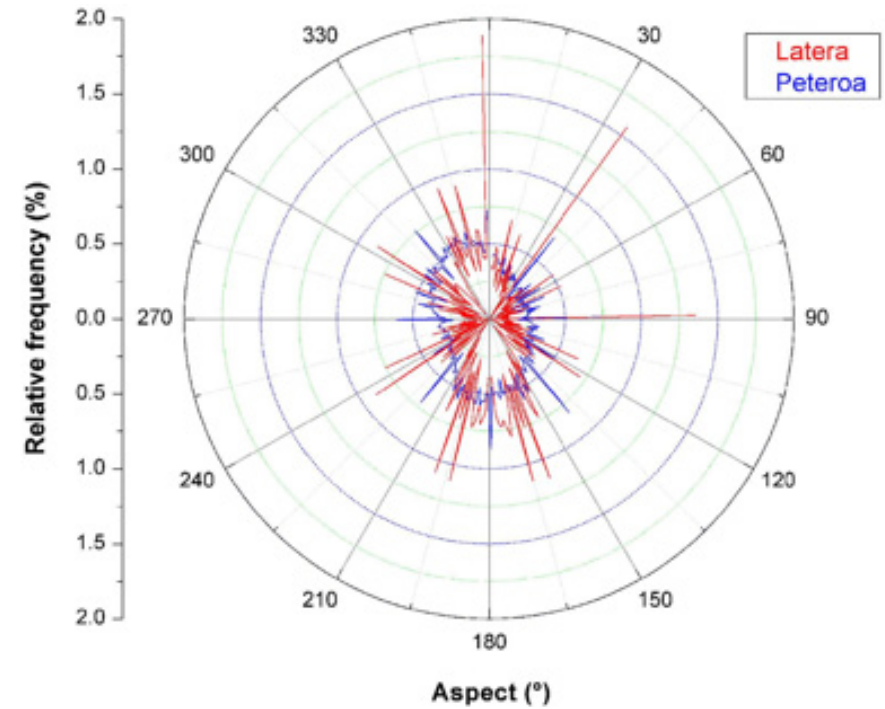


Figure 9 – Polar chart of Aspect (circular) vs. Slope (radial) average values of the classes of both sites: (red) Latera; (blue) Peteroa. The whisker indicate one standard deviation from the mean.

To create two partitions, for both sites we chose to take into account the coordinates of the pixels along the first two axes, and to find the most suitable partitions within 10 and 20 classes each. As a result, a partition in 14 classes resulted for Latera and one in 18 for Peteroa. Their positions on the factor planes are shown in Figure 7, where each class is set at the centroid of the pixels belonging to each one and the blue circles' radius is proportional to the classes' size. Hence, we may say that their position reflects a kind of average aspect and slope. Thus, the aspect must be evaluated according to the cardinal points directions with respect to the factors as described in Figure 6 and the slope is steeper when the class is farther from the origin.

In the Tables 2 and 3 the classes' structures are reported for Latera and Peteroa, sites respectively. There, in the first column is shown the sequential number of the class,



the percentage of pixels that belong to the class, the surface covered by the class in sq.km, and the colour given in the map. In the second column, a morphological interpretation of the class is given; in the third column, the average elevation, slope and aspect are reported in stack. In the fourth column the average of the eight gradients is reported with respect to the central pixel, in blue the positive gradients (indicating a descent in that direction) and in red the negative ones (indicating an ascent). The arrow at the centre of the gradients matrix points to the largest descending slope.

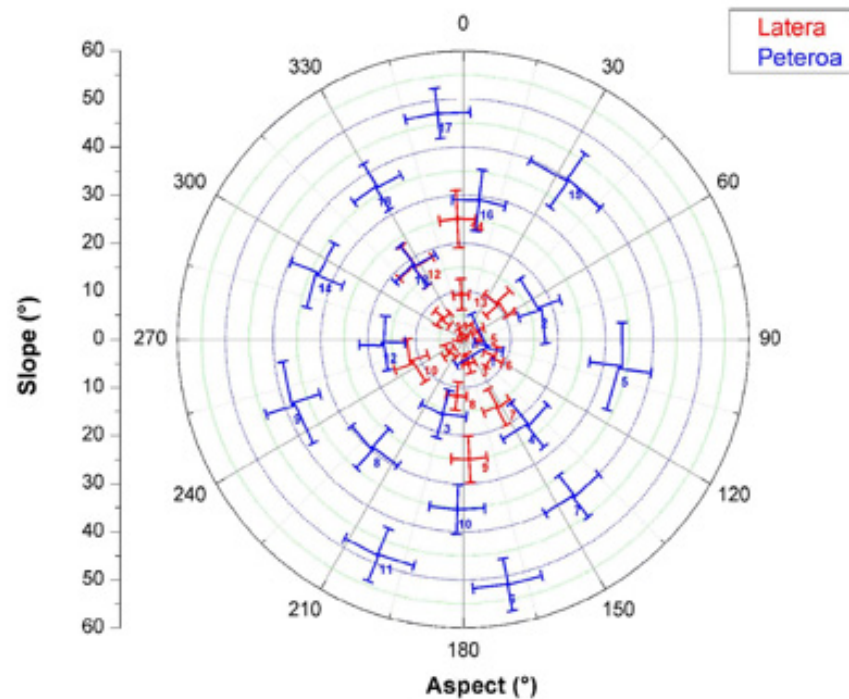


Figure 10 – Polar chart of Aspect (circular) vs. Slope (radial) average values of the classes of both sites: (red) Latera; (blue) Peteroa. The whisker indicate one standard deviation from the mean.

## DISCUSSION

In Figure 8, the two color-coded classification maps of local topographic gradients, relative to Latera and Peteroa, are shown. Here, the coloring of the pixels, which reflects both mean aspect and slope of each class of belonging, is issued according to the adopted method. It is interesting to observe that, this way, a direct comparison between the two landscapes is possible. Indeed, one may say that Latera exhibits a much more dissected morphology than Peteroa. This may be mostly attributed to the very long erosional history of streams working at least since 0.2 million years, when the main volcanic activity stopped. Conversely, the Peteroa exhibits a much younger and less subdued relief, due to its present-lasting activity. This seems to be confirmed by the relative frequency distribution of aspect values, shown in Figure 9, where Latera exhibits a lot of spikes along all orientations, being peculiar the facing one N and NE. On the opposite, Peteroa appears characterized by a more uniform and close-packed pattern unless some major spikes toward NW, NE, SE, and SW.

Figure 10 shows that the general classes distributions of both Latera caldera and Peteroa complex appear quite uniform with respect to the aspect for both sites, showing always a symmetric radial distribution of all classes. On the other hand, Latera caldera classes seem to show preferential orientation toward N/S, NW/SE, and NE/SW, being also the steepest ones. These symmetric classes orientations reflect the ones of the walls of the stream valleys that intersect the Latera morphology. The mean slope values of Latera classes are encompassed within  $25^{\circ}$ , whereas the Peteroa ones vary up to  $60^{\circ}$ . The smaller slope range of Latera may be due to the longer erosion impact on relief with respect to Peteroa. Moreover, most of Peteroa classes (12) show mean slope values larger than  $29^{\circ}$ , except for the first four ones and classes 12 and 13. As already mentioned, all Peteroa classes are distributed radially about the origin, being quite parallel to the gently sloping classes of Latera that reach at most  $10^{\circ}$ : they could reflect the orientation of craters and calderas walls in both volcanic areas.

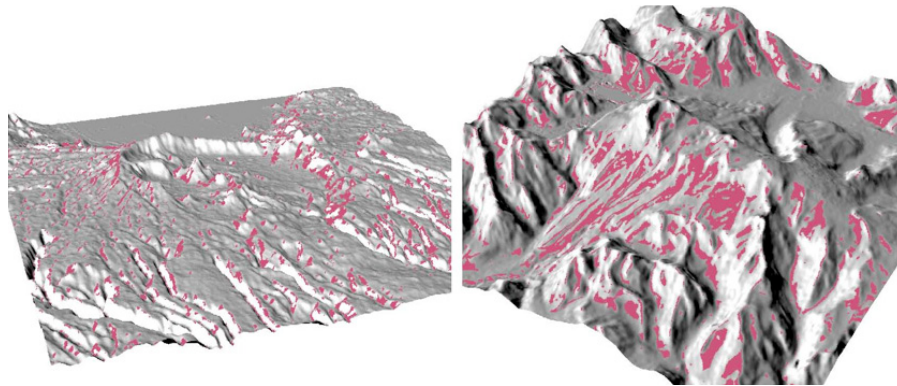


Figure 11 –3D representations of the spatial distribution Latera class 12 (left) and Peteroa class 13 (right) overlapped to shaded relief as seen and illuminated from NW.

Similarities between the partitions of the two study areas may be observed: they concern class 14 of Latera and 16 of Peteroa, class 10 of Latera and 12 of Peteroa, class 8 of Latera and 3 of Peteroa, and class 7 of Latera and 4 of Peteroa. All these classes, except for the last two pair, are concentrated within the Western side of the polar chart shown in Figure 10: none of them is facing East, and all exhibit intermediate slope values reaching at most 30°. Moreover, it is interesting to note that the class 12 of Latera (that covers 6.7 sq.km) and 13 of Peteroa (35 sq.km) appear almost overlapping: both face NW (about 326° N) and exhibit mean slope values of 18°. This may point out analogous volcanic landforms. In Figure 11, three-dimensional representations of the spatial distribution of the two classes, overlapped to shaded reliefs, are reported for both sites.

## CONCLUSION

Digital terrain analysis (or geomorphometry), for building thematic maps describing morphological setting, relies usually on neighbourhood operations which calculate morphometric variables such as slope, aspect, local relief or surface roughness (among many others) at different scales. This may bias the classification of the pixels, because of the different nature of these variables and, in particular, the problems that arise in clustering when working with angles. Conversely, the approach adopted here and in [1,3,4,5] takes into account the topographic gradients, always calculated by working on moving-windows: they represent homogeneous variables that provi-

de a simple and exhaustive depiction of the local relief. This allows to apply more confidently classification methods to issue digital maps of uniform terrain units distribution. The adopted Tandem Analysis is very helpful to reduce the problem to its natural dimension, two, thus avoiding both bias and overweighting of some particular variable.

Concerning the colouring, we think that the chosen algorithm proved effective to directly compare different landscapes. Indeed, unlike the comparisons in [1], in which the colours were assigned automatically to the classes by the used software package, without consideration of the classes geomorphometry, they could be assigned based on the average slope and aspect of the classes. This allows an optimal visual comparison even between different study areas. This does not mean that some improvement is impossible and will be a further step of our investigation.

Observing the results of the comparison between the Latera caldera and the Peteroa volcano complex, we can say that the study correctly put in evidence both similarities of the two volcanic areas and the differences due to their activity histories.

## 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.. He was also granted by the Faculty of Architecture of Sapienza of belonging and for the participation to the E-ICES 7 symposium by the Scientific Attaché of the Italian Embassy in Buenos Aires. These institutions are gratefully acknowledged.



## REFERENCES

- [1] S. Camiz, J.J. Denimal, and M. Poscolieri, 2011. Comparison of Classification Methods on Geomorphometric Data of Peteroa Volcano Area, Actas E-ICES 6, Buenos Aires, CNEA, CD-ROM, ISBN 978-987-1323-21-0, pp. 19-29.
- [2] R.J. Pike, 2002. A bibliography of terrain modelling (geomorphometry), the quantitative representation of topography. U.S. Geological Survey, Open-File Report 02-465.
- [3] 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.
- [4] M. Poscolieri, M. Foumelis, I. Parcharidis, and S. Camiz, 2011. Relationship between topographic relief and ground deformation at Cephalonia island (Greece), Proceedings of the ECQTG2011 Conference, 2-9-September 2011, Athens, Greece, CD-ROM, ISBN: 978-960-87751-1-4, pp. 484-491.
- [5] M. Poscolieri, N. Parmegiani, and S. Camiz, in press. Analisi geomorfometrica dell'area della Caldera di Latera, in: La Caldera di Latera ed il territorio circostante: preistoria di un paesaggio.
- [6] G. Nappi, A. Renzulli and R. Santi, 1991. Evidence of incremental growth in the Vulsinian calderas (central Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 47, pp. 13-31.
- [7] S. Metzeltin and L. Vezzoli, 1983. Contributi alla geologia del vulcano di Latera (Monti Vulsini, Toscana meridionale -Lazio settentrionale). *Mem. Soc. Geol. Ital.* 25, pp. 247-271.
- [8] D.M. Palladino, R. Trigila and G.P.L. Walker, 1986. La formazione piroclastica di Onano (Vulcani Vulsini): caratteri deposizionali, distribuzione e meccanismi eruttivi. *Proc. 73th Congr. Soc. Geol. Ital.*, Rome 30-9/4-10 1986, pp. 309-312.
- [9] D.R. Tormey, F.A. Frey, and L. Lopez Escobar, 1989. Geologic history of the active Azufre-Planchon-Peteroa volcanic center (35° 15' S, Southern Andes) with implications for the development of compositional gaps, *Revista de la Asocia-cion Geologica Argentina*, 44 (1-4), pp. 420-430.
- [10] Naranjo, J. A. and Haller, M. J., 2002. Erupciones holocenas principalmente explosivas del volcán Planchón, Andes del Sur (35° 15' S). *Rev. Geol. de Chile*, 29 (1), pp. 93-113.
- [11] <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/4.html>
- [12] <http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/mi03117pf.htm>
- [13] <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>
- [14] Parcharidis, I., Pavlopoulos, A., Poscolieri, M., 2001. Geomorphometric analysis of the Vulcano and Nysiros 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.
- [15] 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.
- [16] S. Camiz, 2001. *Exploratory 2-and 3-way Data Analysis and Applications*, Lecture Notes of TICMI, Tbilisi (Georgia), Tbilisi University Press, 2.
- [17] L. Lebart, A. Morineau, and M. Piron, 1995. *Statistique Exploratoire Multidimensionnelle*, 2nd edition. Paris, Dunod.
- [18] J.B. MacQueen, 1967. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, University of California Press, 1, pp. 281-297
- [19] A.D. Gordon, 1999. *Classification*. London, Chapman and Hall.
- [20] J.H. Ward, 1963. Hierarchical Grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*, 58(301), pp. 236-244.
- [21] M.K. Agoston, 2005. *ComputerGraphics and Geometric Modeling: Implementation and Algorithms*. London, Springer, pp. 300–306.

# Tendencias del ozono troposférico en las estaciones GAW (Global Atmospheric Watch) en la Argentina

G. Carbajal Benítez (1,2)  
M. E. Barlasina (1),  
G. Copes (1),

M. Cupeiro (1),  
R. Sánchez (1),  
M. Demasi (1).

1- Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires Argentina.

2- Pontificia Universidad Católica Argentina –PEPACG/CONICE. Buenos Aires, Argentina.

[gcarbajal@smn.gov.ar](mailto:gcarbajal@smn.gov.ar)

## RESUMEN

En la Argentina, el Servicio Meteorológico Nacional tiene 3 observatorios (La Quiaca, Pilar y San Julián) que pertenecen a la red de estaciones regionales GAW (Global Atmospheric Watch). Entre algunos parámetros que se miden se encuentra el Ozono Troposférico (OT), y el instrumento que se usa es el TEI 49 y TEI 49C mejor conocidos como "TECO's". El análisis de las tendencias arrojaron que en La Quiaca hay una tendencia positiva estadísticamente significativa (aumento de 2.2 ppb), Pilar no presenta una tendencia definida y San Julián tiene una tendencia negativa (reducción de 3.3 ppb), estadísticamente significativa.

Al analizar el efecto que tiene %HR, las Temperatura Máxima y los vientos en el ciclo interanuales del OT, se encontraron resultados no muy claros, a excepción de la interacción del OT con el %HR que muestra una relación inversamente proporcional. La intensidad de los vientos en La Quiaca parece tener algún efecto directo en las concentraciones interanuales del OT. En La Quiaca se presentan mayores concentraciones de OT y en San Julián las menores.

El objetivo de este trabajo es presentar las series de tiempo y tendencias del OT para cada estación, con datos promedios diarios y mensuales para cada una de las estaciones, así como estudiar algunos aspectos y características de este gas que impacta al clima.

## INTRODUCCIÓN

La composición química de la atmósfera ha modificado a través del tiempo, pero ha sido significativamente a partir de la actividad antropogénica. Un ejemplo de esto es el aumento de los gases de efecto invernadero a partir de la Revolución Industrial. Específicamente, el Ozono Troposférico (OT) es un gas reactivo que ha sido perturbado considerablemente, a través de la intensa emisión de gases primarios a la atmósfera, tales como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV's). Principalmente en zonas altamente industrializadas, donde los requerimientos de quema de combustible fósil son muy altos y en los trópicos la quema de biomasa que año con años aumenta su intensidad y su extensión territorial.

Otros gases de efecto invernadero que ha incrementado sus niveles es el metano ( $\text{CH}_4$ ) que es un precursor del OT. Aún los niveles del OT no están bien establecidos, solo se tienen algunos estudios como el test del papel (papel Schönbein) impregnado con una mezcla química de yoduro de potasio (KI) y almidón, dicho papel se expone al ambiente durante varias horas. Para finales del siglo 19, los resultados alrededor del mundo, muestran concentraciones bajas de 5 a 20 ppb, (Volz and Kley 1988; Anfossi et al. 1999). Estas medidas no son confiables, debido a que las muestras se contaminaron con vapor de agua. El ozono es un gas altamente oxidante y tiene como precursores al radical hidroxil (OH) que influye fuertemente en el tiempo de vida media fotoquímico de varios compuestos.

La química del OT está íntimamente ligado a la meteorología y ha sido objeto de estudio en varios países y regiones, tal es caso de Estados Unidos, Europa y China (Solomon et al. 2000, Colbeck and Maquenzi, 1994, and Vincent et al. 2001). Estos

estudios han servido para entender y comprender de alguna manera los factores y procesos que gobiernan la formación de ozono, la acumulación y los efectos sobre la salud humana, de animales y vegetales.

El Servicio Meteorológico Nacional en la Argentina cuenta con tres estaciones de medición de OT, los cuales están colocados estratégicamente a lo largo del país. Estas estaciones son parte del proyecto Vigilancia Global de la Atmosfera (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). La primera se encuentra en La Quiaca, provincia de Jujuy; la segunda esta en Pilar en Córdoba y San Julián, Santa Cruz.

El objetivo de este trabajo es presentar las series de tiempo y tendencias del OT para cada estación, con periodos horarios, diarios y anuales para cada una de las estaciones, así como estudiar algunos aspectos y características de este gas que impacta al clima.

### **METODOLOGÍA**

Tres estaciones del SMN actualmente miden OT, dichas estaciones pertenecen al Proyecto VAG de la OMM de las cuales La Quiaca (22°09'0"S 65°34'3"O) altura de 3442 m.s.n.m, Pilar (31°66'66"S, 63°88'33"O) altura 338 m. s. n. m. y San Julián (49°30'26"S, 67°82'23") altura 58 m. s. n. m. Que son consideradas VAG regionales (figura 1). Con periodos de tiempo para La Quiaca del 18/01/1996 hasta el 9/12/1998, Pilar del 10/05/1995 al 31/10/1999, finalmente San Julián 6/01/1997 hasta 8/06/2001 (Ver figura 1).

El instrumento instalado en cada uno de las estaciones es el Thermo Environmental Instrument Inc. 49C, llamado también "TECO", este instrumento es fabricado por la EMPA en Suiza y tiene un régimen de calibración de cada año y cada tres años se realiza una intercomparación a nivel regional (Sudamérica, Región III) bajo el auspicio de la Organización Meteorológica Mundial. La ultima se llevo a cabo en el año 2010 con sede en el Centro Regional de Calibración (Observatorio de Villa Ortuzar) en Buenos Aires, Argentina (WCC-EMPA Report 10/5).

Las estaciones miden continuamente y obtienen datos en promedios de cada 15 minutos. La información emitida por cada una de las estaciones, indica un nivel promedio de Ozono Troposférico para cada zona. Los datos usados para las tendencias son

ventanas móviles de cada 5 días, medias diarias de OT y para el análisis estacional son medias mensuales. Las unidades de los datos obtenidos son concentraciones de ozono y están dadas en Partes por Billón en Volumen (ppb).

Algunos problemas a lo largo del tiempo han sido encontrados, debido a que en algunos de los observatorios, específicamente La Quiaca y Pilar, presentan tormentas eléctricas, lo que ha ocasionado desperfectos en los instrumentos. Altas tensiones eléctricas se tienen continuamente, lo cual quema no solo fuentes del equipo, sino también circuitos integrados que son difíciles de conseguir en el País. Más huecos de datos se presentan debido a la calibración y/o reinicio de los mismos, han marcado valores mayores a 200 ppb, situación que ha sido corregida aplicando un método de control de calidad mediante una simple inspección visual y posteriormente el método estadístico de la Varianza a un nivel del 95%.

La estadística de las tendencias se obtiene a partir del ajuste con una recta por el método de mínimos cuadrados, con el criterio  $p > 0.05$  y de esta manera establecer si las tendencias son estadísticamente significativas.

Los datos climáticos para los tres Observatorios que se usan en este trabajo son periodos de 10 años (1991 al 2000), promedios mensuales para las variables del Porcentaje de Humedad Relativa (%HR), Temperaturas Máximas (Tmax), Intensidad del Viento (I.V.) y Dirección del Viento.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El análisis de las tendencias se propone explicar y discutir los resultados de OT para cada uno de los Observatorios y con las variables climáticas tratar de explicar el comportamiento interanual del OT.

En la tabla 1 se presentan las características de las tendencias para cada uno de los Observatorios y en la Tabla 2 la estadística básica para los periodos de estudio.



Figura 1. Localización de las estaciones del SMN para medición de Ozono Troposférico.

	$R^2$	$\rho$ -level	$MO_3$	Significativo
La Quiaca	0.0089	0.00350	0.00543	Sí
Pilar	0.0577	0.379658	-0.000398	No
San Julián	0.0056	0.0071	-0.0031	Sí

Tabla 1. Características de las tendencias del ozono superficial en los tres Observatorios. Con el criterio de  $\rho < 0.05$ .  $MO_3$  es la pendiente y  $R^2$  la Correlación.

	ND	$\bar{X}$	S	Mínima	Máxima	Error Estándar
La Quiaca	959	28.41	7.29	9.99	54.48	0.2354
Pilar	1317	21.96	7.30	5.3	49.75	0.2010
San Julián	1232	19.95	6.07	8.09	50.51	0.1732

Tabla 2. Estadística básica para las series de ozono superficial en los tres Observatorios. ND = número de datos,  $\bar{X}$  = medias para cada serie,  $\sigma$  = desviación estándar.

### OBSERVATORIO LA QUIACA

En la figura 2 se muestra la serie de tiempo y la tendencia para el Observatorio de La Quiaca. El periodo de tiempo es de aproximadamente de 3 años, iniciando el 29 de septiembre del 1995 y finalizando el día 19 de diciembre de 1998. La tendencia es positiva y con un aumento estadísticamente significativo (ver tabla 1) de 2.2 ppb para el periodo de tiempo analizado.

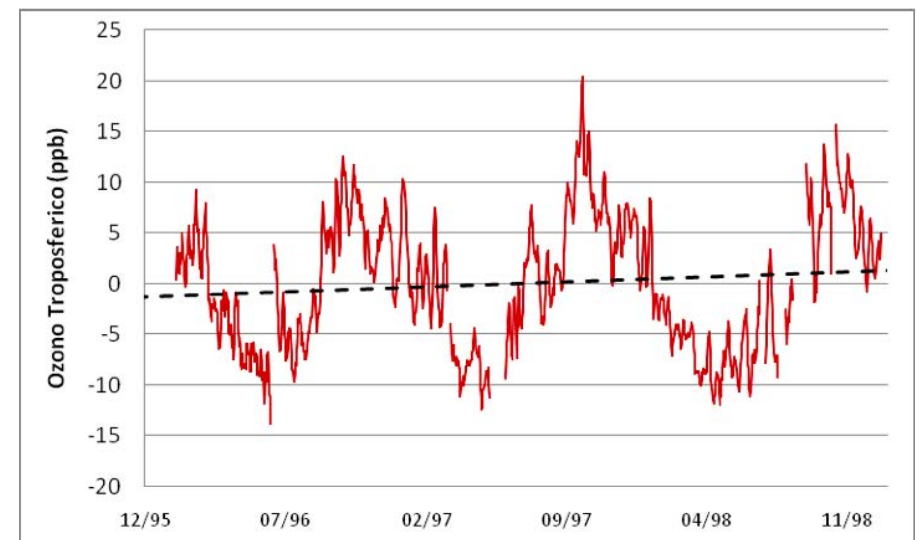


Figura 2. Serie de Tiempo y tendencia para el OT en el observatorio La Quiaca.



Las condiciones climáticas de La Quiaca son muy especiales, al ser una zona muy elevada, tiene muy poca Humedad Relativa (%HR) es decir, es un clima seco con un promedio anual de 47.2. Estudios como el de Londhe et al. 2008, muestra una relación inversa entre el OT y %HR, es decir a menor %HR mayor concentración de OT. Otra característica es que al tener esta zona bajo %HR durante el año hay baja nubosidad con aproximadamente el 4% de días totalmente nublado, durante todo el año. La Quiaca es un pequeño poblado, carente de zonas industriales y parque vehicular, además muy pobre vegetación y poca carga de aerosoles que puedan actuar como núcleos de condensación para las nubes. Prevalecen los sistemas de alta presión durante todo el año.

En la figuras 3, 4 y 5, se observa que los mínimos de OT se encuentran localizados en los meses de Marzo, Abril y Mayo, en la estación de otoño. Los máximos se encuentran localizados en los meses de Septiembre Octubre y Noviembre, en la estación de Primavera. El valor máximo es en el mes de Octubre con 36.5 ppb y el mínimo en Mayo con un valor de 20.9 ppb. Con una amplitud entre el mínimo y máximo de 15.6 ppb.

En la figura 3 se muestra la relación interanual entre el OT y la %HR, donde se observa una relación inversa entre ambas. Al inicio del año, el %HR es mayor con respecto al OT y tienden a disminuir, hasta los meses de abril-mayo, en donde hay un cruzamiento y el OT empieza a crecer en función del decrecimiento (a partir de -21 ppb) del %HR (36%). En los meses de Enero-Febrero crece el %HR, alcanzando su máximo nivel a 35% y el OT comenzando a reducir a partir de 35 ppb.

Se estima que para esta La Quiaca el %HR es un factor importante para la modulación de la concentración de OT, pero puede que no es determinante, ya que la  $R^2 = 0.0032$  entre ambos.

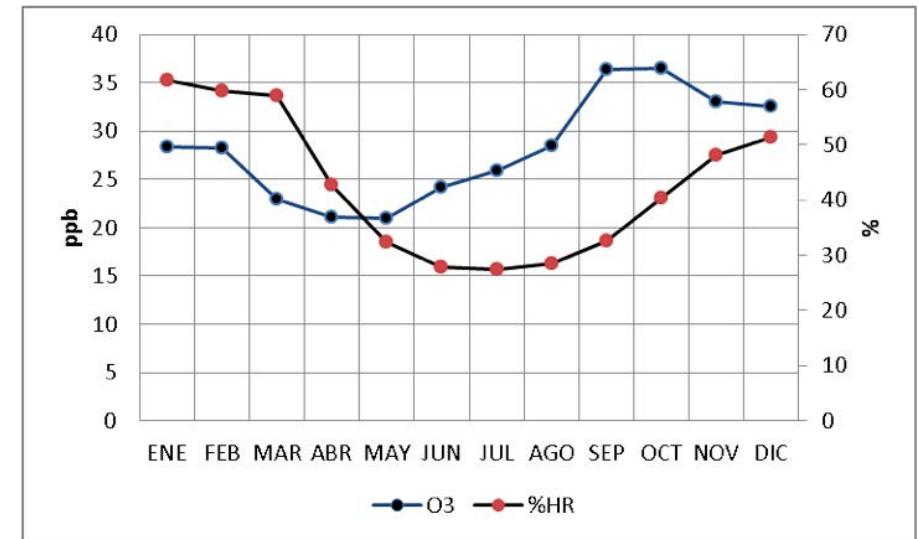


Figura 3. Relación que hay entre el OT y el %HR, durante todo el año.

En la figura 4, se establece la relación existente entre las Temperaturas Máximas ( $T_{max}$ ) y el OT. Un comportamiento similar entre la  $T_{max}$  y %HR. Hay un punto de cruce entre los meses de abril-mayo en donde la  $T_{max}$  disminuye ( $9.2^{\circ}\text{C}$ ) y aumenta la concentración del OT. En este punto la concentración es de aproximadamente 21 ppb. La ecuación de Arrhenius establece un aumento de la producción de OT exponencialmente, cuando la Temperatura aumenta. Esta situación no aparece en la figura 4, puede ser que las temperaturas máximas no sea el factor principal para la producción del OT, debido a que tienen una correlación  $R^2 = 0.1374$  entre ambos. En el mes de Diciembre, cuando la  $T_{max}$  alcanza los  $15^{\circ}\text{C}$ , el OT cruza a la  $T_{max}$  en una concentración aproximada de 33 ppb.

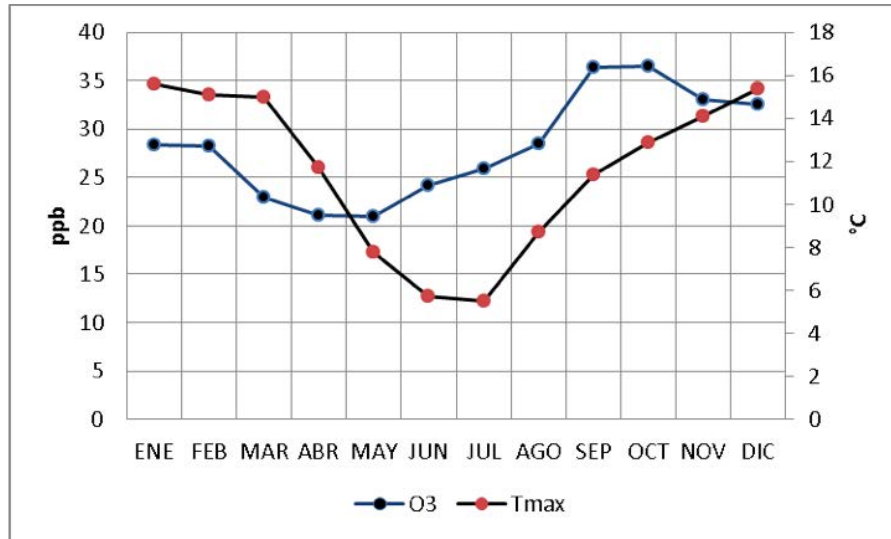


Figura 4. Relación que hay entre el OT y la Temperaturas Máximas, durante todo el año.

En la figura 5 se muestra la relación entre la intensidad del viento (I.V.) y el OT, donde muestra una que el OT sigue la misma tendencia, durante todo el año. Se puede pensar que I.V. es factor predominante, ya que el factor de correlación  $R^2 = 0.8336$ . En base a esto puede existir un fenómeno de transporte para esta zona. Es de hacer notar que al Noreste del Observatorio se encuentra una usina que produce energía eléctrica para todo el pueblo y los contaminantes pueden ser arrastrados, debido a los vientos predominantes (ver figura 6).

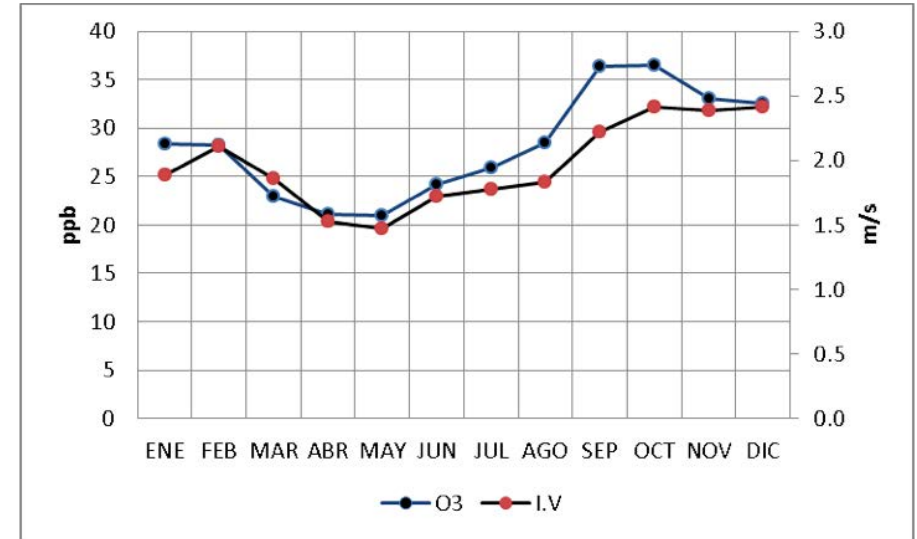


Figura 5. Relación que hay entre el OT y la intensidad del Viento, durante todo el año.

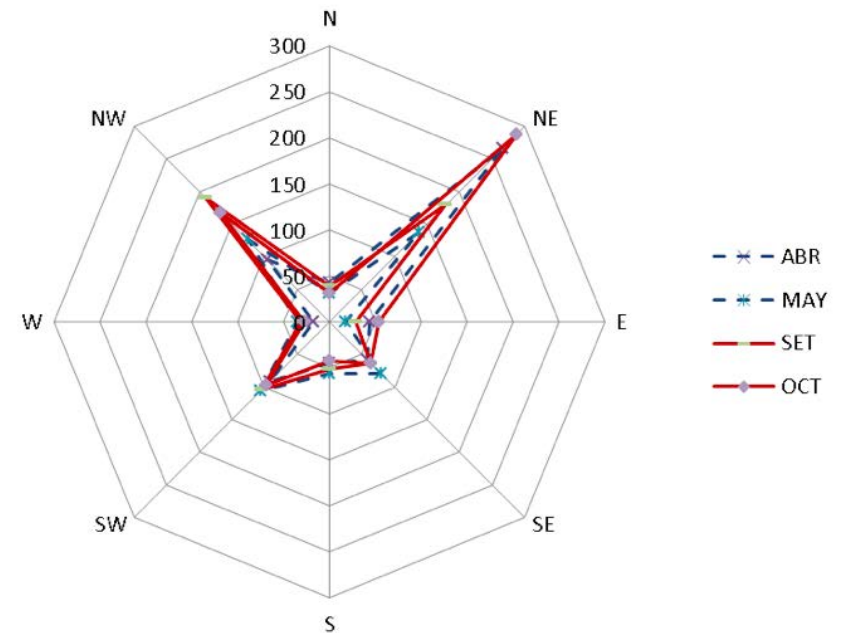


Figura 6. Vientos predominantes en La Quiaca.

Senik and Elansky, 2001 mencionan que los lugares altos, presentan normalmente aire limpio, por lo tanto bajas concentraciones de ozono. La Quiaca a comparación de otros estudios en lugares altos como Europa, presenta baja concentración de OT con un mínimo 9.9 ppb y un valor máximo de 54.5 ppb. En tanto que en la estación Kislovodsky (900 m.s.n.m) en Rusia presenta un mínimo de 16.3 ppb y un máximo de 74.8 ppb.

Entonces dos situaciones están influenciando al OT del lugar; la generación fotoquímica propia del lugar y procesos de transporte en la horizontal. En términos generales La Quiaca ofrece un lugar ideal para medir el OT, presentando aire generalmente limpio, principalmente en Otoño, con bajas concentraciones.

### OBSERVATORIO PILAR

La serie de tiempo y la tendencia para el OT se presentan en la figura 7. Donde se puede apreciar una tendencia estadísticamente no significativa (Ver tabla 1), con cambio de 0.044 ppb para todo el periodo de tiempo.

Para el observatorio de Pilar en Córdoba, existen episodios y eventos de altas concentraciones de OT, pero más bajos, si se comparan con el observatorio de La Quiaca. En los alrededores del Observatorio se encuentra la pequeña Ciudad de Pilar, que para las fechas de estudio no había industrialización y se tenía un muy limitado parque vehicular, pero rodeado de campos de pastura. La %HR promedio anual es de 69.5 (ver figura 8). La temperatura media, máxima y mínima, son de 17.9, 17.0 y 16.5°C, respectivamente (ver figura 9). Al Norte, a unos 60 Km aproximadamente, se encuentra la Capital de la provincia de Córdoba. Los vientos predominantes soplan desde el Norte, con aportes menores del Noroeste y Sur, la intensidad promedio anual de los vientos es de 2.7 ms<sup>-1</sup> (ver figura 10 y 11).

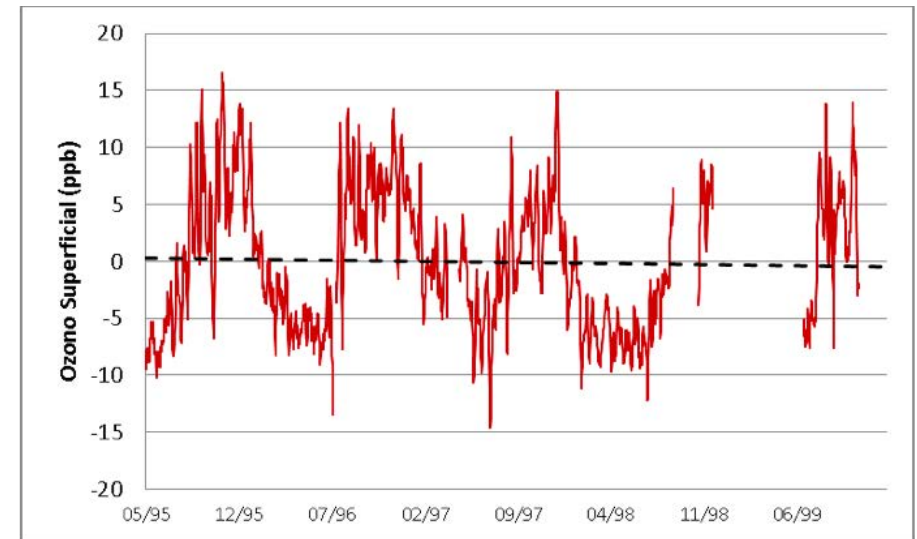


Figura 7. Serie de Tiempo y tendencia para el OT en el observatorio Pilar.

En la figura 8 se observan que los valores mayores de concentración del OT se presentan los meses de Abril, Mayo y Junio, en gran parte de la estación Primavera, mientras que los menores son para los meses de Noviembre y Diciembre. Para el mínimo de Junio, la concentración del OT es de 15.3 ppb, mientras que el máximo en Diciembre es de 29.1 ppb. Con una amplitud entre el mínimo y el máximo de 13.8 ppb.

En la misma figura se observa que los valores mayores de %HR coinciden con los menores de OT. Hacia el mes de Junio, el %HR disminuye y el OT aumenta (relación inversa), hasta que en Agosto estos se cruzan y las concentraciones de ozono aumentan (24 ppb) mientras que el %HR también lo hace, pero con valores debajo de los meses iniciales (60%).

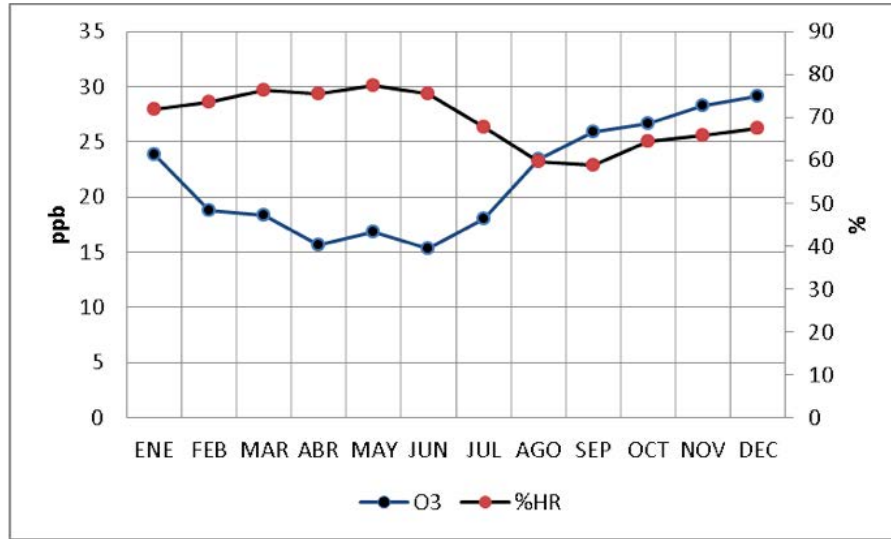


Figura 8. Relación que hay entre el OT y el %HR, durante todo el año.

El factor de correlación entre el %HR y OT es  $R^2 = 0.5347$ , situación que se podría interpretar de la siguiente manera, en los meses iniciales del año donde el %HR se encuentra arriba del 75%, el vapor de agua esta afectando las concentración del OT. Pero a partir del mes de agosto y abajo del 75%, el %HR ya no lo afecta.

En la figura 9, se muestra la relación de la Temperaturas Máximas con OT, Según la ecuación de Arrhenius al disminuir la temperatura, la concentración de ozono disminuye, pero al aumentar la Temperatura, la velocidad de formación de ozono crece exponencialmente, esto es lo que se aprecia a partir del mes de Agosto. La correlación muestra  $R^2 = 0.213$ , pero se puede observar con las figuras 8 y 9, que los meses de Enero a Julio, el %HR puede modular las concentraciones del OT, pero a partir del mes de Agosto hasta Diciembre, la temperatura afecta directamente al OT, haciendo que este aumente. Para el mes de Junio en el punto donde la Tmax decrece y el OT crece, se observa una Tmax de aproximadamente 13°C y una concentración de 15 ppb. Posteriormente, el punto inverso donde la Tmax crece y el OT disminuye, presenta 26°C y 29 ppb.

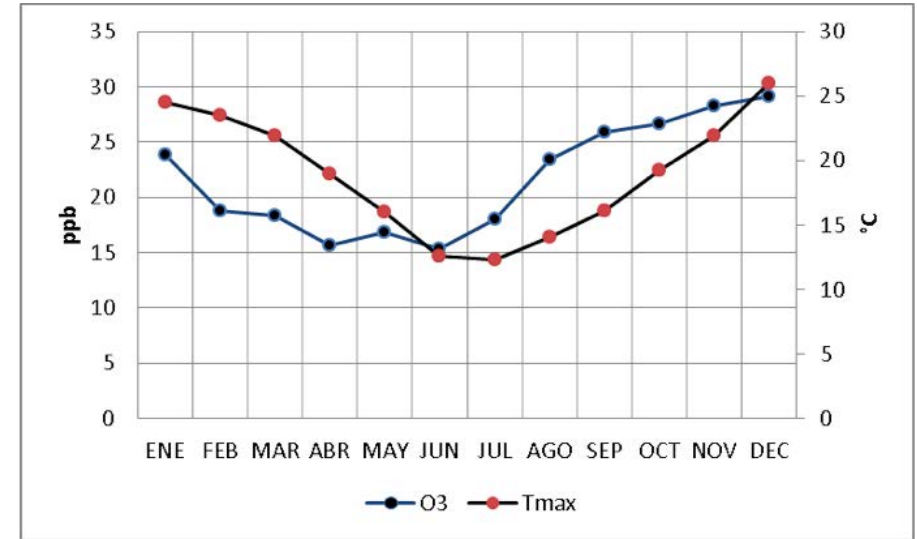


Figura 9. Relación que hay entre el OT y la Temperaturas Máximas, durante todo el año.

En la figura 10, se muestra la relación existente entre la intensidad de los vientos y el OT, muestra los meses de Enero a Junio, una relación no muy clara, pero a partir de Julio y hasta noviembre, la relación es proporcional, es decir aumenta el viento y la concentración de ozono. El viento puede favorecer el movimiento de las partículas y de esta manera provocar coaliciones y favorecer de esta manera las reacciones de los gases primarios para favorecer el aumento de OT. El factor de correlación entre la intensidad del viento y las concentraciones de ozono es similar a la temperatura  $R^2 = 0.2369$ .

Se ha establecido que al Norte del pueblo de Pilar, se encuentra a unos 60 Km la capital de la Provincia de Córdoba y si observamos la figura 11, los vientos soplan del Norte. Pero la intensidad del mismo viento en algunos meses no es suficiente para transportar la contaminación desde la Ciudad de Córdoba. Pero se encuentra la ruta 11 nacional que pasa por Pilar. Esto puede contribuir a las concentraciones de OT en el Observatorio.

En términos generales, el Observatorio Pilar presenta aire limpio de OT, durante gran parte del año, por lo que también es un lugar ideal para medir este gas de efecto invernadero, a lo que se le llama medición de fondo.



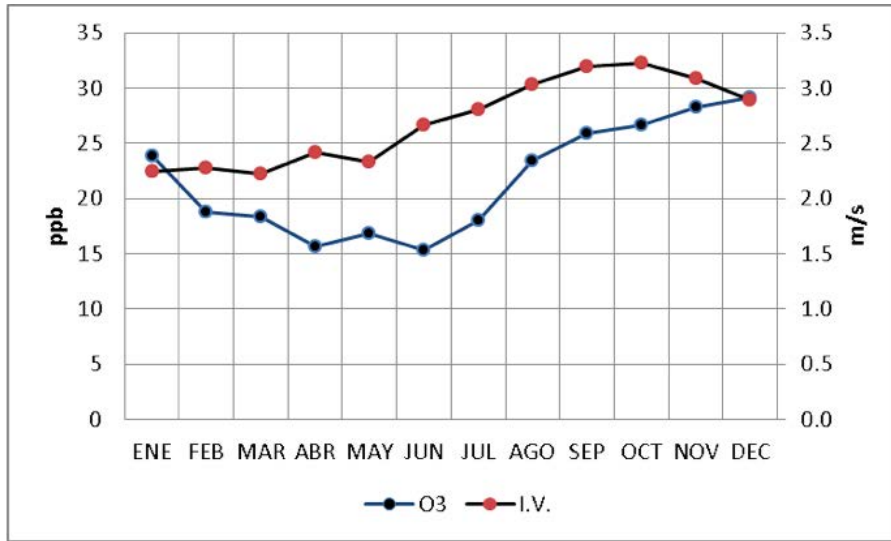


Figura 10. Relación que hay entre el OT y la intensidad del Viento, durante todo el año.

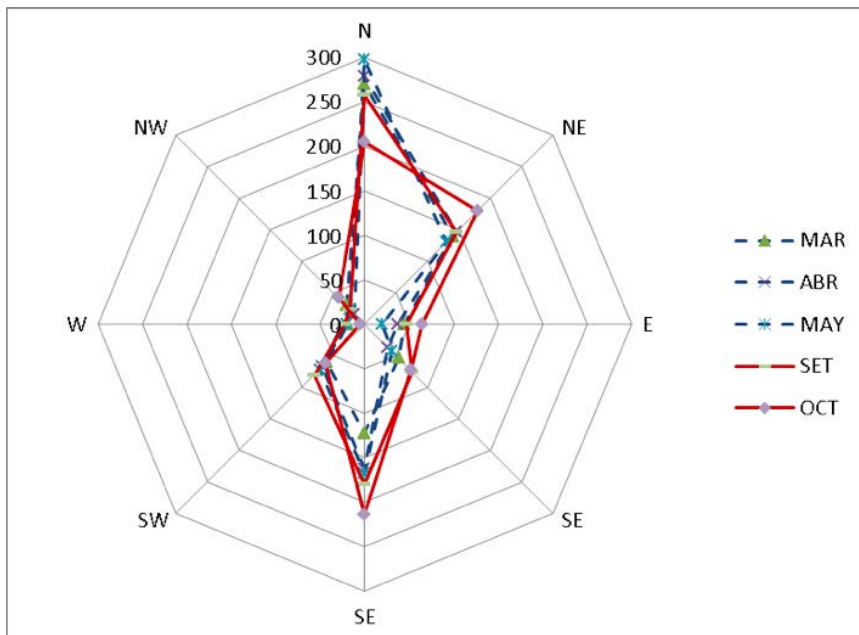


Figura 11. Vientos predominantes en La Quiaca.

### OBSERVATORIO SAN JULIÁN

El Observatorio de San Julián muestra en su tendencia de OT (ver figura 12) una caída o disminución de ozono. Con una pendiente de 3.1 ppb para el periodo estudiado. Este cambio en la tabla 1, muestra ser estadísticamente significativo.

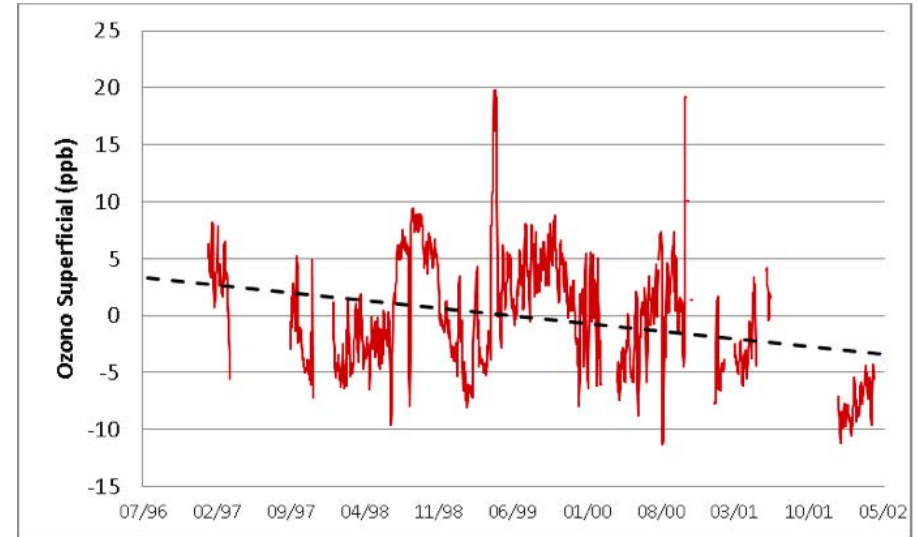


Figura 12. Serie de Tiempo y tendencia para el OT en el observatorio Pilar.

El Observatorio de San Julián se localiza a unos 8 Km de la Bahía de San Julián (en el Océano Atlántico). Muy cerca pasa la autopista que viene de Rio Gallegos Capital de la provincia. Los vientos prevaletientes son del Oeste. Al entorno del observatorio se encuentran colinas y cañones en las cercanías al mar.

De las tres estaciones de estudio es la que presenta menor concentración de OT, que debido al ambiente propio puede estar afectando el transporte y poca producción de ozono, a los se encuentra un Aeropuerto local, que tiene muy poca actividad, aproximadamente un vuelo por semana.

Las condiciones climáticas para el observatorio son promedios anuales de %HR 63.1 y temperaturas media, máxima y mínima de 9.7, 10.9 y 8.8°C, respectivamente (ver figura 13 y 14). Los vientos predominantes son del Oeste y con poco aporte del Suroeste con una intensidad (figura 15) promedio anual de 8.1 ms<sup>-1</sup>.

Los valores mayores de OT se tienen en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, en la estación de invierno, con máximo en Septiembre de 24.9 ppb. Los valores menores son en los meses de Enero, Febrero y Marzo, con mínimos en los meses de Enero y Marzo, ambos con 16.5 ppb. Con una diferencia entre el valor máximo y mínimo de 8.4 ppb. La menor amplitud de las tres estaciones analizadas hasta ahora.

En la figura 13 se muestra la relación del OT con el %HR para el Observatorio de San Julián, con una correlación  $R^2 = 0.2004$ . Cuando el %HR es alto, las concentraciones de ozono son bajas. Para el mes de Julio el %HR baja (al 75%) y el OT aumenta (a 25°C), es en este mes que hay un punto de cruce. Para los meses de Diciembre-Enero, parece que el %HR y OT permanecen casi constantes, aproximadamente a 54% y una concentración de OT de 17 ppb.

En la figura 14, la relación entre el OT y las temperaturas máximas tienen una correlación  $R^2 = 0.4277$ . El mínimo de la temperatura máxima, coincide con el inicio del aumento de las concentraciones del OT. En una parte se cumple la ecuación de Arrhenius.

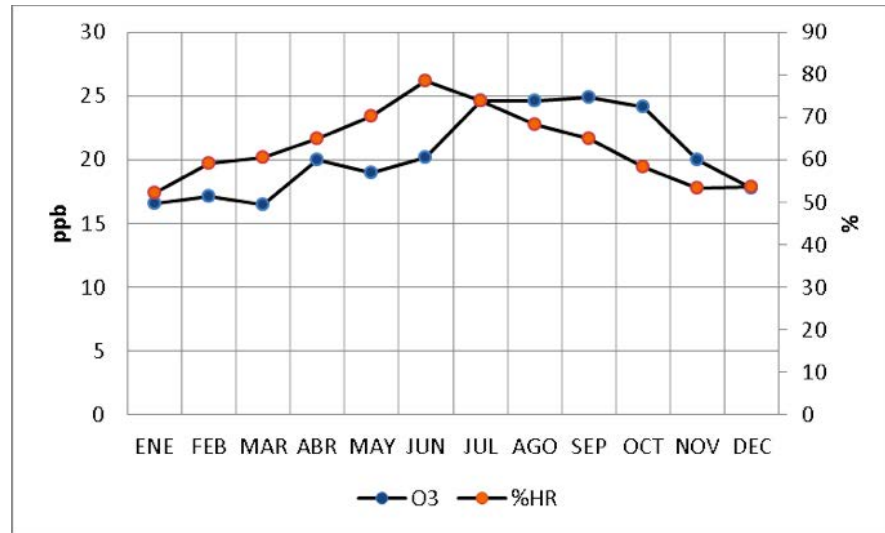


Figura 13. Relación que hay entre el OT y el %HR, durante todo el año.

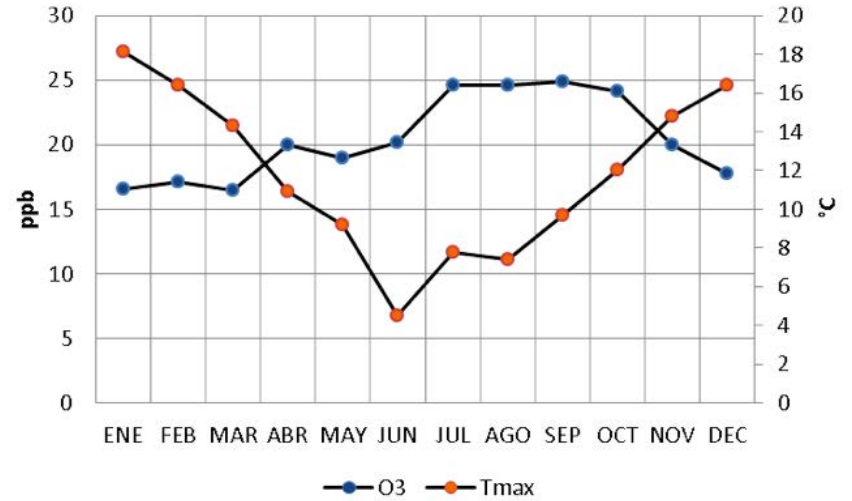


Figura 14. Relación que hay entre el OT y la Temperaturas Máximas, durante todo el año.

Si observamos la figura 15, en el mes de Junio, las concentraciones de OT sigue la tendencia del viento y permanecen constantes, hasta el mes de Septiembre. Los vientos soplan con bastante intensidad y predominan los del Oeste, con aporte del Suroeste. Al Oeste del Observatorio se encuentra la ruta 3 nacional y podría ser el paso vehicular el que aporte estas pequeñas concentraciones de OT, al Observatorio San Julián.

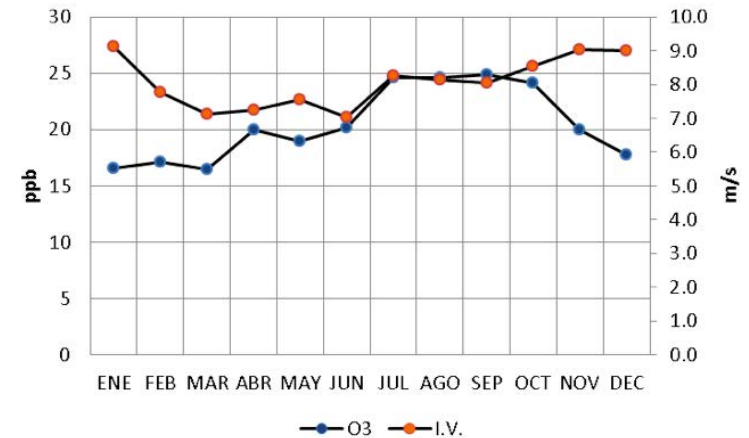


Figura 15. Relación que hay entre el OT y la intensidad del Viento, durante todo el año.

## CONCLUSIONES

Los tres observatorios estudiados, presentan en términos generales bajas concentraciones de OT, con respecto a otras estaciones en el mundo. Por lo que son adecuadas para la medición de OT de background o de fondo.

Las tendencias muestran ser Positiva y estadísticamente significativa en La Quica, en tanto Pilar no muestra tendencia alguna, es casi constante en todo el periodo de estudio. Finalmente, San Julián tiene una tendencia negativa y estadísticamente significativa.

Una característica de los tres observatorios es que los contaminantes precursores del OT, son transportados de diversas fuentes, pudiendo ser las fuentes móviles, la razón principal.

En principio, el %HR es inversamente proporcional a las concentraciones del OT. Situación que se da en los tres observatorios, pero al analizar la temperatura y la intensidad de vientos, la dependencia no es muy clara.

En futuros trabajos es evidente realizar un estudio mediante la técnica de Componentes Principales, para conocer cual de los parámetros meteorológicos esta aportando más a la producción y destrucción del OT.

Otra correlación que habría que buscar es con la quema de biomasa, debido a que el periodo de meses máximas concentraciones de OT, coincide con la quema de biomasa del ciclo agrícola en Sudamérica y los productos de dicha quema, en ocasiones alcanzan Bahía Blanca, mediante el transporte de contaminantes debido a los patrones de circulación de ese periodo de tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Anfossi D., Sandroni, and Viarengo, 1991, "Tropospheric ozone in the nineteenth century: The Moncalieri series", *J. Geophys. Res.* 96, 17349-17352.
- [2] Colbeck, and MacKenzie A. R., 1994, *Air pollution by photochemical oxidants*, Elsevier, Amsterdam.
- [3] Danielsen E. F., 1968, Stratospheric-Tropospheric Exchange Based on Radioactivity, Ozone and Potential Vorticity, *J. Atmos. Sci.* 25, 502 -518.
- [4] Jonson J. E., Simpson D., Fagerli H., and Solberg S., 2005, Can we explain the trends in European ozone levels?, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 5, 5857 – 5985.
- [5] Londhe A. L., Jadhav D. B., Buchunde P. S., and Kartha M. J., 2008, Surface Ozone variability in the urban and nearby rural locations of tropical India. *Current Science*, 95,12, 1724 - 1729.
- [6] Ordoñez C., Mathis H., Furger M., Hanne S., Huling J., Steaheling J., and Prévot A., 2005, Changes of daily surface ozone maxima in Switzerland in all season from 1992 to 2002 and discussion of summer 2003., *Atmos. Chem. Phys.* 5, 1187 - 1203.
- [7] Senik I. A., and Elansky N. F., 2001, Surface ozone concentration measurement at Kislovodsky High-Altitude Scientific station: Temporal variation and Trends., *Izvestiya, Atmospheric, and Oceanic Physics*, 37, S110 - S119.
- [8] Solomon P., Cowling E., Hidy G., and Furiness C., 2000, Comparison of scientific findings from major ozone field studies in North American and Europe, *Atmospheric Environment* , 34, 1885 – 1920.
- [9] Vincent T. F., Cheung T., and Wang, Observational Study of ozone pollution at a rural site in the Yangtze Delta of China, *Atmospheric Environment*, 4947 – 4958.
- [10] Volz A., and Kley D., 1988, "Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century", *Nature*, 332, 240-242.
- [11] Zellweger C., Buchmann B., Sánchez R., and Carbajal B. G., 2010, IV Tropospheric Ozone Analyzer Intercomparison, WCC-EMPA Report 10/5, Submitted to WMO.

# Técnicas de estadística multivariada para la evaluación espacial y variación temporal de las características fisicoquímicas del agua de los ríos del departamento de Malargüe

## RESUMEN

El departamento de Malargüe es amplio y comprende cinco cuencas, con características morfológicas y geomorfológicas distintas y complejas; se han analizado cinco variables fisicoquímicas en 27 sitios de muestreo para cinco muestreo (durante el verano de 2009; otoño, invierno, primavera y otoño de 2010 y el otoño e invierno de 2011) con técnicas estadísticas multivariadas, donde se identificaron similitudes entre algunos puntos de muestreo. Se hizo análisis de componentes principales (ACP) y Cluster para obtener los cambios espaciales y temporales en las características del agua y la similaridad entre los puntos respectivamente. Las variables analizadas fueron la Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y altura sobre el nivel del mar (Msnm). Este estudio muestra la importancia del monitoreo ambiental asociado con herramientas estadísticas para entender mejor el sistema complejo que es el agua y poder optimizar recursos en lo referente al tamaño de muestra y la elección de las variables.

## INTRODUCCIÓN

Para propósitos de gestión, los ríos pueden ser clasificados dependiendo de la cantidad, calidad y modo de utilización del agua en diferentes puntos de su recorrido, el monitoreo de la calidad de agua en sistemas acuáticos, debe coleccionar tanto información temporal como espacial, de modo que permita realizar comparaciones con respecto de situaciones de referencia y bajo diferentes escenarios.

A.R. Castaño Gañán (1),  
N. Barbero (1),  
V. Graciella (2),  
F. Martínez (3).

1- ICES-CNEA, E. Aldao y Cmt. Rodríguez, Malargüe, Mendoza, Argentina.

2- PEM, Plan Estratégico, de la Municipalidad de Malargüe.

3- Secretaría de Ambiente de la Provincia de Mendoza.

[anaro95@hotmail.com](mailto:anaro95@hotmail.com)

La evaluación espacio-temporal de la dinámica fisicoquímica y la variación de la calidad de agua en sistemas continentales, estuarios y marinos, puede ser llevada a cabo por medio de la utilización de técnicas estadísticas univariadas y multivariadas. Dichas técnicas han constituido una práctica regular en diferentes partes del mundo y parten de las extensas y complejas matrices de datos obtenidos durante los monitoreos.

El objetivo del análisis multivariado, es reducir la dimensionalidad de grandes conjuntos de datos en busca de unas cuantas variables que sean representativas e indicadores de las variaciones en la calidad del agua y, a su vez, lograr una fácil interpretación espacio-temporal sobre la red de monitoreo [1].

Dentro de las técnicas multivariadas de aplicación preferencial de estudios de la valoración de las características fisicoquímicas del agua, es común hallar los análisis de clasificación ó similitud (Cluster y neighbour joining ó vecino más cercano), los análisis de componentes principales (PCA) y los análisis discriminantes (DA), principalmente [2] y [3].

De las anteriores técnicas, el Análisis de componentes Principales (ACP) ha sido ampliamente provado y aplicado en Argentina [2], [4]. En el PCA, los datos son "factorizados" para la extracción de relaciones lineales dentro del conjunto de variables existentes y su visualización se da a partir de gráficas tridimensionales (Boxplots) o



bidimensionales (Biplots) en las que se conjugan muestreos y variables [5]. La ventaja está en que permite agrupar las variables seleccionadas según sus rasgos comunes, a la vez que evalúa la incidencia de cada grupo sobre el cambio total de las características del agua, sobre todo durante el análisis de cambios temporales [2].

En general, el ACP puede ser usado para extraer los factores asociados con la variabilidad hidroquímica y o para determinar los cambios espaciales y temporales en la calidad del agua [6]. La distancia Euclidiana usualmente da la similaridad entre dos muestras y una distancia puede ser representada por la diferencia entre valores analíticos para las dos muestras, así el análisis Cluster da una medida de similaridad [3].

El actual estudio tuvo como finalidad caracterizar mediante análisis multivariado los puntos monitoreados del plan rector de pesca para el departamento de Malargüe, contemplando los puntos de muestreo en el río Atuel, Salado, Malargüe, Grande y Colorado. Para ellos se evaluaron tres sitios por río (parte alta, media y baja), durante el verano de 2009; otoño, invierno, primavera y otoño de 2010 y el otoño e invierno de 2011. El estudio incluye la toma de información de cuatro variables fisicoquímicas, se anexo la altura sobre el nivel del mar como una variable más, debido a la magnitud del departamento considerando que en algún momento este factor aportará elementos de interpretación, e interesa en la medida de que se hacen comparaciones entre los sitios, los cuales tienen diferente altitud.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Análisis Multivariado de Componentes Principales (ACP), Análisis cluster y Análisis del vecino más cercano.

Estos análisis se realizaron en concordancia a lo recomendado por [6]. [3] a partir del establecimiento de una matriz de puntos de muestreo-periodo vs. variables, para lo cual se utilizó el software PAST 1.85, de acceso libre en <http://folk.uio.no/ohammer/past>. La secuencia metodológica fue la siguiente:

1. Cálculo de las correlaciones entre variables por medio del coeficiente de Spearman's  $r_s$ ;
2. Determinación de los valores propios y porcentaje de la variación explicada por cada uno de los componentes;
3. Obtención de los vectores propios;
4. Graficación;
5. Análisis Cluster por distancia Euclidiana;

6. Colocación en el mapa del sitio del estudio los puntos coincidentes aportados por el Análisis Cluster;

7. Gráfico de vecino más cercano.

### Área de Estudio

El área de estudio comprende las cuencas del departamento de Malargüe. Se han realizado hasta el momento cinco campañas de muestreo, sobre los principales ríos de Malargüe (Atuel, Salado, Malargüe, Grande, Barrancas y Colorado). Se establecieron un total de 27 estaciones de muestreo en los siguientes sitios representativos de tramos particulares de los ríos: 3 estaciones de muestreo en el Río Atuel (A1, A2 y A3), 3 estaciones en el Río Salado (S1, S2 y S3), y en sus dos afluentes principales el A° Leñas (LE), A° Desecho (DES), 4 estaciones en el Río Malargüe (M1, M2, M3, M4), y dos en sus principales afluentes el A° Minas o Pincheira (MIN) y el Torrecillas (TOR), en el Río Grande se establecieron 7 estaciones de muestreo (G1 al G7), una en el Río Chico (CHI), una en el Potimalal (PM) y una en el Río Barrancas (RB), en el Río Colorado se establecieron 3 estaciones de muestreo (C, C1 y C2). Un análisis multivariado anterior, permitió seleccionar sólo tres puntos por río principal para el presente análisis, teniendo en cuenta cada estación del año muestreada. Cada punto con su coordenada está descrito en [7].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis Multivariado de Componentes Principales (ACP)

Se llevó a cabo mediante una matriz de correlaciones dado que se conjuga información con diferentes unidades y magnitudes. Dicha matriz (Tabla 1), partió de las correlaciones entre todas las variables físicas y químicas. De lo anterior, se encontró un coeficiente de correlación de Spearman's  $r_s$  significativo (95% de confianza) que fue la temperatura con la altura sobre el nivel del mar (-0.48). Esta correlación se produce por cuanto las dos variables tienen una relación recíproca de a mayor altura sobre el nivel del mar más baja es la temperatura, condición no modificada por la estación del año. Hay una leve relación entre el pH y la temperatura, puede ser debido al proceso de mineralización representado en ganancia de iones, característica que se traduce en una relación directa con la alcalinidad y la conductividad, y que tiene relación con la estación del año al contemplar los procesos de deshielo.

Por lo anterior, se aprecia que los dos primeros componentes acumulan el 56,3% de la información y los cuatro primeros componentes el 90,2%. La figura 1 ilustra los dos primeros componentes y revela las correlaciones entre las variables previamente referidas, dada la proximidad entre ellas y su posición en el cuadrante.

Al contrastar la información de las variables junto con la de los puntos de muestreo-período (Figuras 1 y 2), se aprecian los siguientes aspectos:

	Oxígeno Disuelto	Msnm	Temperatura	pH	Conductividad
Oxígeno Disuelto		0.48336	0.47249	0.087211	0.15399
Msnm	-0.075692		1.3384E-06	0.82684	0.80549
Temperatura	-0.077579	<b>-0.48898</b>		<b>0.02741</b>	<b>0.46698</b>
pH	-0.18339	0.023654	0.2393		0.68142
Conductividad	0.15326	-0.026627	-0.078544	-0.044375	

Tabla 1. Matriz de correlaciones entre variables fisicoquímicas.

El conjunto de correlaciones encontradas entre estas variables, lleva a que la variación explicada por las componentes varíe tal como se ilustra en la tabla 2.

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5
Valor propio	1,55974	1,25794	0,911997	0,783268	0,487057
Varianza	31,195	25,159	18,24	15,665	9,7411
Var. acumulada	31,195	56,354	74,594	90,259	1

Tabla 2. Contribución de cada componente a la variación explicada.

Los puntos de muestreo ubicados al norte y centro del departamento muestran una variación intermedia de sus características fisicoquímicas a lo largo de los períodos de muestreo, en especial la temperatura la cual está explicando muy bien la variación, seguida de los metros sobre el nivel del mar, el pH, la Conductividad y el Oxígeno disuelto que aportan información sobre eventos de perturbación antrópica o natural, considerando esta como diferentes usos del suelo ó aporte de cenizas ó sedimentos por erupciones volcánicas ó desbordamiento de cauces.

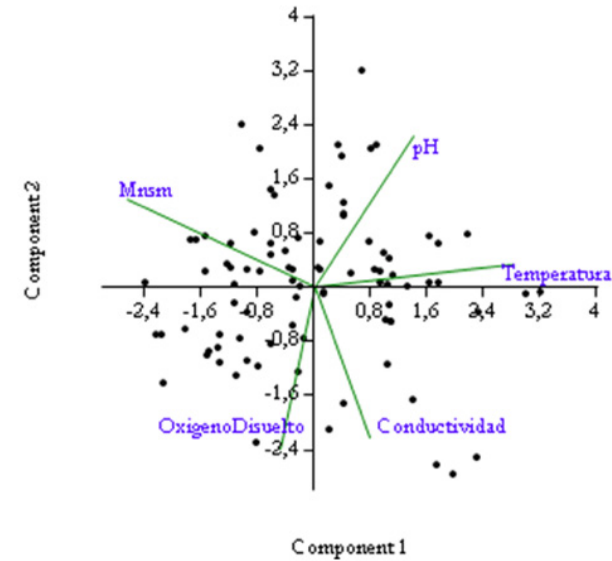


Figura 1. Distribución de las variables Fisicoquímicas en los dos primeros Componentes Principales.

Las condiciones de uso del suelo, composición fisicoquímica del mismo, impactos ambientales ó antrópicos entre otros, son variables que influyen en las características fisicoquímicas de los ríos del departamento las cuales deben ser valoradas e interpretadas, para lo cual el componente 1 del PCA muestra esta variación en la distancia desde el origen y la importancia en la componente 2 por ejemplo así el punto Salado2 para el invierno (S2i) a pesar de no estar muy lejos del origen del componente 1 si lo está de la componente 2, al igual que Malargüe2 y 4 para el invierno (M2i, M4i) y Salado3 en invierno (S3i), y el río Colorado. Esto para ilustrar la presencia de aguas termales que modifican el punto S2i, ó el impacto del Dique Brisoli ó la presencia de la finca las Chacras para los puntos M2 y M4 y la influencia del río Barrancas al unirse con el río Grande y formar el Colorado, para lo cual este se ve muy influenciado por el aporte de sedimentos del río Barrancas, el cual subyace en una formación sedimentaria.

Las diferentes variables ayudan a explicar un poco como los puntos de muestreo se han ubicado en el plano, donde la conductividad ayuda a interpretar la condición del río Colorado, el cual se agrupa para cualquier estación del año. De donde nin-

guna variable es despreciable, aunque los puntos más alejados del plano señalan gran variabilidad fisicoquímica en los diferentes regímenes climáticos. Los puntos de muestreo que están muy próximos en el plano cartesiano y en las figura 3 y 5, denotan que su condición ambiental permanece constante a lo largo de los muestreos.

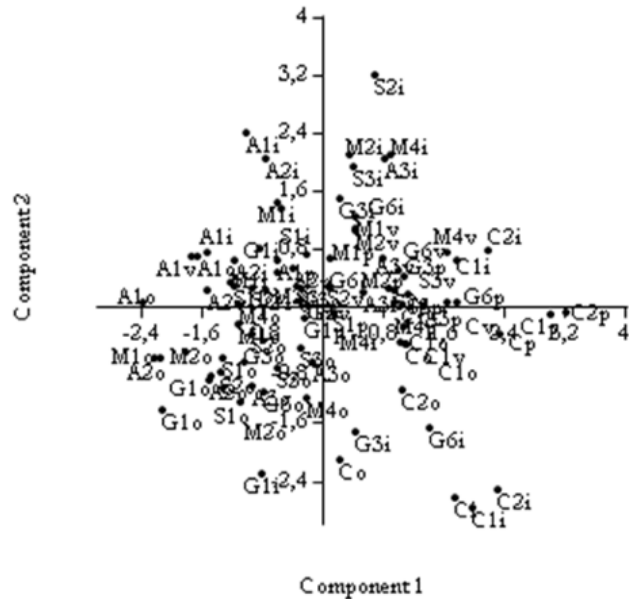


Figura 2. Distribución de los puntos de muestreo-períodos Fisicoquímicos en los dos primeros Componentes Principales. (Se destacan los valores que se alejan del origen).

### Análisis Cluster y del vecino más cercano

Este análisis Clusters (Figura 3) (o Análisis de conglomerados) nos clasificó los puntos de muestreo. Los ha ordenado en grupos (conglomerados o clusters) de forma que el grado de asociación/similitud entre miembros del mismo cluster es más fuerte que el grado de asociación/similitud entre miembros de diferentes clusters. Cada cluster se describe la clase a la que sus miembros pertenecen. La figura 4, muestra la ubicación en el territorio de estos puntos coincidentes por asociación en los colores.

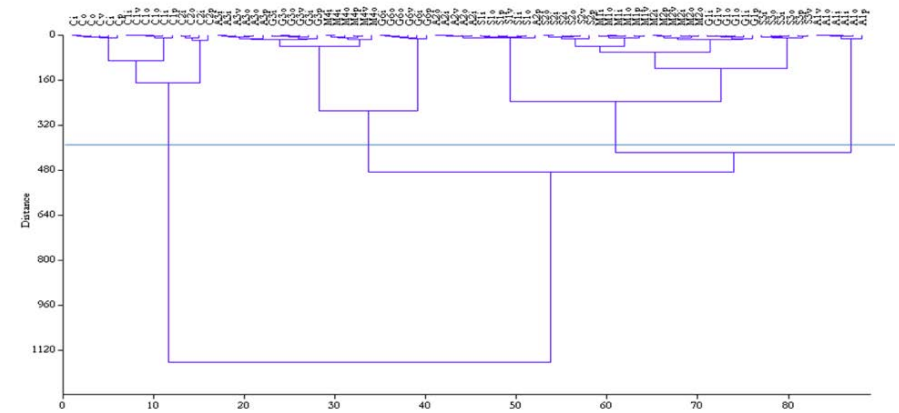


Figura 3. Analisis Cluster, dendrograma mostrando los sitios de muestreo para el departamento de Malargüe.

Con este hemos descubierto asociaciones y estructuras en los datos que no son evidentes a priori pero que pueden ser útiles una vez que se han encontrado. Se pueden identificar varias agrupaciones, pero notaremos la agrupación de los puntos de muestreo del río Colorado para sus tres puntos de muestreo y las estaciones del año muestreadas; la agrupación de los ríos Atuel3, Grande3, Malargüe4 y Grande 6; otro grupo con cercanía o similitud lo conforman Atuel2, Salado1, Salado2, Malargüe1, Malargüe2, Grande1; y una cuarta agrupación del Atuel1 donde se nota gran similitud sin importar la estación del año en la que se realizó el monitoreo.

Es importante notar que las condiciones ambientales del río Colorado son diferentes a los otros ríos del departamento, característica también identificable en la figura 2; se puede apreciar que un mismo río presenta diferencias ambientales a lo largo de su recorrido y las similitudes entre ríos para cualquier estación del año. El río Atuel 1 sobresale de manera considerable ante los otros puntos de muestreo manifestando condiciones ambientales distinguibles.

Es significativa la similitud de río Grande 1 con el Malargüe 2 en cualquier época del año al igual que el río Salado en su punto de muestreo 2 con el río Malargüe en su punto de muestreo 1. Esto debido a que si se piensa en planes de manejo este tipo de análisis puede conducir a apreciaciones del ambiente importante, esto considerando

las características propias de cada cuenca.

La figura 5, presenta el análisis del vecino más cercano donde se puede apreciar las características físicoquímicas entre los diferentes puntos de muestreo para todos los muestreos realizados, podemos determinar que los puntos de muestreo Atuel1, Salado1, Atuel2, Malargüe1, Salado2 y Grande1, se diferencian del Colorado, Grande6, Malargüe4, Atuel3, Grande3 y Salado3.

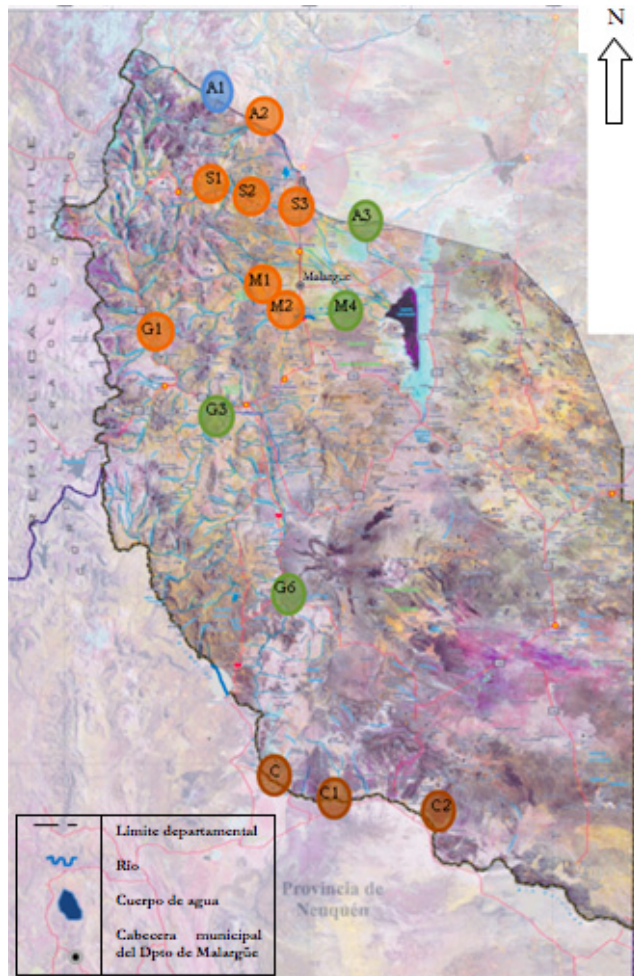


Figura 4. Mapa del departamento de Malargüe, donde se aprecian los puntos de muestreo, los colores de cada punto corresponden al análisis Cluster.

Tanto el ACP, el análisis Cluster y el neighbour joining mostraron claramente la separación del río Colorado, podría considerarse que el resultado está sesgado debido a la incorporación de la altura sobre el nivel del mar como variable, y hacer el mismo supuesto para las restantes agrupaciones, pero debido a la extensión del departamento y a que cada punto de muestreo está a distinta altitud hace de esta una variable ecológicamente relevante.

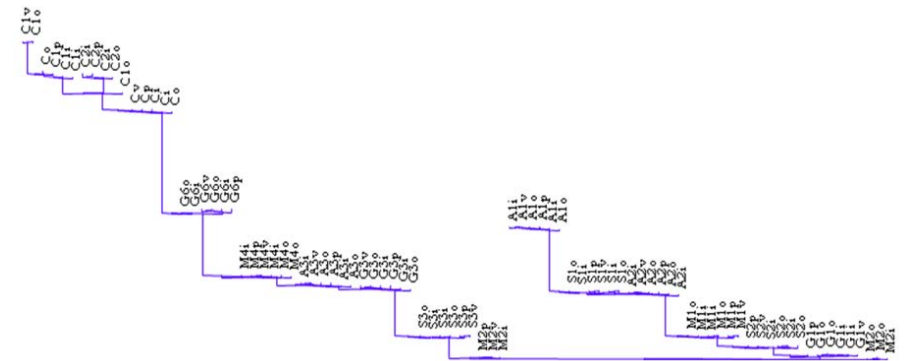


Figura 5. Gráfico del vecino más cercano

## CONCLUSIONES

Los análisis multivariados permitieron detectar la similitud entre algunas partes de las cuencas y similitud entre estas, sin distinción del momento de muestreo, resultado de gran importancia para la valoración del aprovechamiento y manejo del recurso agua en el departamento de Malargüe.

Esta herramienta estadística ilustra las diversas características relativas a las condiciones físicoquímicas del área de estudio.

Estos resultados muestran la importancia de las variables estudiadas, pero ha sugerido a partir de las relaciones de similitud, que en algunos casos es posible no muestrear todos los sitios.



## REFERENCIAS

- [1] Simeonov, V., Stratis, J.A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M., Kouimtzis, T. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Res.* Oct; 37(17):4119-24.
- [2] Wunderlin, D.; Díaz, M., Amé, M.V., Pesce, S., Hued, A., Bistoni, M. 2001. Pattern Recognition Techniques for the Evaluation of Spatial and Temporal Variations in Water Quality. A case Study: Suquía River Basin (Córdoba, Argentina). *Water Research* 35 (12), 2881-2894.
- [3] Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., Sinha, S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)-a case study. *Water Res.* Nov; 38(18):3980-92.
- [4] Pesce S.F. and Wunderlin D.A. (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquía River. *Water Res.* 34, 2915-26.
- [5] Lyer, C.S., Sindhu, M., Kulkarni, S.G., Tambe, S.S., Kulkarni, B.D. 2003. Statistical analysis of the physico-chemical data on the coastal waters of Cochin. *J. Environ Monit.* Apr; 5(2): 324-327.
- [6] Bengraïne, K., Marhaba, T.F. 2003. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. *J. Hazard Mater.* Jun 27; 100 (1-3): 179-195.
- [7] Plan Estratégico Municipalidad de Malargüe. 2010. Caracterización ecológica de los ríos del departamento de Malargüe. Publicación propia no indexada.

# Marco normativo asociado a la prevención y mitigación de riesgos naturales de origen geológico con incidencia en el área metropolitana de Mendoza

## RESUMEN

En este trabajo se pretendió abordar diferentes temas, como la situación legal en cuanto a lo ambiental, teniendo en cuenta la legislación que es anterior a la reforma de la Constitución Nacional del año 1994 y la situación posterior a la reforma, dividiéndola en dos grupos, leyes proactivas y leyes reactivas .

En el primer grupo se encuentran las leyes que establecen objetivos o fines para la disminución del riesgo ambiental partiendo del reconocimiento de las características de los ecosistemas, de la presencia de factores condicionantes y factores detonantes de modo preventivo.

En el segundo grupo se establece la legislación que se da como una respuesta directa a la ocurrencia a catástrofes o eventos perjudiciales para la población, es decir que se dictan a modo de reacción para minimizar eventos similares en ocasiones futuras y además para paliar la problemática acontecida mediante acciones que benefician a los damnificados.

El derecho ambiental actúa para prevenir el daño, debido a que una vez que el mismo es ocasionado, los costos y tiempos de recuperación suelen ser altos. Como sustento de este enunciado se encuentra plasmado en la Ley General de Ambiente N° 25.675 el principio de precaución.

M. Castillo (1),  
S. Fermani M. (1)  
P. Torres (1),  
H. Cisneros (1,2,3),  
G. Donaire (1),  
R. Laudicina (1)

Y. Capellozza (1),  
V. Bravo (1),  
E. Silvestrini (1),  
S. López L. (1),  
J. Torres (1).

1- *Secretaría de Investigaciones, Universidad de Congreso, Mendoza, Argentina.*

2- *Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis.*

3- *Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Cuyo.*

[castillo.melisa@gmail.com](mailto:castillo.melisa@gmail.com)

La provincia de Mendoza cuenta con una ley que ha sido y es base para la elaboración de variadas leyes que tienen injerencia ambiental. La ley N° 5961/92 tiene por objeto la preservación del ambiente en todo el territorio de la provincia a los fines de resguardar el equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable y establece los principios fundamentales de la política ambiental para la provincia de Mendoza.

Como resultado de esta investigación se analizó toda la normativa existente, detectándose vacíos normativos para lo cual se elaboraron propuestas para suplir estas faltas.

## Palabras Clave:

Riesgos naturales. Legislación. Prevención. Mendoza. Mitigación. Gestión ambiental.

## INTRODUCCIÓN Y PLANTEO DE LA PROBLEMÁTICA

La realidad geomorfológica y climática de la provincia de Mendoza construye un escenario que configura al territorio como una región caracterizada por la presencia de diversos riesgos naturales. En este contexto la ineficiente aplicabilidad de un marco jurídico direccionado a la prevención y respuesta por parte de la órbita gubernamental incrementa dicho riesgo.

Se considera prudente establecer claramente cuál ha sido el criterio de clasificación para el análisis de marcos jurídicos asociados, estableciendo un eje divisorio de la legislación relacionado a la gestión de riesgos ambientales en dos grupos, leyes proactivas y leyes reactivas.

En el primer grupo se encuentran las leyes que establecen objetivos o fines para la prevención del riesgo ambiental partiendo del reconocimiento de las características de los ecosistemas, de la presencia de factores condicionantes y factores detonantes de modo preventivo. Mientras que en el segundo grupo se establece la legislación que se da como una respuesta directa a la ocurrencia a catástrofes o eventos susceptibles de provocar daño a la población, es decir que se dictan a modo de reacción. En consideración a lo expuesto se realizó una recopilación de la legislación vigente y posteriormente se procedió a determinar los vacíos legales y sus posibles causas. Finalmente se realizan propuestas para suplir los vacíos o la ineficiente aplicabilidad encontrados en la etapa anterior.

Es relevante destacar, que uno de los pasos sino el paso más grande que tuvo la Argentina para encarar la temática ambiental desde todos sus aspectos, es haber considerado al ambiente sano como un derecho fundamental para toda la población, esto tuvo lugar en el año 1994 con la reforma de la Constitución Nacional y la instauración del artículo 41°. Así el mismo establece: "Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley." Esto marca fuertemente una introducción de la temática ambiental plasmada en la Carta Magna Nacional, situación que adquiere importancia, considerando la jerarquía normativa del país. También establece una clara responsabilidad a la que están sujetos quienes potencialmente, a través de sus acciones y/u omisiones, puedan afectar el medio.

"Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales...". Este apartado demuestra una institucionalización de la dimensión ambiental dentro de la órbita gubernamental con competencia en la temática referenciada, exhortando formal-

mente a los gobiernos, en sus diversos niveles políticos, a adoptar las medidas necesarias para la construcción de un marco de protección de estos nuevos derechos consagrados constitucionalmente, además de promover los mecanismos de formación pertinentes direccionados a la consolidación de estos derechos.

"Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos." En este sentido se observa una innovación en el sistema legislativo federal argentino, inspirada en la realidad normativa española, en consideración con nuestra organización político-administrativo republicano federal y coordinación de competencias asociadas. En este nuevo sistema de coordinación de competencias en materia ambiental (innovador), se identifica una modalidad mixta, orientado a una delegación parcial de competencias (no total, tradicional en nuestra organización constitucional), delegando la facultad por parte de los estados provinciales al estado nacional de dictar las normas de presupuestos mínimos de protección ambiental, reservando la competencia de complementarlas (en función a características ecosistémicas particulares y otras consideraciones) y de implementarlas, a través de la justicia ordinaria. Esto introduce sin lugar a dudas un cambio significativo en el ordenamiento jurídico ambiental [1] El artículo 6° de la ley N° 25675 (Presupuesto mínimo de protección ambiental que establece la política ambiental nacional) define a un presupuesto mínimo como "... toda norma que concede una tutela ambiental uniforme o común para todo el territorio nacional, y tiene por objeto imponer condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental...". En consideración a lo expuesto anteriormente, las complementaciones provinciales no pueden encontrarse por debajo de este piso mínimo de protección ambiental, sino incrementarlo.

La provincia de Mendoza cuenta con una ley que ha sido y es base para la elaboración de variadas leyes que tienen injerencia ambiental. La ley N° 5961/92 de preservación del ambiente, tiene por objeto la preservación del ambiente en todo el territorio de la provincia a los fines de resguardar el equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable y establece los principios fundamentales de la política ambiental para la provincia de Mendoza.

Esta declara de interés provincial las acciones y actividades destinadas a la preservación, conservación, defensa y mejoramiento de los ambientes urbanos, agropecuarios y naturales y todos sus elementos constitutivos.

Es importante destacar que la preservación y mejoramiento tiene como una de sus acciones fundamentales el ordenamiento territorial y la planificación de los procesos de urbanización, poblamiento, industrialización, explotación minera y agrícola ganadera y expansión de fronteras productivas, en función de los valores del ambiente.

Otras de las acciones que son necesarias para la preservación del ambiente son la utilización racional del suelo, atmosfera, agua, flora, fauna, gea, paisaje, fuentes energéticas y demás recursos naturales; la creación, protección, defensa y mantenimiento de áreas y monumentos naturales, refugios de vida silvestre, reservas forestales, faunísticas y de uso múltiple, cuencas hídricas protegidas, áreas verdes de asentamiento humano y/o cualquier otro espacio que conteniendo suelos y/o masas de agua con flora y fauna nativas, semi nativas o exóticas y/o estructuras geológicas, elementos culturales o paisajes, merezca ser sujeto a un régimen de especial de gestión y administración.

Sin embargo una de las normas más relevantes de los últimos tiempos para la provincia de Mendoza es la ley N° 8051/09 de Ordenamiento Territorial.

Esta ley puede ser considerada como la ley fundamental para el desarrollo sostenible de la provincia de Mendoza y guarda una íntima relación con las normativas que son necesarias para la minimización del riesgo ambiental en el área metropolitana de la provincia.

En su artículo 1°, esta ley establece el Ordenamiento Territorial como un procedimiento político administrativo del estado en todo el territorio provincial, entendido este como una política de estado.

En este aparatado también se indica que será de carácter preventivo y prospectivo en todos los plazos. Por lo que se puede considerar esta norma dentro del grupo de leyes preventivas.

Esta ley tiene entre sus fines conocer, caracterizar y comprender la dinámica del medio natural de tal manera que se establezca su aptitud, capacidad de soporte y las sinergias positivas y negativas para sustentar las actividades antrópicas actuales y futuras. En este apartado se deja implícita la idea de que deben conocerse los riesgos ambientales que posee el territorio para de este modo poder planificar el establecimiento de las diversas actividades. Otro de los fines hace alusión explícitamente a que es necesario mejorar la toma de decisiones para el desarrollo sostenible y esto implica entre otras cosas la disminución de las probabilidades de riesgo para la población.

Uno de los objetivos generales de la misma es garantizar un sistema urbano, rural y natural equilibrado, conforme a la aptitud del suelo para los asentamientos humanos y las actividades económicas, prestando especial atención al manejo de los riesgos naturales y antrópicos. Es decir que se le da especial relevancia a la necesidad de contar con una identificación clara de los riesgos a los que está sometida la provincia de Mendoza. Por otra parte indica que el desarrollo sostenible debe darse dentro de un marco en el que se minimice la degradación de áreas urbanas y rurales; propiciando la reducción de la vulnerabilidad ante peligros naturales, ambientales y tecnológicos. A su vez debe propenderse a la ejecución de acciones de preservación, mitigación y reparación del ambiente en general.

Otro punto importante a destacar es la importancia que se le da a la información ambiental, la ley dispone que deberán generarse los mecanismos de información, concientización y educación sobre los alcances del Ordenamiento Territorial como herramienta para el desarrollo sostenible. Más adelante en esta misma norma se describe el objetivo de la participación social y establece que se deberá asegurar las condiciones para que los ciudadanos participen y contribuyan al cumplimiento del bien común e interactúen y sean partícipes proactivos y responsable mediante la opinión informada y fundada.

La normativa expresa que es necesario para elaborar el plan de Ordenamiento Territorial realizar un diagnóstico, en el cual se tengan en cuenta entre otras cosas el medio físico- natural y dentro de este la ocupación del suelo y las cuencas hidrográficas, aptitud y factibilidad de uso, limitaciones ambientales, amenazas, peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos, el aire, la flora, la fauna, el relieve, los aspectos geológicos,



hidrológicos y geotécnicos, como componentes del medio natural.

Cabe destacar que esta norma señala que cada municipio será el encargado y responsable, a través de su poder ejecutivo, de la elaboración de los Planes Municipales de Ordenamiento Territorial. Esto permitirá una mejor gestión del territorio dado que cada uno de estos planes dará cuenta de las prioridades que son atendidas y del modelo de desarrollo territorial deseado en cada uno de los departamentos y posteriormente poder realizar una mejor homogenización de la información proveniente de cada uno de los ejecutivos municipales, para la elaboración del Plan de Ordenamiento Provincial.

En cuanto a la relación que existe entre esta norma y las preexistentes, la misma establece que la ley provincial N° 5804, que crea la comisión reguladora de piedemonte y de la cual se ha hecho referencia en otro apartado de este trabajo, y concordantes serán de aplicación en todas sus partes, en cuanto no se opongan a las previsiones de la presente.

Estas tres leyes son ejemplo del primer grupo, es decir leyes proactivas, pero la provincia de Mendoza cuenta también con leyes que pueden ser enmarcadas dentro del grupo de leyes reactivas, ejemplo de estas es la Ley Nazar, esta ley se creó a partir del terremoto de 1861.

El terremoto de mayor incidencia producido en la provincia de Mendoza ocurrió el 20 de marzo de 1861. Algunos testigos describieron el evento, relataron que en el momento del sismo se hizo sentir un estruendo sordo, como el producido por muchos carros que ruedan juntos y rápidamente sobre un terreno abovedado o como la detonación simultánea de una batería de cañones. En ese instante hubo un repentino movimiento contractivo de la tierra. La ciudad osciló y casi todas las construcciones se desplomaron.

Un improvisado diario, se encontraron anotados brevemente los sucesos posteriores. Por ese diario se sabe que se inició un incendio debido a las velas y combustibles en los domicilios. El fuego aumentó y la población, que no estaba organizada, actuaba desordenadamente. Debido a que las autoridades, en su mayoría resultaron víctimas también de la catástrofe, no se pudo organizar la emergencia, aumentando la frustración de los civiles.

Después del terremoto, la oposición culpó al gobernador de negligencia por no haber aparecido en la escena del siniestro inmediatamente, sin entender que el gobernador también fue víctima del terremoto porque se le habían muerto varios hijos. Con el nuevo día se pudo apreciar mejor la destrucción: los edificios públicos eran ruinas, igual que la Iglesia, las calles habían quedado intransitables por los escombros y por el desborde de agua por la rotura de los canales de distribución de agua de riego. Los sobrevivientes se negaban a abandonar las ruinas debido a los merodeadores. Aun a riesgo de su salud y soportando la fetidez, los más pobres se quedaban cerca de lo que quedaba de su propiedad. En la fase de emergencia, tanto la seguridad como la salubridad eran las prioridades de las autoridades. [2]

En el caso del terremoto de Mendoza de 1861, el periódico local refirió que la gente vagabundeaba por las ruinas, resistiéndose a ir al nuevo sitio de la fundación de la ciudad. Una comisión presidida por el ingeniero Carlos Huidobro había recomendado la reconstrucción de Mendoza desplazándola hacia el SO. No se trató de un emplazamiento ideal en el sentido de que Mendoza siguió localizada en zona de las fallas geológicas. Durante el siglo XX la ciudad creció sin tomar ciertas precauciones que sí, en cambio, fueron tenidas en cuenta cuando se realizó la reconstrucción después del terremoto de 1861.

Aquel diseño urbano que se aplicó en la reconstrucción tenía una plaza central (actualmente Plaza Independencia que ocupa cuatro manzanas) y cuatro plazas más pequeñas (Italia, España, San Martín y Chile), de una manzana cada una. Se brindaban así amplios espacios para el refugio de las personas en caso de terremoto. Las avenidas procuraban dejar suficiente espacio entre fachadas para que, si los edificios se desplomaban, no aplastaran a la gente que ya había abandonado su casa. Sin embargo a diez años de su reconstrucción alrededor de la Plaza Independencia, ésta todavía era un gran baldío cubierto de malezas, a tal punto que el 19 de abril se realizó una colecta para arreglarla. El diseño urbano de la reconstrucción tampoco había contemplado otro lado oscuro de los proyectos de inversión ya que se favoreció la especulación inmobiliaria. Lotes que el gobierno había vendido en \$50 para que la gente se instalara en la ciudad reconstruida seguían vacíos diez años después, aunque habían adquirido un valor de \$2.000. Peor aún desde el punto de vista urbano: en la llamada "ciudad vieja" la gente seguía fabricando los adobes con tierra de la calle, que ahora tenía en algunos sectores hasta un metro por debajo de la calzada. [2]

Esta ley fue dictada a pocos meses de la ocurrencia del sismo, tenía como fin determinar las pautas para la reconstrucción de la ciudad de Mendoza en su antigua localización pero teniendo en cuenta nuevas consideraciones, entre ellas:

- Las calles serían de 20 varas y las manzanas y cuadras iguales entre sí.
- Las calles conservarían sus nombres preexistentes.
- Se prohibiría edificar muros más altos que 8 varas (aprox. 6.67 m), como así tampoco se deberían construir "entretechos, cornisas y molduras" hacia el exterior "salvo que sean de madera".
- A partir de la plaza 9 de julio (Sarmiento) hacia el norte, cada tres manzanas libres se instalaría una plaza con calles plantadas con "árboles coposos" y distribuidos a una distancia de 25 varas (aprox. 20m.) de la línea de los edificios.
- En principio, se establecerían cuatro plazas.
- Por otra parte se especificaba también la utilización del equipamiento público de la siguiente manera: la manzana ubicada al sur de la plaza independencia se destinaría para emplazar el templo matriz, Casa de Gobierno, Legislatura, Administración de Justicia, Cárcel, Policía y Escuela.
- Los propietarios particulares que resultaran afectados por usos asignados a los solares serían indemnizados o canjeados los mismos por terrenos de propiedad fiscal.

Todas estas pautas eran signos de que no se respetaría el centro de la antigua ciudad. Más allá de todas estas consideraciones esta ley la cual fue firmada por el gobernador Laureano Nazar, no pudo llevarse a cabo por el desprestigio de Nazar, quien arrastró en su caída política a esta norma que hoy puede considerarse importante.

El tratamiento público de esta nueva ley se realizó a través de foros de discusión que se daban en la legislatura y en los diarios.

Más tarde, en el año 1862, en una de las sesiones de la legislatura, se rechazaron como posibles sitios para la ubicación de la ciudad capital la finca de San Nicolás y la de Las Tortugas, por otra parte se propuso como posibilidad el distrito de Lunlunta ya que entre otras ventajas era una buena posición militar. [3]

El 21 de julio de 1862, la legislatura sancionó otra ley que establecía como capital de la Provincia de Mendoza a: "... La parte más central del terreno comprendido entre la hijuela de san francisco del monte por el Norte; por el Sud la de Pereyra; por el

ponente, el zanjón (actual canal Zanjón); y por el Naciente, la calle de Mallea y Barriónuevo (actual calle Mallea- Alta Italia), tirando una línea sudnorte hasta tocar con la calle de San Francisco del Monte".

La ley fue discutida punto por punto. El número de manzanas que preveía el proyecto era de 169, en su momento uno de los diputados considero esta cifra excesiva y en su ligar propuso que fueran de 69. El resto podría dedicarse al crecimiento futuro de la ciudad, su visión era que se debería prever que una vez instalada la ciudad, los alrededores subirían de precio y había que evitar la posibilidad de la especulación inmobiliaria. En este momento también se acordó que las dimensiones se tratarían en adelante en metros ya que sería una forma más clara y general. De este modo lo que antes eran 150 varas equivaldrían a 125 metros.

Finalmente, se redacta el art. 2° queda redactado de la siguiente manera: "Para la planteación de la Nueva Ciudad se declara de utilidad pública el terreno que se precisa para 169 manzanas de a 125 metros por costado cada manzana incluyéndose cinco plazas".

El art. 3 fue uno de los que se aprobó sin variantes: "Designese como punto céntrico de partida para la delineación de la ciudad, aquel punto donde llegue la mensura de veinte i dos cuadras desde el Zanjón, siguiendo la calle de Nueva Coria hacia el este, i tomando cuatro cuadras al Norte, designándose dicha punto para plaza principal, de donde arrancará la delineación a los cuatro vientos."

En cuanto al ancho de calles se establece que: "Art. 4°: a más del terreno comprendido en el Art 2° se declara de utilidad pública el que se requiera para las calles, que tendrán veinte i cinco metros las de circunvalación, i treinta i cinco metros las convergentes a la ciudad que serán una por cada viento, sirviendo estas de carriles." [3] Por otra parte se puede encontrar dentro de la legislación ambiental mendocina leyes que han sido elaboradas con un visionario concepto de la preservación y conservación ambiental teniendo en cuenta que fueron elaboradas antes de la reforma de 1994 pero cuyo decretos fueron posteriores al promulgación de tan importante ley para la administración del ambiente en la provincia y por lo tanto se enmarcan en sus previsiones, el mejor ejemplo es la antes nombrada ley N° 5961/92 "PRESERVACION AMBIENTE TERRITORIO RESGUARDO EQUILIBRIO ECOLOGICO DESARROLLO

SUSTENTABLES”, otro ejemplo de esto es la ley 5804/91 y su correspondiente decreto reglamentario N° 1077/95.

Esta última declara de interés y utilidad pública sujeta a expropiación la fracción de terreno al oeste del gran Mendoza comprendida aproximadamente entre los siguientes límites: Sur: margen izquierda del río Mendoza; Este: desde el río Mendoza siguiendo la línea del ferrocarril Belgrano hasta su intersección con la ruta panamericana y luego por ésta siguiendo su banquina Oeste hasta el aeródromo La Puntilla y luego por el límite Oeste de la propiedad del aeródromo, hasta encontrar la cañería del acueducto de Obras Sanitarias Mendoza, y por esta llegar al dique Frías, a partir de allí sigue luego el límite de la propiedad fiscal del título del parque general San Martín hasta el dique Papagallos, de allí rumbo al Este hasta la intersección con el meridiano  $68^{\circ}53'30''$ , y desde esta intersección por el meridiano mencionado hacia el norte hasta la intersección con el paralelo que pasa por la cumbre del cerro áspero; Norte: El paralelo que pasa por la cumbre del cerro áspero a partir del meridiano de  $68^{\circ}53'30''$ , hasta el meridiano de  $69^{\circ}1'$ , Oeste: el meridiano de  $69^{\circ}1'$  a partir del paralelo que pasa por la cumbre de cerro áspero hasta la margen izquierda del río Mendoza que es límite sur.

Sus objetivos son mejorar las condiciones de vida de la población del gran Mendoza; restablecer y preservar el sistema ecológico natural y paisajístico del oeste de gran Mendoza; mejorar las defensas antiluviales del sistema de escurrimiento que afecta al gran Mendoza entre otras.

Su decreto reglamentario fue promulgado en el año 1995 es decir que es posterior a la sanción de la ley N°5961 por lo que esta reglamentación se enmarca dentro de las previsiones establecidas por esta última y de la ley N° 6045 de Sistema Areas Naturales. Es importante destacar que esta ley hace alusión por primera vez al riesgo en las definiciones técnicas establecidas que son las mismas que establece la ley N° 5961. Para estas normas se considera Riesgo Intrínseco a las condiciones de un área determinada por su mayor o menor fragilidad o vulnerabilidad.

En su capítulo I, artículo 6° determina las unidades de aplicación siendo éstas las siguientes cuencas hidrográficas: Colector Las Heras, Quebrada de las Chilcas, Quebrada de las Avispas, El Challao, San Isidro, Divisadero Largo, Papagallos, Frías, Urbana

Piloto Parque Gral. San Martín, Urbana Gorriti, San Ignacio, Maure, C° Pelota, Aeroclub Mendoza, C° Petaca, El peral, Chacras de Coria, El manzano, Ea. La Crucecita, Quebrada de La Cruz, C° Ponderado y Quebrada de La Puerta.

En el capítulo II se definen los usos, definiendo como usos permitidos a aquellos que no impliquen riesgos para el ambiente, mientras que se considera que son usos restringidos aquellos que impliquen un potencial perjuicio para el ecosistema, pero que pueda conjurarse atendiendo a las pautas de uso que surjan de la reglamentación específica de la zona y se autoricen previamente por la Comisión Reguladora del Piedemonte. Y finalmente se consideran como usos prohibidos aquellos con consecuencia altamente perjudicial para el ecosistema y no podrán ser autorizados bajo ningún concepto.

Un artículo que es fundamental para el análisis de la legislación que tiene en cuenta el riesgo aluvional que posee el Gran Mendoza es el N° 16 en él se define Uso Residencial Adaptado y establece que hasta que los municipios aprueben códigos urbanos específicos para el piedemonte, este uso se regirá por las pautas dadas en la Ley N°4886. Cap.5, Art, 10° “Urbanización Parque” pero aclara que la Comisión Reguladora de Piedemonte podrá considerar y autorizar aquellos emprendimientos que tengan en cuenta las siguientes pautas de diseño urbano y hayan realizado previamente las Evaluaciones de Impacto Ambiental correspondientes de acuerdo a la Ley Provincial N° 5961:

- Sitio de emplazamiento: En zonas y unidades de aplicación habilitadas para este uso según la ley de referencia.
- Adaptación del trazado urbano a la forma del terreno.
- Emplazamiento de la mayor parte de las calles en forma paralela a las principales curvas de nivel.
- Conservación de la red de avenamiento natural, evitando la alteración de cauces de tercer o más orden.
- Cuando la red de avenamiento sea muy alta (mayor a 20Km/km<sup>2</sup>), no deberá permitirse este tipo de uso.
- Empleo de sistemas de aprovechamiento de agua pluvial, vertientes y subterráneas para riego y/o consumo.
- Empleo de sistemas diseñados para reducir el consumo de agua potable por persona.

- Empleo de sistemas para favorecer la infiltración y evitar dirigir excedentes pluviales fuera del predio.
- Sistemas para el tratamiento y disposición final de efluentes cloacales.
- Forestación con especies adaptadas al lugar, para la fijación de suelos, sombra, mejoramiento del paisaje, acondicionamiento sanitario, recreación y prevención de la erosión.
- Diseños especiales en la construcción de la vivienda y la urbanización para permitir el aumento de los tiempos de concentración y la infiltración.
- Evitar la existencia de espacios abiertos sin cobertura vegetal.
- Aprovechamiento de los recursos del clima y microclima para el acondicionamiento ambiental.

El decreto ha definido tres zonas de aplicación: la zona de mayor naturalidad, es aquella que tiene alto grado de naturalidad, donde los procesos ecológicos han podido seguir su curso espontáneo o con un mínimo de interferencias por parte de actividades humanas. La zona de amortiguación o transición, es la que protege a la zona de conservación y amortigua los efectos producidos por la creciente ocupación de territorios y por último la zona de expansión urbana inminente, es el área de máxima fragilidad y presión urbana creciente por la urbanización no controlada. Posteriormente se realiza una descripción detallada de cada una de estas zonas y se explicita cuáles son los usos permitidos para cada una de ellas.

Otro punto a destacar es el título V que se ocupa de la vigilancia, en esta ley se encomienda a los municipios que posean jurisdicción sobre el área o cualquier otro organismo público con incumbencia en la temática a que, en el plazo más corto posible, implementen, en forma individual y/o conjunta, un sistema de control y fiscalización tendiente a prevenir la radicación de nuevos asentamientos que no cumplieren con especificaciones técnico-ambientales y legales, como así también la detección y prevención temprana de cualquier otra actividad que contraviniese a las disposiciones vigentes.

En los capítulos posteriores se determinan cuáles son los usos permitidos para cada una de las zonas definidas anteriormente.

Otra de las leyes importantes para la gestión del riesgo aluvional es la ley N° 6188 "Declaración interés provincial proyecto de investigación y desarrollo manejo ecológico del piedemonte mendocino".

Según esta ley el programa de Manejo Ecológico del piedemonte Mendocino, sería de aplicación en las zonas del gran Mendoza conectadas a áreas montañosas con altas probabilidades de daños por riesgo aluvional y/o toda otra zona del territorio provincial que a evaluación del organismo justificara la relación de inversión sobre beneficio.

Este programa de Manejo Ecológico del Piedemonte Mendocino consistía en reducir el riesgo aluvional en las zonas de mayor densidad poblacional o de explotación agrícola intensiva, mediante la regulación de las aguas superficiales en las cuencas del piedemonte.

Existe otra normativa anterior a la nombrada precedentemente que regula las actividades en el piedemonte, esta es la ley N° 4886 del año 1983 "Disposición de suelo de zona oeste del Gran Mendoza".

La misma posee su ámbito de aplicación sobre el sector oeste de los departamentos de Las Heras, Capital y Godoy Cruz. Dicha norma pretende la protección del medio pedemontano a través de una organización de las actividades de la zona afectada [1] Como características a resaltar, se destaca la creación de un organismo consultor de la oeste del Gran Mendoza. Recae dentro de sus responsabilidades la de brindar dictámenes referidos a los usos en esta zona [4]

En cuanto al resto de los riesgos ambientales que posee Mendoza se pueden citar otro tipo de normativas. Es importante destacar que como resultado de la comprensión de que Mendoza es una zona sísmica, cada municipio ha elaborado su propio código de edificación basado en el Código de Construcciones Sismoresistentes. A continuación se realiza una referencia a cada uno de los códigos municipales del Gran Mendoza.



### **Código de edificación departamento de Las Heras**

Hace referencia al código de construcciones sismoresistentes en el apartado que se denomina SOLICITUD DE INSPECCION en el mismo se determina que para solicitar la inspección del llenado de columnas, vigas y losas se realizará cuando se termine toda la armadura y encofrado de toda estructura de la obra y se hará de acuerdo a lo que establece el código de construcciones sismoresistentes.

Se hace referencia también a este código en el apartado que trata sobre MATERIALES Y SISTEMAS PERMITIDOS éste establece que los materiales, métodos, procedimientos o sistemas constructivos deberán cumplir con todas las exigencias que se encuentran en el código municipal, debiendo obtenerse estructura de por lo menos las mismas condiciones de seguridad que se establecen en el Código de construcciones Antisísmicas.

Es importante destacar que es en el reglamento de estructuras donde se hace explícito el reconocimiento de las características sísmicas de la provincia. Este apartado señala: "...El cálculo de las estructuras deberá basarse en las reglamentaciones vigentes en la materia, adoptándose por normas provinciales, nacionales o internacionales con especial consideración de las características sísmicas de la zona. Las construcciones deberán tener estructuras sismorresistentes, las que se ajustarán en un todo al Código de Construcciones Antisísmicas de la provincia..."

Este código de edificación municipal posee consideraciones especiales para construcciones en alta montaña, en la zona denominada Los Penitentes, la misma expresa que las construcciones serán antisísmicas, adecuadas a las características climáticas de la zona y deberán responder al tipo de construcciones de alta montaña (usándose preferentemente para los paramentos exteriores, materiales pétreos de la zona).

Este código expresa que es necesario destacar que cuando las construcciones que se realizan en alta montaña no son debidamente controladas, se pueden ocasionar graves perjuicios tanto al ambiente como a la población que se dispone en estos lugares.

### **Código de edificación departamento de Godoy Cruz**

El departamento de Godoy Cruz ha establecido su código de edificación mediante Ordenanza N° 5519/07.

En éste se establece que será imprescindible detallar en los planos de construcción, más precisamente en los planos de estructura las Planillas de cálculo completas de todos los elementos de la estructura resistente, incluyendo la verificación sísmica según Código de Construcciones Antisísmicas la correspondiente verificación sísmica.

En cuanto a los materiales y los sistemas constructivos este código establece parámetros iguales a los establecidos por el municipio de Las Heras.

### **Código de edificación departamento de Luján de Cuyo**

El código del municipio de Lujan de Cuyo, sigue las mismas pautas con las que se han elaborado el resto de los códigos de edificación, expresa que el cálculo de estructuras antisísmicas, será de exclusiva y obligatoria aplicación el Código de Construcciones Antisísmicas, es de destacar que este código define construcciones antisísmicas cometiendo un error de conceptos, ya que no existe ningún tipo de construcción que sea antisísmicas por que estas no pueden evitar que el fenómeno ocurra, sino que son sismoresistentes ya que soportan el suceso.

En cuanto a la resistencia de suelo, según este código, la municipalidad podrá exigir la justificación de las presiones de trabajo impuestas al suelo cuando la naturaleza de éste o las cargas a resistir así lo requieran.

En edificios de vivienda de hasta dos plantas podrá ser suficiente un sondeo. Los estudios deberán ser acordes con las técnicas aconsejadas por la mecánica de suelos.

### **Código de edificación departamento de Guaymallén**

El código de edificación del departamento de Guaymallén cuenta con el capítulo N° 8 denominado Normas Sobre Seguridad. En él expresa que para el cálculo de estructuras antisísmicas será obligatoria la aplicación del Código de Construcciones Sismorresistentes y las Normas complementarias que en él figuran.

Este código también posee también el título Resistencia de los Suelos, según este apartado deberá justificar las presiones de trabajo impuestas cuando la naturaleza de éste lo requiera.

Si bien tanto el código de Luján y este último hacen referencia a la resistencia no se determina de modo expreso las causas por las que debería tenerse especial cuidado con la carga impuesta sobre el suelo, aunque de algún modo podría considerarse entonces que se tiene en cuenta la posibilidad de ocurrencia de licuefacción o la presencia de suelos con arcillas tixotrópicas, además de tener en cuenta el riesgo sísmico. Sin embargo el riesgo predominante en todos los códigos es el sísmico.

Normas analizadas	Jerarquía normativa							Naturaleza de intervención		Territorialización	
	C.N.	Tratados Internacionales	Leyes Nacionales	Leyes Provinciales	Decretos	Ordenanzas	Resoluciones	Proactiva	Reactiva	Total	Focalizada
Artículo 41	X							X		X	
Ley 25675			X					X		X	
Ley 5961*				X				X		X	
Ley 8051-P				X				X		X	
Ley 5804 *-P				X				X			X
Ley Nazar				X					X		X
Ley 6045 *-P				X				X		X	
Ley 4886.*				X				X			X
Ley 6188 *-P											
Ord. 5519 (C.Ed.Godoy Cruz)-P						X		X			X
Ord. 36/1970-P.(Cod.Ed. Luján)						X					
Ord. 3780/94 (Cod. Ed. Guaymallén)-P						X		X			X
Ord. 220/85(Cod.Ed. Las Heras)-P											
Ord. (Cod..Ed. Ciudad)-P											

Es importante destacar la existencia de normas de tipo no formal, las cuales se caracterizan por ser de carácter proactivas y reactivas, siendo estos planes de contingencia que posee la población mediante el organismo oficial de Defensa Civil Provincial y las oficinas gubernamentales de las diversas jurisdicciones municipales de la provincia.

Este organismo es el encargado de brindar los procesos formativos educativos, en la dimensión formal y no formal, promoviendo acciones orientadas a la disminución de riesgos ante la ocurrencia de eventos naturales de tipo destructivos. Defensa Civil es un organismo constitutivo de la Defensa Nacional, dimensión institucionalizada dentro de la órbita gubernamental que comprende el conjunto de medidas y actividades

no agresivas tendientes a evitar, anular o disminuir los efectos que la guerra, los agentes de la naturaleza o desastres de otro tipo puedan provocar sobre la población y sus bienes, contribuyendo de manera tal al restablecimiento de las condiciones de normalidad de vida en la zona afectada.

El organismo gubernamental municipal posee una gran responsabilidad en los mecanismos que, en mayor medida, aseguran la óptima aplicación de dicha planificación en un nivel territorial local. Algunas de sus funciones son:

- a. Elaborar y mantener actualizado el Plan Operativo de Emergencia para eventos bélicos y desastres naturales, desempeñando la jefatura del Centro de Operaciones de Emergencia Municipal. (COEM)
- b. Se desempeña como secretario de la Junta Municipal de Defensa Civil.
- c. Asesora en materia de Defensa Civil a los organismos de la administración municipal y a autoridades directivas de entidades no estatales relacionadas a la defensa nacional.
- d. Promueve la constitución y el funcionamiento de comités zonales de seguridad.
- e. Asesora y colabora con las autoridades educativas en lo referente a la enseñanza de la Defensa Civil en los establecimientos primarios y secundarios, oficiales y privados.
- f. Coopera con las "entidades auxiliares" de Defensa Civil (Bomberos Voluntarios, Cruz Roja, Radioaficionados y Scouts).
- g. Participa en los proyectos y programas de acción comunitaria que tengan vinculación con la Defensa Civil.

Fundamenta el concepto de normas o procedimientos proactivos (provenientes del organismo referenciado) el hecho de establecer como eje estructurador de las políticas en materia de prevención de riesgos a los procesos educativos, conducentes a la generación de un escenario constituido por una población preparada para actuar adecuadamente ante la ocurrencia de un fenómeno natural, su base es la prevención.

En consideración a la teoría de los sistemas complejos, este organismo se considera un sistema que cumple sus objetivos en la medida que los diversos elementos constitutivos del mismo registren un adecuado funcionamiento, respetando el rol asignado a cada uno de las estructura construida, sistema compuesto por indivi-

duos y sus familias, establecimientos (plantas industriales, edificios comerciales y de oficinas, hoteles, hospitales, escuelas, etc.), las manzanas, barriadas y barrios, las comunas o municipios, las provincias y territorio nacional, el gobierno nacional y sus organismos dependientes. Cada uno de estos actores depende de la actuación del resto para afrontar las emergencias.

Uno de los puntos importantes que se desprenden de la organización de la Defensa Civil es la auto protección colectiva como elemento clave.

Este organismo establece que a diferencia de la autoprotección individual y familiar, todas las comunidades locales o parte de ellas, situadas en zonas con riesgo de desastres, deben organizarse para la protección común y efectuar una metódica acción preventiva para casos de contingencia bélica o calamidad pública originada por agentes naturales o tecnológicos.

Con este postulado queda expuesto que son las comunidades las que deben autogestionarse para la acción en casos de contingencia, es decir que es la comunidad el principal actor.

Es importante destacar que el glosario oficial de este organismo en la provincia de Mendoza, se hace mención a ciertos fenómenos naturales a saber:

**Alud:** Masa de nieve, piedras y barro que se desliza violentamente por la ladera de una montaña. Son frecuentes en verano, causadas por la radiación solar en las altas cumbres.

**Aluvi3n:** Energ3a liberada por el agua al desbordarse de sus cauces naturales. Puede arrastrar gran cantidad de arena y grava que deposita en toda el 3rea abarcada por el fen3meno.

**Inundaci3n:** Volumen de agua no contenida en sus cauces naturales de drenaje (r3os, arroyos, lagos, lagunas o represas) cubriendo grandes superficies de terreno; son generalmente causadas por lluvias excesivas o grandes deshuelos; tambi3n se producen accidentalmente cuando cede un dique o represa.

**Sudestada:** Viento local que sopla sobre el R3o de la Plata desde el cuadrante sudeste y cuyos efectos, si persiste por varios d3as, son inundaciones en la zona ribereña bonaerense.

**Terremoto:** Movimiento s3smico producido en la corteza continental de la Tierra. Frecuentemente origina grietas, hundimiento del terreno y derrumbe de construcciones; el foco real del movimiento generalmente se encuentra entre 5 y 30 kil3metros de profundidad y se llama hipocentro; vertical a 3ste, en la superficie del terreno se localiza el epicentro.

**Tornado:** Viento rotatorio de car3cter tempestuoso que se mueve a grandes velocidades liberando gran cantidad de energ3a (tromba); es de efecto devastador en toda el 3rea abarcada en su recorrido. Se produce cuando en la masa de aire que cubre un 3rea muy limitada baja s3bitamente la presi3n atmosf3rica con relaci3n a las zonas circundantes.

Es importante destacar que no se han tenido en cuenta otros riesgos a los que la provincia de Mendoza est3 expuesta como son la remoci3n en masa y los procesos de licuefacci3n.

## CONCLUSI3N

En consideraci3n a la evoluci3n normativa de la provincia de Mendoza puede identificarse una falencia en el abordaje de marcos jur3dicos asociados a la creaci3n de escenarios preventivos ante la ocurrencia de eventos naturales susceptibles de generar da3o al ambiente, entendido como aquellas relaci3n establecidas entre el soporte f3sico y biol3gico y los grupos sociales con incidencia en la jurisdicci3n provincial. La sanci3n y reglamentaci3n de la nueva ley de Ordenamiento Territorial de Usos de Suelo N3 8051 permite visualizar un escenario superador a las diversas iniciativas que se han registrado en los distintos contextos hist3ricos de la provincia emprendidas por las diversas instituciones con idoneidad en la tem3tica tratada. La planificaci3n estrat3gica que este instrumento normativo contempla establece claras relaciones de responsabilidad entre la 3rbita gubernamental provincial y municipal, l3gica entendida como condici3n sine qua non para garantizar una implementaci3n eficiente y eficaz en materia de planificaci3n territorial.

Se considera necesaria la adecuación de cualquier normativa a las distintas realidades geomorfológicas y edáficas municipales, para ello es necesario el conocimiento exhaustivo de las características intrínsecas del soporte físico, biológico y grupos sociales involucrados en cada jurisdicción municipal.

Como propuesta se sugiere la reglamentación de normativas de carácter preventivas vinculadas a la temática de gestión de riegos naturales, actualización normativa y modificaciones correspondientes de las diferentes normas sometiendo las mismas a las disposiciones establecidas por la leyes provinciales rectoras en materia de ordenamiento ambiental y prevención de riesgos.

Otro aporte podría ser la inserción en todas las normativas de dimensiones asociadas a la formación e información ciudadana a través de una gestión participativa. Finalmente es fundamental la sistematización en todos los niveles gubernamentales con competencia en la temática tratada de todas aquellas normativas con vinculación en la gestión y prevención de riesgos.

## REFERENCIAS

- [1] Rodríguez Salas A . Digesto Ambiental de Mendoza. Ediciones Dike. Foro Cuyo, Mendoza, 2004.
- [2] Gascón Margarita; Fernández Esteban. Terremotos y sismos en la evolución urbana de Hispanoamérica. Ejemplos coloniales y estudio de caso. Mendoza. Argentina. 2001
- [3] Ponte Jorge Ricardo. Mendoza aquella ciudad de barro. Historia de una ciudad andina desde el siglo XVII hasta nuestros días. Mendoza. Municipalidad de la Ciudad de Mendoza. 1987. P. 180-190..
- [4] Abraham, E., Roig, F., Salomón, M., Reina J. y E. Vázquez 2003. Situación del proceso de planificación y gestión del piedemonte al oeste del Gran Mendoza. Mendoza (Argentina). 2º Seminario Internacional: La interdisciplinar en el ordenamiento territorial. Planificación estratégica y medioambiental. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

# Riesgos naturales de origen geológico en la zona metropolitana de Mendoza: zonificación y mapeo. Propuestas de gestión

## RESUMEN

La ciudad de Mendoza y sus zonas circunvecinas se ubican en una de las regiones 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 y 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 problema fundamental estriba en que en Mendoza los incentivos para aplicar políticas proactivas para la reducción del riesgo son en general débiles, pues la escasa y deficiente información sobre las amenazas naturales nubla crónicamente las posibilidades de consenso en el quehacer. Las políticas actuales dan énfasis casi solamente a las actividades de respuesta a emergencias, las cuales gozan de una mayor visibilidad pública que la prevención. Los recursos son limitados y, en muchos casos, la ayuda post-desastre para la reconstrucción, proveniente de fuentes externas; ha actuado como un desincentivo para invertir en la reducción del riesgo.

H.Cisneros (1,2,3),  
J Delamarre (4),  
M.Coria (1),  
J. Torres (1),  
R. Laudecina (1),  
V. Bravo (1),  
E. Silvestrini (1),  
S. López L. (1),

G. Donaire (1),  
Y. Capellozza (1),  
P.Torres (1),  
S. Fermani M. (1),  
M. Castillo (1),  
G. Carbajosa (4),  
D. Monárdez (4).

1- *Secretaría de Investigaciones, Universidad de Congreso, Mendoza, Argentina.*

2- *Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis.*

3- *Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Cuyo.*

4- *Profesional Independiente.*

[cisneros@unsl.edu.ar](mailto:cisneros@unsl.edu.ar)

Se propone entonces, con esta contribución, aportar informes y mapas de riesgo, que permitan mitigar los efectos de los desastres naturales, contribuyendo a la planificación del uso de la región pedemontana y del oasis norte; tratando de minimizar el riesgo natural, preservando el medio ambiente y las obras de infraestructura y mejorando así la calidad de vida de los habitantes y visitantes de la zona.

## Palabras Clave:

Riesgos naturales. Peligros geológicos. Mendoza. Piedemonte. Gestión ambiental.

## MARCO FÍSICO – GEOLÓGICO GENERAL

El Gran Mendoza es un conglomerado urbano integrado por las ciudades departamentales de Capital, Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz, Maipú y Luján. Estas se comportan como una unidad funcional, donde capital es el centro político, administrativo y comercial más importante.

Geomorfológicamente en el área se aprecian tres unidades principales: la región montañosa (que representa los faldeos orientales de la cordillera), el Piedemonte precordillerano y las cerrilladas pedemontanas. Otras subunidades, de menor importancia, contribuyen a la diversificación del paisaje, como son los conos y abanicos aluviales, las depresiones y los cauces. El clima de la región, puede ser descrito como



semiárido a árido, siendo de acuerdo al régimen de temperatura, del tipo mesotermal. Las temperaturas van aumentando de oeste a este, por lo tanto las isotermas tienen una dirección NO – SE [1]. En la primavera, que no alcanza los tres meses, aparte del ascenso térmico, se hacen presentes las primeras tormentas de trueno y relámpagos y comienzan las lluvias y granizo. El verano es la estación más larga del año, es calurosa con tormentas eléctricas (truenos relámpagos), chaparrones, granizo, alternando con fuertes descensos térmicos. El otoño es soleado, tibio, pero puede ser sacudido por heladas prematuras y aún alternar, contradictoriamente, con granizadas, especialmente en marzo. El invierno es un tiempo portador de aire frío y húmedo, con algunas precipitaciones ligeras, especialmente en el piedemonte. Sin embargo se caracteriza por días tibios, despejados y secos a lo cual contribuye eficientemente el viento Zonda, que en las montañas se traduce, generalmente en nevadas. [2]

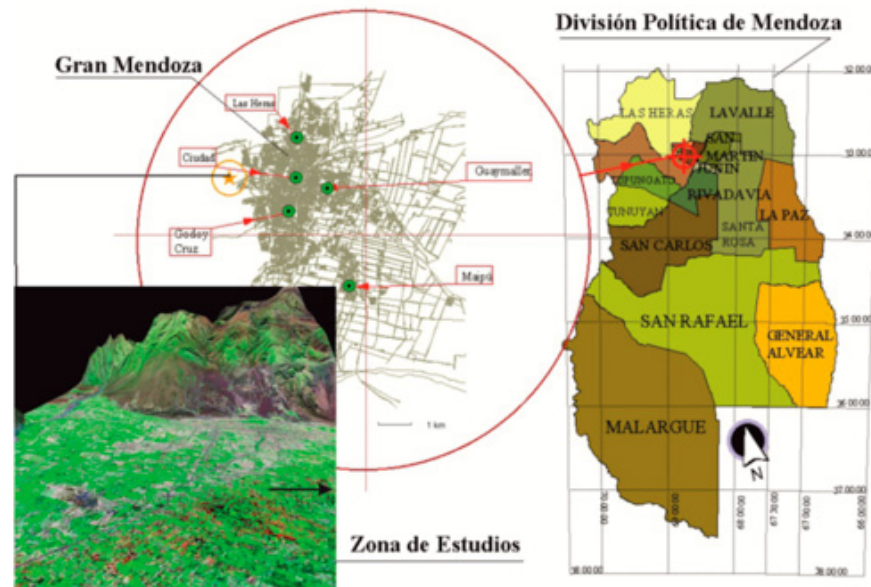


Figura 1: ubicación del área de estudio.

El incremento poblacional del Área Metropolitana en los últimos años determinó modificaciones en la configuración de la superficie urbanizada y en la distribución espacial de la misma. El crecimiento alcanzado y desarrollado hacia las áreas periféricas, sin un orden urbano preestablecido, debido a la falta de planes estructurales que orienten y conformen un tejido urbano ordenado y articulado, ha generado fallencias urbanísticas. Son de destacar:

- La gran extensión del tejido urbano.
- Crecimiento hacia sectores que no cuentan con infraestructura y equipamiento.
- Existencia de importantes huecos urbanos con infraestructura periférica.
- Falta de consolidación y jerarquización del equipamiento estructural.

### CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL

En una primera etapa se efectuó una base de datos integrada a un Sistema de información Geográfico (SIG) que representa por medio de mapas digitales (mediante el uso de un programa informático gratuito específico) la localización espacial de los fenómenos abordados en dichos trabajos en la zona de estudio. La primera etapa consistió en la búsqueda de información disponible sobre seminarios, tesis, proyectos de investigación, trabajos de campo, monografías, trabajos prácticos y demás información relacionada a peligros o amenazas y vulnerabilidad que se producen en el gran Mendoza y áreas circunvecinas, para formar con ella una base de datos que permitiera integrarla a un SIG. Por ello se concurrió a las bibliotecas del medio local y centros de planificación e investigación, para la captación de la misma. Dada la naturaleza geográfica de esta y los fenómenos abordados, resultó muy variada, de modo que fue necesario realizar un filtrado previo a la confección de la base, teniendo en cuenta la componente espacial. Una vez logrado esto, se clasificó la información teniendo en cuenta la temática y fenómenos abordados, de modo de darles la correspondiente ubicación espacial. De esta forma quedaron establecidas dos categorías principales (peligro y vulnerabilidad) y seis subcategorías (aluvional, estructural, sísmico, geológicos, hidrogeológicos y varios), que fueron digitalizadas en una etapa posterior.

Se espera al final del proyecto, incluir toda esta información en un servidor de mapas de acceso público.

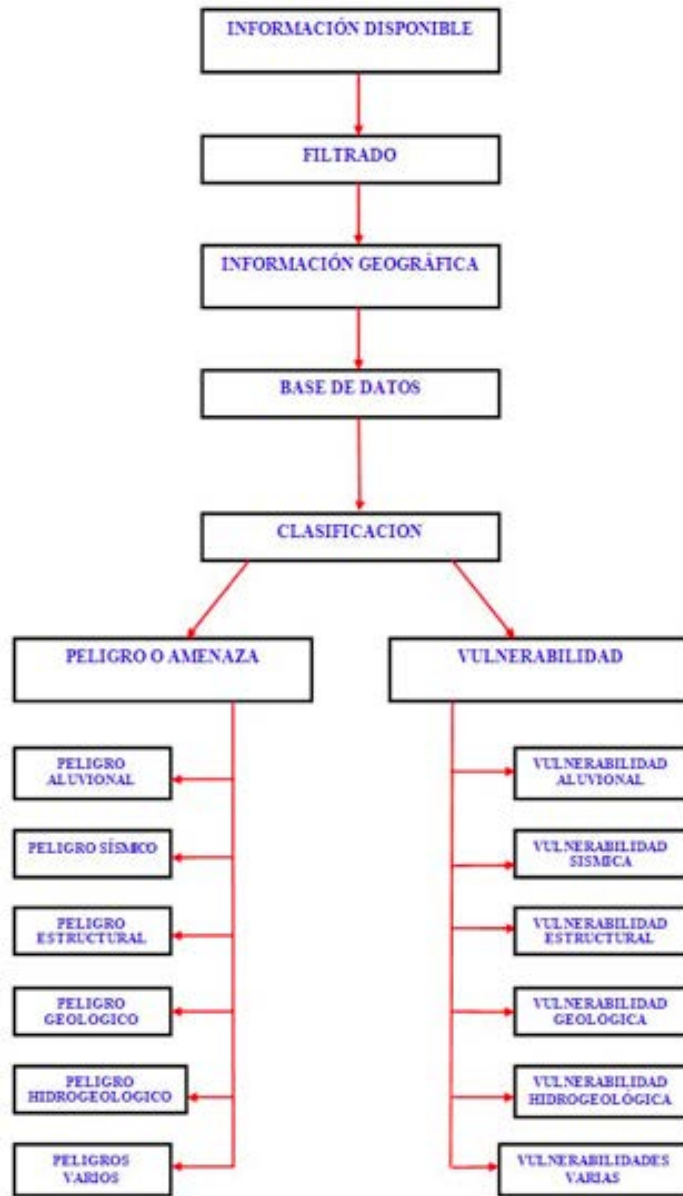


Figura 2: Diagrama de construcción del Sistema de Información Geográfico - Ambiental.

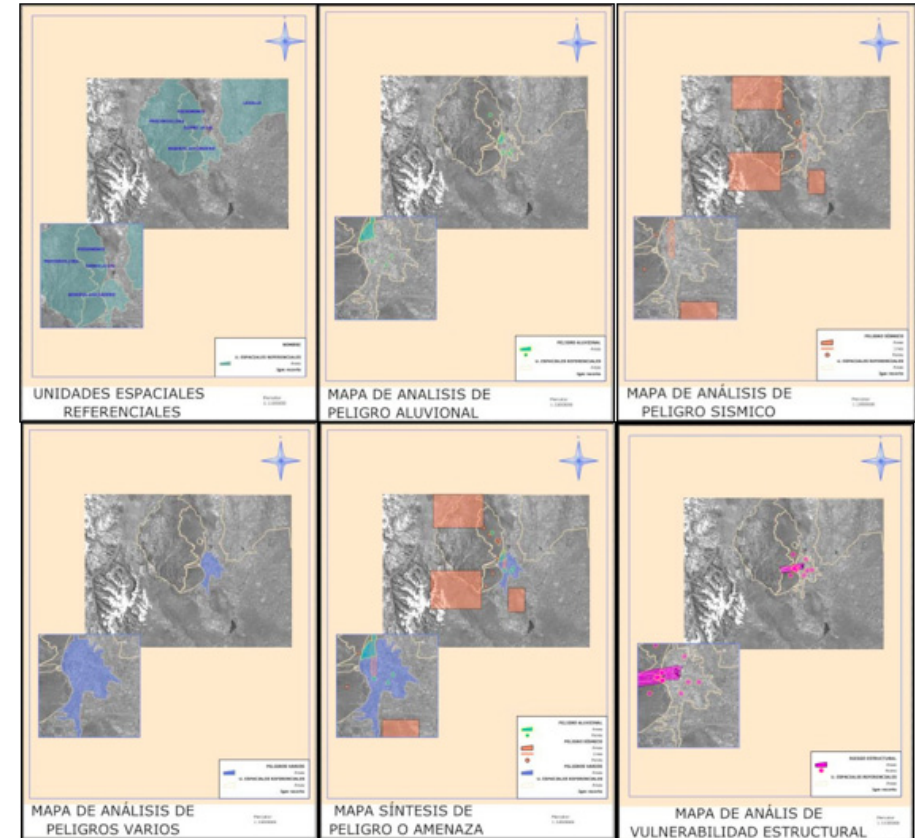


Figura 3: ejemplos de mapas resultantes del SIG GA.

### CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

En líneas generales el sector presenta signos de actividad sísmica histórica, identificados a través de datos históricos que dan cuenta de terremotos de distinta consideración o, más cercano en el tiempo, por registros sismológicos instrumentales. La orogenia Andina es el resultado de la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Esta interacción entre placas está caracterizada por el hundimiento o subducción de una de ellas por debajo de la otra; en este caso la placa oceánica de Nazca, al tener una menor densidad (lecho marino), se introduce por debajo de la placa Sudamericana (corteza terrestre).

Este movimiento colosal involucra una gran liberación de energía, que a lo largo del tiempo ha ido modelando, junto con procesos exógenos de meteorización y erosión, las formas que hoy en día presenta la superficie del terreno.

El sector de análisis se encuentra en los Andes en el segmento central, en la zona de subducción horizontal, caracterizado por una ausencia de vulcanismo que empieza a hacerse notable al sur de los  $33^{\circ}15'$  [3][4]. Este segmento de subducción horizontal entre los  $27^{\circ}$  y los  $33^{\circ}15'$  marca el estilo estructural regional determinando distintas características morfológicas y tectónicas respecto a los segmentos norte y sur, encontrándose en el sector el 80% de las deformaciones cuaternarias identificadas en el país [5].

Las deformaciones recientes aparecen principalmente localizadas al oriente del área de trabajo, en el área pedemontana entre el gran Mendoza y las primeras estribaciones precordilleranas. Estas están caracterizadas como corrimientos con vergencia occidental en algunos sectores [6].

#### **Fuentes generadoras de sismos en la provincia**

El territorio mendocino, de acuerdo a su historia sísmica y a sus rasgos neotectónicos, presenta dos regiones sismotectónicas diferentes: la Provincia Sismotectónica de Precordillera, al norte de la Provincia y la Provincia Sismotectónica Sur.

La norte, con alta actividad sísmica presenta evidencias de desplazamientos holocenos, que se relacionan con los sismos destructivos de 1782, 1861, 1903, 1917, 1920, 1927 y 1985.

En el sur mendocino debe tenerse en cuenta la tectónica del bloque de San Rafael con borde oriental muy activo en tiempos cuaternarios, que indica importantes desplazamientos de tierra laterales producidos en tiempos modernos (Falla Papagayos y Diamante) que tienen relación también con la ubicación de campos volcánicos. La última de sus reactivaciones se produjo el 30 de mayo de 1929, denominado Terremoto de Villa Atuel- Las Malvinas. [7]

#### **Sismicidad histórica**

En la región andina existen muy pocos registros de información sísmica hispánica y prehispánica.

Las primeras referencias acerca de movimientos sísmicos percibidos en la ciudad de Mendoza mencionan temblores que correspondieron a grandes sismos con foco ubicado en territorio chileno como el del 14 de mayo de 1647. La más antigua referencia de daños en Mendoza es el terremoto de Santa Rita del 22 de mayo de 1782 que dejó en ruinas algunos edificios importantes como la Iglesia de San Agustín. [8] Una característica importante de los grandes temblores mendocinos es su área de destrucción localizada y devastadora, potenciada por el tipo de suelos en el que se han fundado las ciudades, que son arenosos y, a escasa profundidad, saturados con agua, lo que favorecen su licuación.

Costa et al, [9] indican que la zona de mayor riesgo sísmico se ubica al norte del paralelo  $34^{\circ}$ , tanto en territorio argentino como chileno. Sin embargo, aquellos sismos generados en estas áreas producirían sacudidas cuyas intensidades podrían afectar seriamente, razón por la cual habría que evaluar su influencia teniendo en cuenta curvas de atenuación sísmica que deberían calcularse para la zona en estudio.

#### **Sismología instrumental**

Actualmente es el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) de San Juan el que provee la información de sismología instrumental, dichos registros permiten corroborar las características sismológicas de la región, pero por su carácter regional y escasa precisión en la localización de eventos no constituye una herramienta valiosa para avanzar en la caracterización del problema, teniendo en cuenta la baja recurrencia de los sismos en el lugar, que superan los periodos de registro local.

#### **PELIGRO ALUVIONAL EN EL OASIS NORTE**

El presente trabajo se confecciona a través de una recopilación de los eventos más importantes relacionados a escorrentías superficiales que han ocurrido en la provincia. Estos fueron identificados en las (Cuencas Papagayos y Divisadero Largo), en el piedemonte mendocino.

Posteriormente se recolectó información in situ de los distintos sectores de la zona de estudio, esta información se volcó en mapas, generando un análisis de la vulnerabilidad, teniendo en cuenta los siguientes aspectos (victimas, localización, milímetros de lluvia, pérdidas materiales, cortes de energía eléctrica, gas, derrumbes, y árboles caídos).

Teniendo la visión general del sector se buscó generar un plan de gestión ante el riesgo, dividiendo el área de estudio en cuatro sectores, buscando mejoras para cada una de ellas, las que tienen las siguientes características:

1. Cuenca Papagayos, se encuentra en el piedemonte, al oeste de la ciudad de Mendoza; esta cuenca comienza en el faldeo de la Precordillera y llega en forma natural hasta el dique de contención de aluviones Papagayos. Históricamente este sector se ha utilizado para la práctica de enduro, generando grandes cárcavas que fomentan la pérdida del suelo.
2. Dique Papagayos hasta Colector Papagayos, se encuentra aguas abajo del citado dique; es un sector en el cual se ha fusionado lo natural con la expansión urbana, asimismo se puede comentar que dicho sector cuenta con el cauce natural, sin que se hayan realizado obras de ingeniería. Dicho sector se encuentra en una zona en la cual se realiza mucho turismo (Cerro de la Gloria, Zoológico) por lo que sería importante poder revalorizarla y producir cambios tanto en lo cultural como así también pequeñas obras de contención del cauce natural con el fin de disminuir la escorrentía del suelo.
3. Colector Papagayos se encuentra realizado en hormigón, posee una extensión de 2,5 Km. Se encuentra al norte de la Universidad Nacional de Cuyo, Hospital Lagomaggiore hasta su desembocadura en el Zanjón de los Ciruelos. A este cauce impermeabilizado se incorporan cantos rodados que aumentan la densidad de los torrentes, generando medidas de contención del cauce natural en el sector superior.
4. Zanjón de Los Ciruelos comienza a la altura de la Calle Boulogne Sur Mer al 3500, hasta su desembocadura en el Canal Caci que Guaymaré, atravesando la Ciudad de Mendoza de Oeste a Este, siendo en gran parte el límite entre los departamentos de Ciudad de Mendoza y Las Heras.

### Modelización y mapeo de cuencas pedemontanas: construcción de escenarios posibles para el peligro aluvional

Sobre un sector de la cuenca del río San Isidro se llevó a cabo la realización de un mapa de detalle con GPS Cinemático, a fin de otorgarle al estudio pertinente un carácter detallado de las condiciones bajo las cuales se encuentra sujeta dicha cuenca cada vez que se activa para soportar fenómenos de Debris Flood [10]. Los resultados de este estudio concluyeron que el volumen neto de encauzamiento del dique se corresponde con  $0,298 \text{ Hm}^3$  sobre una superficie areal positiva de  $14,147 \text{ Km}^2$  cuya área plana total de relevamiento fue de  $27,120 \text{ Km}^2$ . Estos datos aportaron la información acerca de cuanto volumen de material es capaz de soportar este dique de contención de excedentes fluviales. Situación que se ve superada en más de una vez como lo planteado en la Figura 4. En la Figura 5 puede visualizarse con detalle los datos obtenidos de esta medición, dándole al trabajo un carácter de detalle en el análisis de eventos naturales pseudo-controlados.



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



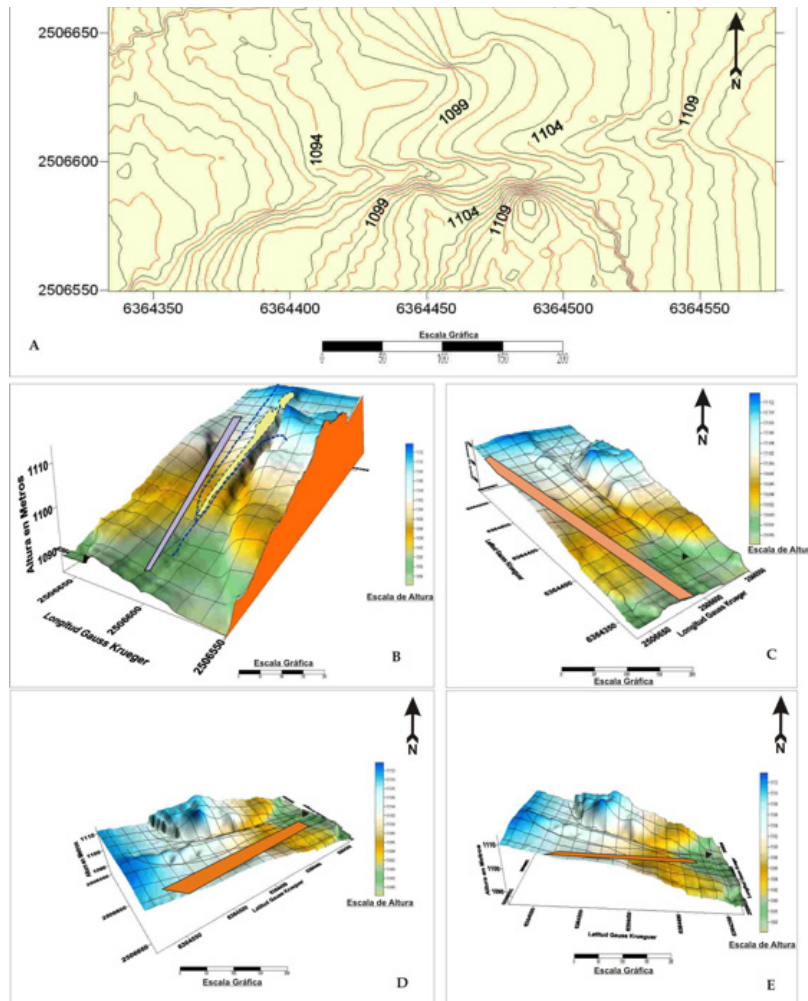


Figura 5: Mapas obtenidos con un programa de mapeo. En la imagen A puede observarse el mapa topográfico con orientación y escala correspondiente. En las imágenes B, C, D, E puede observarse el mapa tridimensional correspondiente al área relevada. Cada uno de ellos muestra una visión en perspectiva desde distintos puntos de vista, presentando elementos tales como latitud, longitud, escala gráfica y de altura. Además en color naranja y violeta se ha graficado el paredón del dique Presa San Isidro, en líneas negras punteadas se grafica el cauce del río San Isidro.

## ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL SÍSMICA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA GESTIÓN

### Características de las Construcciones

- Construcciones sin previsiones sismorresistentes: Esta clasificación incluye principalmente a las viviendas de adobe y las construcciones mixtas de adobe y ladrillo, como así también a las viviendas construidas con mampostería de ladrillo macizo sin vinculaciones de hormigón armado. Según un informe del INPRES antes del sismo de 1.985, en el Gran Mendoza, de un total de 125.064 viviendas, 78.654 eran de mampostería de material, 23.206 de adobe y 23.204 mixtas. Durante este sismo, fue posible notar que el comportamiento de este tipo de construcciones fue malo. Además, si se tiene en cuenta la escasa duración del sismo (tres segundos), los daños producidos fueron elevados, poniendo en evidencia la ineficiencia de estas construcciones. Sin embargo, de acuerdo a datos proporcionados por el INPRES, muchas de las viviendas de adobe del Gran Mendoza presentan un nivel de terminación superior al de las construcciones halladas en otras provincias (como por ejemplo San Juan). El colapso parcial del Hospital del Carmen, indica la necesidad de que edificios con destinos especiales tengan suficiente protección sismorresistente.
- Construcciones sismorresistentes: Se refiere a las construcciones ejecutadas de acuerdo a reglamentaciones específicas. El Código de Construcción Antisísmica (C.C.A.) que entró en vigencia en 1970, se considera el primer conjunto integral de prescripciones sismorresistentes de la provincia. Con anterioridad a esa fecha, se establecían reglamentaciones mediante ordenanzas, como por ejemplo: Ordenanza 1.101 del 26-08-1927, la cual fue modificada y ampliada por la Ordenanza 3.824 del 25-08-1944 [11] El reglamento INPRES-CIRSOC 103, desarrollado por el INPRES tiene vigencia en toda obra pública nacional. Su primera versión se puso en vigencia en el año 1.983 y tuvo su primera actualización en 1.991. La mayoría de las provincias han adoptado este reglamento y en el caso de San Juan, dicha normativa se encuentra vigente en todo el ámbito provincial, para las obras públicas y privadas. Según encuestas realizadas por el INPRES, Godoy Cruz es el departamento que tiene mayor porcentaje de construcciones sismorresistentes (71%), mientras que Guaymallén y Maipú son los que tienen el menor porcentaje.



DEPARTAMENTO	CONSTR. SISMORRESISTENTES		CONSTR. NO SISMORRESISTENTES		TOTAL
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	
CAPITAL	1015	65%	545	35%	1560
LAS HERAS	838	62%	516	38%	1354
GUAYMALLÉN	1399	57%	1036	43%	2435
GODOY CRUZ	1522	71%	618	29%	2140
LUJÁN	389	67%	191	33%	580
MAIPU	444	57%	332	43%	776

Cuadro N° 1: Categorización de las construcciones. FUENTE: Microzonificación del Gran Mendoza, [11]

### Plan de Gestión de Riesgo Sísmico

Considerando lo expuesto anteriormente, se determina la necesidad imperiosa de implementar un Plan de Gestión de Riesgo Sísmico tendiente a minimizar los impactos ocasionados por los sismos, ya que los datos de los eventos producidos en esta región permiten observar que han ocurrido fuertes terremotos, cuyos niveles de destrucción han variado de acuerdo a la magnitud del evento, la proximidad de los centros poblados y las características de las construcciones.

Para la realización del Plan de Gestión, se debe tener en cuenta las dificultades económicas por las que está atravesando actualmente el país, la escasez de recursos necesarios para realizar las obras y cambios proyectados, los problemas relacionadas con la insuficiente voluntad política para implementar medidas preventivas, que logren evitar o minimizar la pérdida de vidas humanas ante la ocurrencia de un evento sísmico.

Dichos factores se analizaron con el fin de realizar una propuesta que sea viable desde el punto de vista económico, social y ambiental, para poder establecer propuestas que sean de fácil concreción y posibles de ejecutar. Las medidas a adoptar, se pueden clasificar en:

#### Medidas de corto plazo

En esta etapa, las medidas para minimizar la vulnerabilidad sísmica son básicamente no estructurales, ya que en primer lugar, es necesario conocer cuáles son las zonas más expuestas, capacitar a la población, elaborar planes de seguridad, etc. Por lo tanto, a corto plazo las medidas serían:

- Capacitación de la población con el objetivo que cada persona conozca ( de acuerdo a su actividad) sus obligaciones antes, durante, y después de un sismo destructivo y concientizar sobre el peligro de vivir en una zona sísmica;
- Elaborar planes de seguridad y contingencia para establecer la metodología que se adoptará para realizar la evacuación de edificios públicos y determinar cuáles son las zonas de seguridad donde debe concentrarse la población durante el siniestro;
- Realizar simulacros para poner en práctica las medidas anteriormente definidas;
- Organizar los recursos necesarios en caso de emergencia;
- Disponer de lugares físicos para albergar a la población cuya vivienda ha sido destruida o dañada severamente;
- Iniciar estudios de microzonificación sísmica;
- Identificar las zonas más vulnerables;
- Integrar el concepto de riesgo sísmico en las proyecciones y planificaciones de crecimiento de la ciudad;
- Revisar el código de edificación y la normativa relacionada;
- Realizar inspecciones anuales in-situ, poniendo especial atención a aquellas construcciones que posean habilitaciones precarias, clausurando en los casos que se considere necesario, para elaborar una base de datos actualizada del estado de las construcciones, y las actividades que se llevan a cabo en ellas.

#### Medidas de mediano plazo

Con las medidas a mediano plazo, se pretende mejorar la seguridad de las construcciones más vulnerables en las que la afluencia de personas es elevada y el estado del edificio es regular, constituyendo un riesgo significativo. Por lo tanto las acciones a implementar son:

- Realizar refuerzos en fundaciones, columnas y vigas, es decir refacciones y reparaciones que permitan mejorar la seguridad de las construcciones, hasta que se proyecten y ejecuten las obras de construcción de edificios nuevos de acuerdo al código de construcción vigente;
- Mejorar las salidas de emergencia.

### **Medidas de largo plazo**

En esta etapa, se debe realizar una planificación y proyección del crecimiento de la ciudad. Es necesario ampliar el microcentro, creando ejes de desarrollo económico en las zonas periurbanas y de esta manera, descongestionar el microcentro.

### **MARCO NORMATIVO ASOCIADO A LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS NATURALES DE ORIGEN GEOLÓGICO CON INCIDENCIA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA**

La realidad geomorfológica y climática de la provincia de Mendoza construye un escenario que configura al territorio como una región caracterizada por la presencia de diversos riesgos naturales. En este contexto la ineficiente aplicabilidad de un marco jurídico direccionado a la prevención y respuesta por parte de la órbita gubernamental incrementa dicho riesgo.

Se considera prudente establecer claramente cuál ha sido el criterio de clasificación para el análisis de marcos jurídicos asociados, estableciendo un eje divisorio de la legislación relacionado a la gestión de riesgos ambientales en dos grupos, leyes proactivas y leyes reactivas. En el primer grupo se encuentran las leyes que establecen objetivos o fines para la prevención del riesgo ambiental partiendo del reconocimiento de las características de los ecosistemas, de la presencia de factores condicionantes y factores detonantes de modo preventivo. Mientras que en el segundo grupo se establece la legislación que se da como una respuesta directa a la ocurrencia a catástrofes o eventos susceptibles de provocar daño a la población, es decir que se dictan a modo de reacción. En consideración a lo expuesto se realizó una recopilación de la legislación vigente y posteriormente se procedió a determinar los vacíos legales y sus posibles causas.

En consideración a la evolución normativa de la provincia de Mendoza puede identificarse una falencia en el abordaje de marcos jurídicos asociados a la creación de escenarios preventivos ante la ocurrencia de eventos naturales susceptibles de generar daño al ambiente, entendido como aquellas relación establecidas entre el soporte físico y biológico y los grupos sociales con incidencia en la jurisdicción provincial. La sanción y reglamentación de la nueva ley de Ordenamiento Territorial de Usos de Suelo N° 8051 permite visualizar un escenario superador a las diversas iniciativas que se han registrado en los distintos contextos históricos de la provin-

cia emprendidas por las diversas instituciones con idoneidad en la temática tratada. La planificación estratégica que este instrumento normativo contempla establece claras relaciones de responsabilidad entre la órbita gubernamental provincial y municipal, lógica entendida como condición sine qua non para garantizar una implementación eficiente y eficaz en materia de planificación territorial.

Se considera necesaria la adecuación de cualquier normativa a las distintas realidades geomorfológicas y edáficas municipales, para ello es necesario el conocimiento exhaustivo de las características intrínsecas del soporte físico, biológico y grupos sociales involucrados en cada jurisdicción municipal.

### **CONCLUSIONES**

Se muestra en esta contribución un detalle de lo realizado hasta el momento por el proyecto bianual "Evaluación, Zonificación y Elaboración de Propuestas de Mitigación de los Riesgos Naturales en el área metropolitana de la ciudad de Mendoza" acreditado por la Universidad de Congreso, con el cual se pretende culminar con un sistema de mapas en el que se expongan jerárquicamente los procesos naturales potencialmente destructivos.

En el área en estudio confluyen diversos procesos naturales peligrosos, que pueden ser identificados, a los efectos de mitigar sus efectos nocivos. En encuestas realizadas con motivo de éste trabajo, a las distintas uniones vecinales, se observó que, si bien la población sabe de los riesgos que enfrentan las áreas en las que viven, no saben cómo cuantificarlos o cuál es la mejor manera para mitigarlos.

Con este trabajo, y gracias a la evaluación cuali – cuantitativa obtenida a partir del SIG realizado, se logró identificar las áreas problemáticas en cuanto a la suma de factores naturales y antrópicos y permitió categorizar los potenciales eventos. La evaluación de ésta información permitirá a la población y autoridades tomar conciencia sobre el tema.

Esto resulta en el diseño de planes destinados a informar, prevenir, mitigar y remediar las posibles consecuencias derivadas de la ocurrencia de procesos naturales, de actuación periódica y recurrente en el sector.

En lo que hace al trabajo transdisciplinario, como es el caso de la conformación de integrantes de este proyecto, los ámbitos de coordinación, más allá de los organigramas existentes mostraron altos niveles de eficiencia como ámbitos de gestión de acciones de recuperación. Esto genera un clima propicio a los distintos ámbitos involucrados en la temática para intercambiar, generar experiencia e indagar opciones aplicables a otras ciudades de escala y contextos similares.

Se espera en un futuro contar con apoyo interinstitucional fundamentalmente gubernamental a los efectos de coordinar acciones que surjan de los estudios aquí presentados, para multiplicar acciones y generar ámbitos de discusión de posibilidades escenarios ante la acción de procesos naturales potencialmente destructivos que puedan llegar a tener lugar en la zona del gran Mendoza.

## REFERENCIAS

- [1] Dirección General de Investigación y Desarrollo. 1988. Estudio de cuencas aluvionales. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Mendoza. (5 tomos)
- [2] Capitanelli, R. G. 1972. Geomorfología y clima de la provincia de Mendoza. En Geología, geomorfología, climatología y zoogeografía de la provincia de Mendoza. Instituto de Investigaciones de las zonas áridas y semiáridas.. Volumen 13:15-36. Mendoza.
- [3] Stauder, W, 1973. Mechanism and spatial distribution of Chilean earthquakes with relation to subduction of the oceanic plate. Journal of Geophysical Research, 78: 5033-5061.
- [4] Barazangi, M., Y B. L. Isacks, 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Naza plate beneath South America. Geology 4:606-692, Boulder
- [5] Costa, C., 2000. Quaternary deformation at the central Andes Orogenic Front and Foreland regions of Argentina. Proceedings of the Hokudan International Symposium on Active Faulting, p. 59-64, Japan.
- [6] Milana J. y Zambrano, J. (1996) La Cerrillada Pedemontana Mendocina: Un sistema geológico retrocorrido en vías de desarrollo. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 51: 289-303.
- [7] Cisneros, H., 1993: Geología del borde oriental del Bloque de San Rafael, entre el Cerro Morado Norte y el río seco Los Toldos, con especial consideración en la Tectónica Activa. Trabajo Final de Licenciatura (inédito). Universidad Nacional de San Juan. 200 pp. San Juan.
- [8] Fernández, E, 1985 "RIESGO SÍSMICO una propuesta para la toma de conciencia" Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas Mendoza.
- [9] Costa, C; Cisneros, H, Bea, S; Gardini, C; Perez, M y Perez, I, 2002. Peligrosidad sísmica de Mendoza. En carta de peligrosidad 3369 II – Mendoza – SEGEMAR Ed.
- [10] Hungr, O.; Evans, S. G.; Bovis M. y Hutchinson, J. N. Review of the classification of landslides of the flow type. Environmental and Engineering Geosciences, 2001, VII, 221-238
- [11] Instituto Nacional de prevención Sísmica (INPRES), 1995. Microzonificación sísmica del Gran Mendoza. San Juan

# Variabilidad espacial y estacional de la temperatura de superficie en el Valle del Río Neuquén utilizando imágenes Landsat

**M.G. Cogliati (1)**

1- *Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue. Av. Argentina 1400. Neuquén, Argentina.*

[marisacogliati@gmail.com](mailto:marisacogliati@gmail.com)

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis de la variabilidad estacional de la temperatura de superficie a partir del canal térmico de imágenes LANDSAT 7 ETM+ para escenas que comprenden una zona ubicada en el valle productivo del río Neuquén.

Las imágenes Landsat 7 brindan información con 60 m de resolución, lo que hace el análisis atractivo desde el punto de vista topo meteorológico, sin embargo, para el cálculo de la temperatura de superficie debe contarse con datos meteorológicos, como el contenido de vapor de agua atmosférico y la temperatura media del aire cercano a la superficie, simultáneos al pasaje del satélite. En este trabajo se utilizó la herramienta Atmospheric Correction Parameter Calculator, disponible online, para el cálculo de la corrección atmosférica.

La distribución espacial de la temperatura de superficie muestra concordancia con la variabilidad espacial de la topografía.

Los patrones de temperatura efectiva a partir del análisis de imágenes LANDSAT presentan un área ribereña que puede ser delimitada como un área con menor temperatura en verano. En verano la diferencia de temperatura entre las zonas más bajas y las ubicadas en la meseta es mucho mayor, siendo la diferencia de temperatura 29.6 grados. Para temperaturas menores a 300 K y alturas menores a 299.0 m la variabilidad de temperatura es marcada fluctuando entre 322 K y 296 K, mientras que en las zonas elevadas la variabilidad es aproximadamente 10 grados.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analiza la distribución espacial de la temperatura de superficie en la zona del valle inferior del río Neuquén a partir de las imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+.

Para el cálculo de la corrección atmosférica, se utilizó el modelo MODTRAN 4<sup>1</sup> que calcula la transmisividad atmosférica y radiancia hacia arriba y abajo utilizando datos de reanálisis (NCEP<sup>2</sup>). Las imágenes Landsat 7 brindan información en la banda térmica con 60 m de resolución, lo que hace el análisis atractivo desde el punto de vista topo meteorológico, sin embargo, para el cálculo de la temperatura de superficie debe contarse con datos meteorológicos, como el contenido de vapor de agua atmosférico y la temperatura media del aire cercano a la superficie, simultáneos al pasaje del satélite utilizando los datos obtenidos por MODTRAN a partir de datos de reanálisis para el cálculo de transmisividad y perfiles de variables meteorológicas del área en estudio. La distribución espacial de la temperatura de superficie muestra concordancia con la variabilidad espacial de la topografía.

## MÉTODOS

### Área de estudio

El área en estudio se encuentra comprendida entre los 38.7° S 67.9° W y 38.9° S y 68.2° W y comprende el valle inferior del río Neuquén, este valle, se extiende en la dirección NW-SE transversal a la dirección preferencial de los vientos predominan-

1 <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

2 *National Centers of environmental Prediction*

tes en la zona. La Figura 1 presenta la ubicación de la región, y las líneas de nivel obtenidas a partir de un modelo de elevación digital del terreno (SRTM). El valle es una zona irrigada con producción frutícola inserta en la meseta. El área en estudio tiene una longitud de aproximadamente 31 km y un ancho de 7 km, la diferencia media de altura entre el valle y la meseta en la zona central es superior a 40 m y desciende hacia el sur con fuertes variaciones entre el sector este y el oeste. El suelo del valle está cubierto principalmente por árboles frutales. La pendiente transversal del valle es de 2 % y la pendiente longitudinal es de 0.15 % (ver Figura 1).

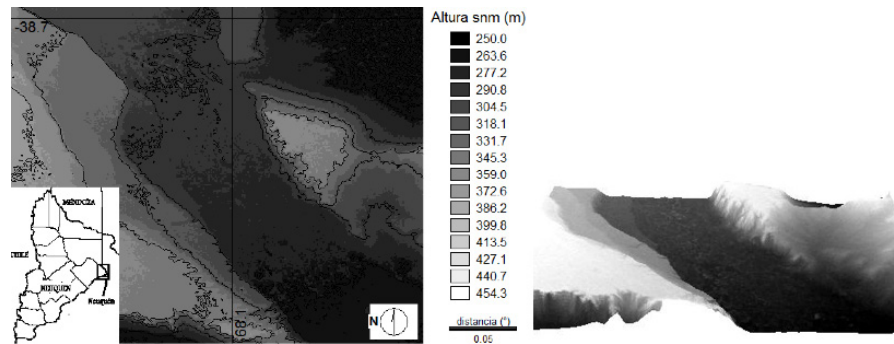


Figura 1: Ubicación y altura sobre el nivel del mar (snm) del área en estudio, cortesía del USGS (United States Geological Survey). Descripción tridimensional del área (derecha).

La meseta está cubierta en su mayor parte por vegetación baja (alturas menores a 3 m), ubicada en forma muy dispersa dejando grandes superficies de suelo desnudo.

### Datos

En este trabajo se analizaron imágenes LANDSAT 7 ETM+ <sup>3</sup> (path 230/row 087) adquiridas en las fechas que se presentan en la Tabla 1, Las imágenes fueron cortesía del USGS <sup>4</sup>.

Los datos LANDSAT están disponibles a través del Proyecto LANDSAT vía internet previamente procesadas (proceso L1T <sup>5</sup>). La información fue adquirida en formato

GeoTiff en proyección UTM <sup>6</sup> con datos WGS84 <sup>7</sup> [1]. El nivel de proceso L1T incluye corrección radiométrica, corrección geométrica sistemática y corrección de precisión utilizando puntos de control en superficie y un modelo de elevación digital para corregir el paralaje debido a la topografía.

El error de geolocalización en L1T es similar al error del modelo de elevación digital utilizado en este caso 90 m. Las imágenes fueron seleccionadas durante días donde no se detectaba nubosidad sobre el área en estudio (ver Tabla I) de los meses de invierno y verano.

<b>invierno</b>	<b>Hora UTC</b>	<b>Análisis</b>
<b>06/05/2003</b>	<b>14:05</b>	<b>L1T</b>
<b>01/06/2001</b>	<b>14:06</b>	<b>L1T</b>
<b>16/7/2000</b>	<b>14:08</b>	<b>L1T</b>
<b>verano</b>		
<b>14/01/2003</b>	<b>14:05</b>	<b>L1T</b>
<b>22/1/2000</b>	<b>14:09</b>	<b>L1T</b>
<b>23/12/2000</b>	<b>14:07</b>	<b>L1T</b>

Tabla 1: Fecha y tipo de análisis de las imágenes LANDSAT7 ETM+ utilizadas en el análisis (Cortesía del USGS, Global visualization Viewer).

3 Enhanced Thematic Mapper Plus

4 United States Geological Survey. (<http://glovis.usgs.gov/>).

5 Level 1 terrain corrected data.

6 Universal Transverse Mercator.

7 World Geodetic System 1984.



### Temperatura de superficie

Los satélites Landsat no proporcionan la temperatura de superficie en forma operativa debido a las limitaciones que surgen al tener una sola banda en el espectro térmico para realizar las correcciones por efectos atmosféricos y de emisividad.

Para obtener la temperatura de superficie a partir de la radiancia de satélite se necesitan los perfiles atmosféricos de temperatura y vapor de agua en el momento del pasaje del satélite. En este trabajo se utilizó una herramienta operativa de corrección atmosférica<sup>8</sup> que permite calcular la temperatura de superficie con un sesgo menor a  $0.5 \pm 0.8K$  [3] disponible en línea. La herramienta provee un método simple para el cálculo de la transmitancia atmosférica y la radiancia entrante y saliente. Barsi y otros [2] estiman que los valores de temperatura de superficie pueden ser estimados con un error de  $\pm 2K$  donde se conoce la emisividad y la atmósfera es relativamente clara. La radiancia se calculó según ecuación (1):

$$L_s = L_{\min} + \left( \frac{D_n}{D_{n\max}} * (L_{\max} - L_{\min}) \right)$$

*Ecuación 1*

donde  $L_s$  es la radiancia espectral en la banda térmica ( $W/(m^2 \text{ ster } \mu m)$ ) [3]. Los valores de  $L_{\max}$  y  $L_{\min}$  se obtuvieron del archivo de cabecera de las imágenes y en la banda 6, dichos valores son:  $L_{\max} = 17.040$ ,  $L_{\min} = 0.00$ . Por otro lado la temperatura de brillo al tope de la atmósfera [4] es:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_s + 1)}$$

*Ecuación 2*

donde  $T_s$  es la temperatura efectiva del satélite (temperatura de brillo) ( $^{\circ}K$ ) y  $K_1$  y  $K_2$  son constantes de calibración de pre lanzamiento (para Landsat 7 ETM+,  $K_1 = 666.09 W/(m^2 \text{ sr } mm)$  y  $K_2 = 1282.71 K$  [3]).

La señal emitida por un objeto en el suelo es igualmente atenuada y aumentada por la atmósfera por lo que debe considerarse en la estimación de la transmitancia y de la radiancia hacia arriba y hacia abajo. Una vez que se conocen esos valores se puede convertir la radiancia medida en el espacio a la radiancia que es emitida en la superficie [5]:

$$L_{TOA} = \tau \epsilon L T + L_u + \tau (1 - \epsilon) L_d \quad (1)$$

*Ecuación 3*

Donde  $\tau$  es la transmisividad atmosférica;  $\epsilon$  es la emisividad de la superficie;  $LT$  ( $W/m^2/sr/\mu m$ ) es la radiancia de cuerpo negro del emisor a una temperatura  $T$  ( $K$ ),  $L_u$  ( $W/m^2/sr/\mu m$ ) es la radiancia hacia arriba (del camino atmosférico) y  $L_d$  ( $W/m^2/sr/\mu m$ ) es la radiancia hacia abajo (del cielo) y  $L_{TOA}$  ( $W/m^2/sr/\mu m$ ) es la radiancia que llega al espacio y es medida por el instrumento.

La transmisividad atmosférica fue calculada utilizando el modelo MODTRAN y los valores son detallados en la Tabla II.

<b>invierno</b>	<b><math>\tau</math></b>	<b><math>L \uparrow</math></b>	<b><math>L \downarrow</math></b>
16/7/2000	0.84	0.93	1.54
01/06/2001	0.90	0.60	1.01
06/05/2003	0.90	0.77	1.30
<b>verano</b>			
23/12/2000	0.94	0.45	0.78
22/01/2000	0.92	0.56	0.95
14/01/2003	0.74	1.86	3.00

Tabla II: Transmisividad atmosférica ( $\tau$ ),  $L \uparrow$  y  $L \downarrow$  ( $W/m^2/sr/\mu m$ ), calculadas utilizando MODTRAN [2].

8 <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>; (Barsi y otros 2005).

Los valores de emisividad ( $\epsilon$ ) fueron calculados en relación con el índice de vegetación normalizado (NDVI <sup>9</sup>) de acuerdo con las relaciones establecidas por Van De Griend y Owe [6] según ecuación (4), para rangos de NDVI entre 0.157 y 0.727.

$$\epsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(\text{NDVI})$$

Ecuación 4

El NDVI se calculó a partir de la reflectancia de los canales 3 y 4 de las imágenes LANDSAT según ecuación (5).

$$\text{NDVI} = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)}$$

Ecuación 5

Donde  $\rho$  es la reflectancia para cada banda calculada según [3] ecuación (6):

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos\theta}$$

Ecuación 6

Donde  $L_\lambda$  es la radiancia espectral en el satélite  $d$  es la distancia la sol <sup>10</sup>,  $ESUN_\lambda$  es la irradiancia exoatmosférica para cada banda  $\lambda$ (para LANDSAT 7, Banda 1:1969 W/m<sup>2</sup>/μm, banda 2: 1840W/m<sup>2</sup>/μm LANDSAT, 2002) y el  $\cos \theta$  es el coseno del ángulo solar incidente. Los cálculos se efectuaron utilizando un sistema de información geográfico (SIG).

Si el valor de NDVI se encuentra en el rango (0.157–0.727), se estimó la emisividad según la Tabla III [6].

NDVI	$\epsilon$
-1.00	0.985
(-1.00, -0.18)	0.965
(-0.18, 0.157)	0.955
(0.727, 1.00]	0.99

Tabla II: valores de emisividad en función del NDVI [5] para intervalos no incluidos en (4).

9 Índice de Vegetación en Diferencias Normalizadas.  
 10 <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>

La Figura 2 presenta la emisividad media considerada para el área estudiada en las escenas seleccionadas, estimada en función del NDVI considerando (4) y Tabla II.

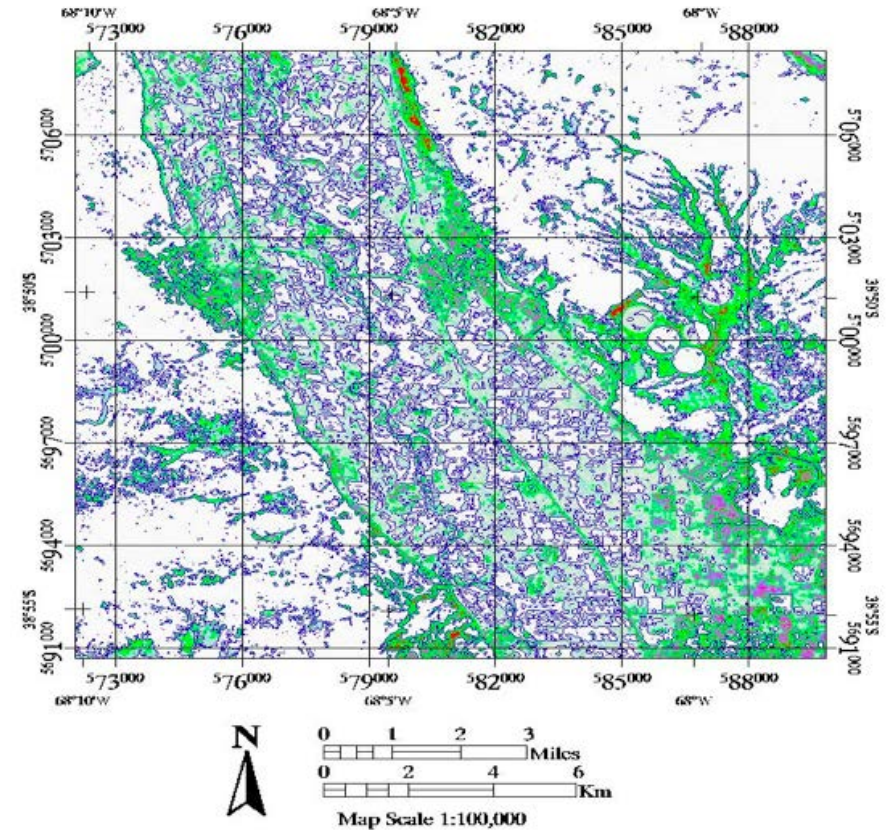


Figura 2: Emisividad media para la zona estudiada, estimada a partir del NDVI, según ecuación (4) y Tabla II.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los promedios de las escenas obtenidas en verano e invierno, permite detectar diferencias de comportamiento en la distribución areal de la temperatura. La Figura 3 presenta una clasificación del área teniendo en cuenta las mayores diferencias entre una y otra estación, las áreas en zonas urbanas y sobre la meseta, donde la vegetación es dispersa y poco desarrollada, son las que mayor variación presentan desde el punto de vista de la temperatura de la superficie a la hora de pasaje del satélite. (14:00 UTC), siendo las áreas aledañas al río Neuquén las que presentan menores diferencias.

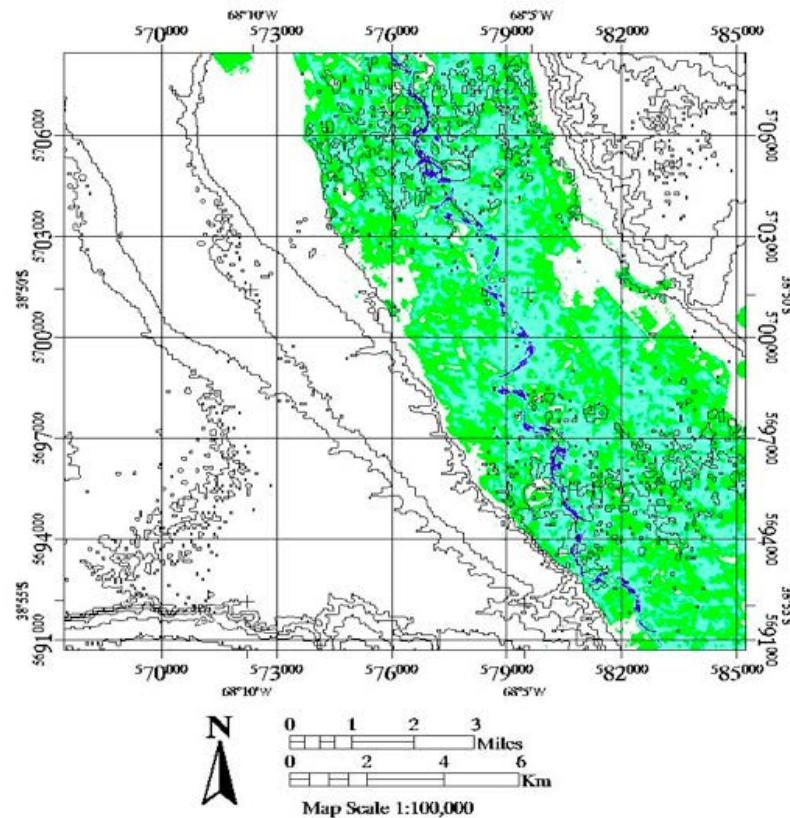


Figura 3: Zonas con mayores diferencias de temperatura entre invierno y verano. Mayores diferencias áreas en color blanco y menores diferencias áreas azules.

	Tmín (K)	Tmáx (K)	Tmedia (K)	Desv. Std (K)
<b>Verano</b>	295.3	329.5	313.9	6.6
<b>Invierno</b>	271.2	292.8	283.9	1.32

Tabla IV: valores de  $T_{mín}$ ,  $T_{máx}$ ,  $T_{media}$  y desviación estándar de la temperatura de superficie media estacional en escenas de invierno y verano.

La temperatura de superficie media mínima presenta una variación de 24.1°C, mientras que la temperatura de superficie media máxima 36.7°C y la temperatura de superficie media 30 °C. La desviación estándar es mucho menor en invierno (ver Tabla VI).

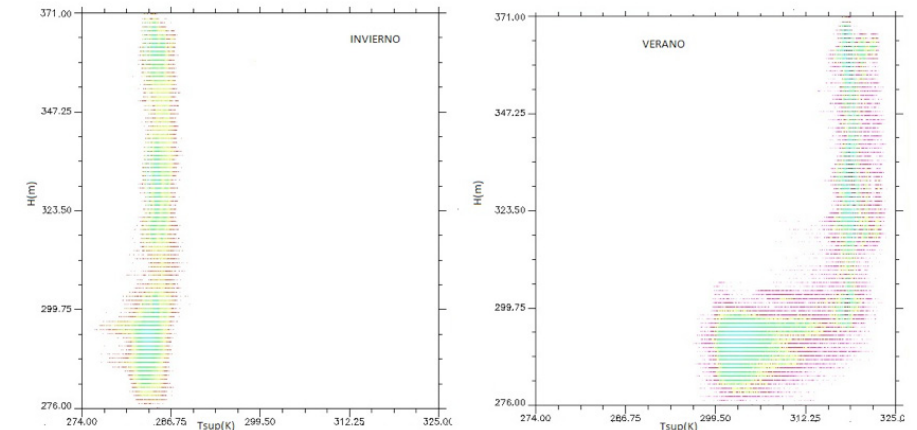


Figura 4: Gráfico de dispersión entre la temperatura de superficie media en invierno y verano de las escenas detalladas en la Tabla II (color celeste y verde mayor frecuencia de puntos).

La Figura 4 presenta Gráfico de dispersión entre la temperatura de superficie media en invierno y verano y la altura del terreno sobre el nivel del mar. Se presenta una marcada correlación entre las temperaturas más bajas en invierno en zonas con alturas cercanas a 296.0 m mientras, el rango de temperaturas en invierno fue de 14.0 grados en un desnivel máximo de 95 m. La dispersión es similar para todas las alturas, mostrando un máximo relativo alrededor de los 290 m.

En verano la diferencia de temperatura entre las zonas más bajas y las ubicadas en la meseta es mucho mayor, siendo la diferencia de temperatura 29.6 grados. Para tem-

peraturas menores a 300 K y alturas menores a 299.0 m la variabilidad de temperatura es marcada fluctuando entre 322 K y 296 K, mientras que en las zonas elevadas la variabilidad es aproximadamente 10 grados, pero la temperatura de la superficie es mayor a 312 K.

De acuerdo con lo analizado anteriormente la distribución de frecuencias porcentuales de la temperatura de superficie en invierno, presenta un solo máximo alrededor de 286 K (12°C), mientras que en verano se presenta un máximo cercano alrededor de 302 K y otro cerca de 318K que puede asociarse a las zonas de valle irrigado y meseta respectivamente como se muestra en Figura 4.

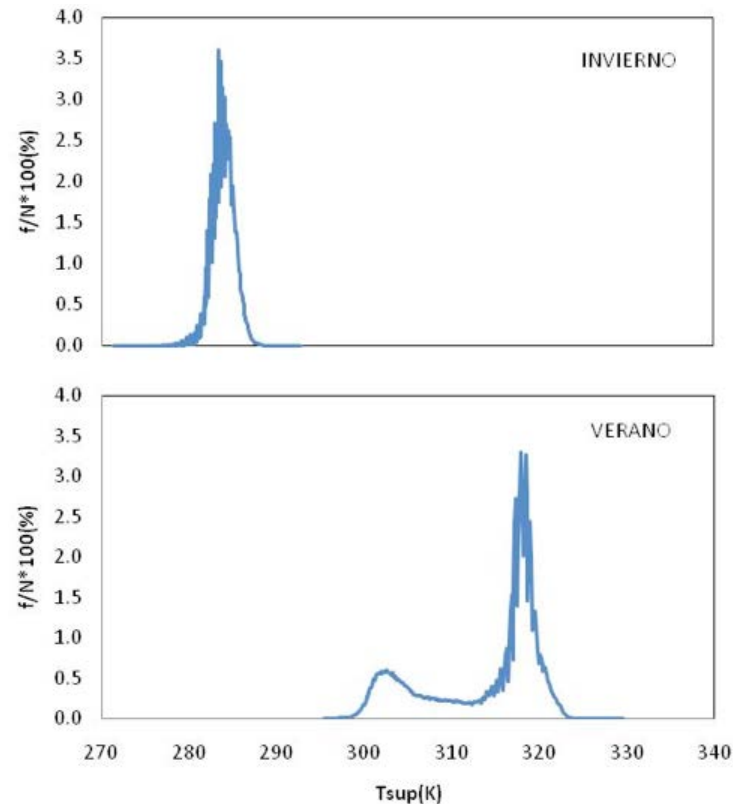


Figura 5: Distribución de frecuencias de temperatura de superficie en invierno (arriba) y en verano (abajo)

## CONCLUSIONES

Del análisis puede mencionarse que a la hora de pasada del satélite LANDSAT, la temperatura de superficie en escenas analizadas presenta comportamiento diferente en promedio en invierno y en verano.

La utilización de la herramienta Atmospheric Correction Parameter Calculator, disponible online, para el cálculo de la corrección atmosférica permite acceder a parámetros como transmisividad atmosférica y características de los perfiles, aún sin contar con acceso a datos de estaciones meteorológicas de la zona.

La distribución espacial de la temperatura de superficie muestra concordancia con la variabilidad espacial de la topografía.

En verano la diferencia de temperatura entre las zonas más bajas y las ubicadas en la meseta es mucho mayor, alcanzando dicha diferencia los 29.6 grados. La variabilidad de temperatura en las zonas elevadas es aproximadamente 10 grados.

En verano se puede diferenciar más claramente la zona cultivada, lo que estaría relacionado con los cambios fenológicos de los cultivos y con el ángulo de incidencia solar lo que se asociaría con mayores contrastes de temperatura por el calentamiento diferencial de las superficies.

**REFERENCIAS**

- [1] C. J. Tucker, D. M. Grant, & J. D. Dykstra, 2004. NASA's global orthorectified landsat data set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70, 313–322.
- [2] J.A. Barsi, J.R Schott, F.D. Palluconi, S.J. Hook, 2005. Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments, *Proc. SPIE* vol 5882.
- [3] Landsat Project Science Office, 2002. *Landsat 7 Science Data User's Handbook*. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.
- [4] J. Zhang, Y. Wang; and Y. Li, 2006. C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers & Geosciences*, vol. 32 1796–1805.
- [5] J.A. Barsi, J.L. Barker, J.R. Schott, 2003 An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. *IGARSS03*, 21-25 July 2003, Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France.
- [6] A. A. Van De Griend, and M. Owe, 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized different vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, vol.14, N6, 1119–1131.



# Observatorio Ambiental "Carcova": participación social en el monitoreo de la contaminación ambiental

## RESUMEN

En el congreso ICES-6 presentamos un trabajo en el que se mostraron resultados (obtenidos desde un enfoque interdisciplinario que involucra ciencias sociales y naturales) sobre las condiciones que actúan en la producción del riesgo ambiental y que afectan a la población que nace y vive en un barrio donde se entrecruzan hiperdegradación ambiental y pobreza extrema. Una de las conclusiones del trabajo fue que cualquier estrategia de remediación en territorios socio-ambientalmente hiperdegradados supone partir de la vida en el barrio y de la lucha de sus pobladores por mejorar sus condiciones de vida. A partir del trabajo de campo sobre la percepción de los vecinos acerca de los problemas asociados a la contaminación y de un taller realizado en una escuela del barrio en el que se mostraron los resultados obtenidos mediante un primer monitoreo ambiental realizado en 2010, se diseñó y montó un observatorio ambiental permanente inicialmente centrado en el monitoreo de la red de agua potable, los desagües pluviales/cloacales, el estado de la napa freática y los procesos de autodepuración en los canales afluentes al río Reconquista ("el Zanjón"). Una de las principales innovaciones del proyecto es que la población participa en el diseño del observatorio (variables a medir) y en la toma de muestras. Las muestras se centralizan a través de dos establecimientos educativos y parte de los análisis son realizados por alumnos secundarios en el marco del desarrollo curricular de asignaturas de ciencias naturales. Los resultados del monitoreo participativo continuo, junto con talleres y entrevistas con vecinos del barrio, permitirán realizar un modelo del funcionamiento ambiental del barrio y de los arroyos aledaños que será de suma utilidad para formular y planificar en conjunto con los vecinos acciones de mitigación de la contaminación.

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

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

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

3- Escuela de Política y Gobierno. Universidad Nacional de San Martín. Martín de Irigoyen 3900 San Martín. Argentina.

4- CONICET.

[gcurut@gmail.com](mailto:gcurut@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes ICES-6. Descripción barrio.

En el congreso ICES-6 presentamos un trabajo en el que se mostraron resultados (obtenidos desde un enfoque transdisciplinario que involucra ciencias sociales y naturales) sobre las condiciones que actúan en la producción tanto de la contaminación como de otras problemáticas del ambiente y que afectan especialmente aquellas poblaciones que nacen y viven en barrios donde se entrecruzan degradación ambiental y pobreza extrema. Una de las conclusiones de aquel trabajo fue que cualquier estrategia de remediación pero también de análisis ambiental en estos territorios requiere partir de la vida en el barrio y de la lucha de sus pobladores por mejorar sus condiciones de vida. En este trabajo, nos concentramos en el proceso de diseño y puesta en marcha de un observatorio permanente ambiental de suelos y agua que realizado con la participación de escuelas y vecinos del barrio involucra el estudio de aquellas variables ambientales percibidas como críticas por la población.

Los estudios sobre ecologías urbanas desde una perspectiva interdisciplinaria, aunque crecientes en otras partes del mundo, son aún escasos en Argentina, constituyendo un desafío para la presente agenda de investigación. Igualmente escasos son los estudios que abordan esta problemática en conjunto con la población afectada. Ahora bien, la preocupación por las cuestiones urbanas no son nuevas y ya en sus inicios en el siglo XVIII, combinó cuestiones tecnológicas con aquellas ligadas con la administración y regulación de la vida social y urbana. La vida en las grandes ciu-

dades, señala Foucault (1), suscitaba una serie de pánicos, que se expresaron en la inquietud político-sanitaria que se va a crear a medida que se desarrolla el entramado urbano. Desde fines del siglo XVIII y especialmente en el siglo XIX comienzan a plantearse una suerte de, en ese momento, nuevos problemas tales como: ¿dónde colocar las fuentes y los desagües o los pozos pluviales, cómo evitar la filtración de aguas fecales en las fuentes de agua potable? Este conjunto de cuestiones no sólo estaban ligadas con la organización de la vida en la ciudad sino que constituían parte neurálgica de la medicina urbana centrada en el control de las epidemias y para ello el control del espacio urbano. De hecho, es en esos años que se identifica una correlación entre las epidemias como el cólera y las aguas contaminadas. Así, la pregunta por la salubridad sería algo muy distinto que la cuestión de la salud. Ella referiría al estado del medio ambiente, sus elementos constitutivos que entre otros aspectos implicarían el control científico-político así como la aparición de la noción de higiene pública “en tanto técnica de control y de modificación de los elementos del medio que pueden favorecer o perjudicar la salud” (2). En estos años es que se desarrolla la ingeniería sanitaria y con ella la idea de bombear las aguas negras hacia las afueras del radio urbano. En el caso de la Región metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires, ese bombear aguas afuera supuso, entre los años 1874 y 1946, la construcción de las cloacas máximas hacia el emisario Berazategui sobre el Río de La Plata. (3)

La cuestión hoy es que ya no hay afuera. En el presente estamos muy lejos y muy cerca de estas cuestiones. Algunas de ellas quedaron como cuestiones propias de las ciudades del tercer mundo que crecieron exponencialmente hacia la segunda mitad del siglo XX. El diseño de las cloacas máximas se realizó de modo tal de evitar el reflujo hacia las tomas de agua de la ciudad de Buenos Aires. Sin embargo, en el presente esas aguas afuera quedaron aguas arriba de la toma de la Ciudad de La Plata (3). Asimismo, las descargas de aguas negras en las zonas sin cobertura cloacales, a pesar de las presunciones normativas, se dirigen de hecho por los múltiples desagües pluviales a los afluentes que componen la cuenca del Río de la Plata.

Seguidamente, estas situaciones se transformaron en problemas particulares de los espacios urbanos más pobres, comúnmente llamados villas miseria. En estos barrios la filtración de aguas fecales en los suelos y el peligro de contaminación de los conductos de agua potable, aunque de formas diferentes a aquellas del siglo XIX, son uno de los problemas más graves presentes en el barrio donde se desarrolla esta

investigación. En este trabajo se discuten resultados de investigación directamente ligados con estos problemas así como alternativas de mitigación y remediación.

De manera que si bien las notas de época y las diferencias son muchas y disímiles, una de ellas nos importa resaltar y es que si hacia el siglo XIX las cuestiones ambientales eran un problema de la ciudad, en el siglo XXI devinieron un problema de los emplazamientos más pobres de la urbe. Cabe preguntarse qué formas adquieren las cuestiones ambientales en estos barrios, cómo se combinan las cuestiones sociales y tecnológicas en nuestro presente, cuáles son los efectos en la vida de la población.

A los efectos de acercarse a estas cuestiones resulta central la realización de un estudio desde una mirada que contemple estos problemas de manera integral y que como caras de un prisma pueda ofrecer herramientas para su comprensión. En el trabajo de investigación que nos encontramos desarrollando hemos podido constatar que el manejo de recursos en un territorio delimitado revela la necesidad de tomar decisiones basadas simultáneamente en conocimientos surgidos de la investigación sistemática y en conocimientos locales. Por eso, yendo más allá del intercambio interdisciplinario, nuestra investigación adopta un enfoque transdisciplinario que, mediante distintas técnicas de investigación, combina saberes de las ciencias sociales y las ciencias naturales con el conocimiento local de la población involucrada con el propósito de comprender mejor los problemas socioambientales y así construir alternativas de solución sostenibles.

El territorio en estudio abarca unas 50 hectáreas de terreno ocupadas, desde fines de los años setenta, que históricamente fue basurero y/o quema como lo llaman los vecinos del barrio. Así, a medida que la población fue llegando, el asentamiento se realizó con basamento en un terreno rellenado con residuos que ha levantado la cota unos dos metros con respecto al nivel original del bañado. La altura del terreno desciende notablemente en dirección sur-norte quedando circunscripto por dos cursos de agua: “El Zanjón” (afluente del canal José León Suárez que desagua en el Río Reconquista metros más adelante) hacia el NE y un pequeño canal que bordea las vías de ferrocarril hacia el oeste. Hacia el sur, el asentamiento continúa cada vez con mayor altura y mejor calidad de construcción hasta confundirse con típicos barrios urbanizados de José León Suárez (4).

La cuestión de la basura, de hecho, constituye un problema más complejo de lo que a simple vista puede pensarse. Los basureros de Suárez tienen una historia más larga que las villas allí radicadas. El cirujeo y los basurales se remontan a mediados del siglo XX. De modo que incluso un programa oficial con las mejores intenciones que procurara re-tirar la basura no conseguiría resolver la cuestión si no considerara a la basura como fuente de producción. La basura es fuente de contaminación pero también es fuente de reproducción material de la vida de la población: la gente come de la basura, cartonea, recicla y vende. De hecho, en el barrio el reciclado de basura es una de las fuentes principales de ingreso. La cuestión es que estos múltiples lugares de la basura genera situaciones muy complicadas respecto de las condiciones socioambientales de vida (4).

Otro aspecto particular es la provisión de agua potable y la descarga de las aguas servidas. La provisión de agua potable constituye un ejemplo claro acerca de cómo los sujetos buscan los modos de resolver e incluso mejorar sus condiciones de vida y de hecho atender a sus necesidades. El tendido de agua de la empresa de agua potable sigue la línea de una calle, quizá, irónicamente llamada Central. De ahí en más los vecinos del barrio pusieron en marcha un complejo sistema de red de mangueras a través de las que consiguen tener en cada casa agua potable. Así aunque de un modo precario e incluso improvisado resuelven situaciones que si bien son cruciales para la vida cotidiana no suelen recibir respuesta oficial más que de modos fragmentados y luego de las luchas de la población por hacerse escuchar (4).

La red de agua constantemente sospechada por los vecinos de contaminación presenta rasgos particulares: las man-gueras de distribución de plástico quebradizo presentan fragilidad ante pinchaduras y cortes y corren directamente por las zanjas de desagüe. Aspectos que incrementan fuertemente el riesgo de contaminación del agua. Asimismo, si bien las casas suelen tener pozos negros, es tanta la densidad de esos pozos que colapsan e irremediamente las aguas servidas terminan siendo derivadas a las zanjas o canales que confluyen en el zanjón. Sin embargo, y a pesar de las convicciones de los vecinos respecto de la contaminación de las aguas, las pruebas de laboratorio mostraron contaminación fecal sólo en algunos tramos del agua de red. Otra cuestión refiere a las aguas servidas que drenan siguiendo la pendiente hacia el canal situado al oeste del asentamiento junto a las vías que desemboca en el "Zanjón" junto al puente del ferrocarril o directamente al "Zanjón".

El Zanjón recibe aproximadamente 1 Km aguas abajo otro pluvial de similar caudal proveniente de villa "Curita" formando el canal José León Suárez que desemboca en el río Reconquista 4,2 km aguas abajo del terreno estudiado (4).

En este marco, a partir del trabajo de campo sobre la percepción de los vecinos acerca de los problemas asociados a la contaminación y de un taller realizado en una escuela del barrio en el que se mostraron los resultados obtenidos mediante un primer monitoreo ambiental realizado en 2010, se diseñó y montó un observatorio ambiental permanente inicialmente centrado en el monitoreo de la red de agua potable, los desagües pluviales/cloacales, el estado de la napa freática y los procesos de autodepuración en los canales afluentes al río Reconquista ("el Zanjón"). Una de las principales innovaciones del proyecto es que la población participa en el diseño del observatorio (variables a medir) y en la toma de muestras. Las muestras se centralizan a través de dos establecimientos educativos y parte de los análisis son realizados por alumnos secundarios en el marco del desarrollo curricular de asignaturas de ciencias naturales. Los resultados del monitoreo participativo continuo, junto con talleres y entrevistas con vecinos del barrio, permitirán realizar un modelo del funcionamiento ambiental del barrio y de los arroyos aledaños que será de suma utilidad para formular y planificar en conjunto con los vecinos acciones de mitigación de la contaminación.

## **MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **Planteo del Problema**

**1.** La transformación de la vida social desde fines del siglo XX ha generado complejos procesos que entre otros aspectos derivaron en el crecimiento constante de la población que vive en barrios caracterizados por la extrema pobreza urbana. Esta urbanización se realizó sin la necesaria provisión por parte del estado de servicios públicos. Así, los habitantes de los barrios han tomado a su cargo, de modo más o menos organizado y/o individualizado, no sólo la provisión de agua potable y la recolección de residuos sino también otros servicios esenciales como el desagüe de efluentes cloacales domiciliarios, el mantenimiento de la red eléctrica, la limpieza de las calles y los cursos de agua del barrio, la provisión de servicios de educación inicial, la atención primaria de la salud y la asistencia alimentaria. Estas situaciones tienen consecuencias directas en procesos de contaminación y degradación ambiental cuyo análisis conforma el núcleo neurálgico del observatorio ambiental.

2. Las cuestiones ambientales constituyen en el barrio una preocupación central así como una verdad operativa con la que los vecinos conviven a diario. Ello debido a que dadas las particularidades que adquirieron los procesos de urbanización en estas áreas, la degradación ambiental del territorio barrial constituye para los vecinos un destino trágico. De manera que el estudio de estos problemas generan tanto expectativa como inquietud, aflicción y desconfianza. En estos barrios, el conocimiento científico no sólo no es neutral por razones epistemológicas sino que y principalmente no es neutral para la vida de la gente.

### **Diseño Experimental**

Como se dijo en el trabajo presentado en ICES 6 (4), a partir del trabajo de campo sobre la percepción de los vecinos acerca de los problemas asociados a la contaminación se diseñó y montó un observatorio ambiental permanente inicialmente centrado en el monitoreo de la red de agua potable, los desagües pluviales/cloacales, el estado de la napa freática y los procesos de autodepuración en los canales afluentes al río Reconquista ("el Zanjón").

### **Análisis de la red de agua potable**

Una de las principales innovaciones del proyecto es que la población participa en el diseño del observatorio (variables a medir) y en la toma de muestras. Las muestras se centralizan a través de dos establecimientos educativos y parte de los análisis son realizados por alumnos secundarios en el marco del desarrollo curricular de asignaturas de ciencias naturales. Para monitorear el agua red se tomaron dos tipos de muestras: muestras rutinarias, tomadas aproximadamente cada dos meses en campañas en las que participaron profesores y alumnos de UNSAM, alumnos de los establecimientos educativos y vecinos que recibieron entrenamiento en esa actividad en talleres previos. Las muestras fueron remitidas a la ECyT UNSAM y a la escuela N° 8 para su análisis.

Muestras eventuales: Estas muestras fueron tomadas por vecinos del barrio ante eventos que hicieran suponer algún problema en el agua, tales como caída de presión, observación de turbidez, olores etc. Se remiten a la escuela más cercana (N 40) y desde allí al laboratorio de la ECyT.

Todas las muestras fueron tomadas en condiciones asépticas utilizando frascos plásticos estériles del 100 ml. Las campañas se realizaron en Agosto 2010, Diciembre 2010, Mayo 2011, Julio 2011, Agosto 2011 y Setiembre 2011. Las muestras fueron mantenidas refrigeradas hasta su traslado al laboratorio. Las determinaciones se realizaron en un período no superior a tres horas después de la toma de muestra.

Se determinó presencia de enterobacterias y bacterias coliformes fecales (E. coli) por estriado en placas con medio EMB (Merck) a 44 grados centígrados (5). La presencia de colonias con aspecto verde metalizado es característica de esta bacteria marca-dora de contaminación fecal en aguas de red y residuales. Todas las muestras fueron determinadas por duplicado.

### **Análisis de desagües, zanjas y zanjón**

Se tomaron muestras periódicamente durante las campañas de muestreo de Mayo, Julio, Agosto y Setiembre 2011. Se determinó DQO como parámetro de contaminación orgánica general, utilizando técnicas estandarizadas (5) y presencia de enterobacterias y E. coli como parámetros de contaminación fecal. En los sedimentos se determinaron sulfuros volátiles y materia orgánica por los métodos estandarizados de Morse Y Walkley y Black respectivamente (6, 7)

### **Experiencias de remediación. Degradación en fase sólida.**

#### **Elección del sistema modelo**

Como se consignó en el trabajo publicado en ICES 6 (4), se decidió en base a obser-vaciones previas que mostraban contaminación con colorantes industriales sobre el "Zanjón" [8] utilizar un colorante puro (violeta cristal) como contaminante modelo.

Dos de las especies bacterianas aisladas del Zanjón durante 2009-2010 (4), fue-ron clasificadas bioquímicamente como Enterobacter cloacae (StB) y Pseudomonas sp.(StC). Mostraron resistencia a concentraciones del colorante estudiado un orden de magnitud superiores a las encontradas en el zanjón. La capacidad de adsorción encontrada de alrededor de 350 mg/ g de biomasa es muy adecuada para utilizar esta biomasa previamente inmovilizada como biofiltro. Esta alta adsorividad espe-cífica de la biomasa puede explicar en parte la alta velocidad de decaimiento de contaminantes coloreados y otros (4, 9, 10, 11). La biomasa en cursos de agua crece fundamentalmente en forma de biopelículas sobre la superficie arcilloso-orgánica

de los sedimentos, por lo que es de interés conocer el destino del contaminante adsorbido al sistema biomasa-sedimento. Para ello se realizaron experiencias de compostaje de biomasa y biomasa-sedimento, cargados con el colorante modelo. Se utilizaron sistemas plásticos de 50 ml usando dos de las cepas aisladas (StB y StC). La biomasa fue generada en frascos agitados con y sin el agregado de 1% p/V sedimento del canal previamente desecados. Los cultivos en estado estacionario fueron incubados con una cantidad conocida de colorante modelo (violeta cristal). Luego de alcanzado el equilibrio de adsorción la biomasa fue separada por centrifugación y la concentración remanente de colorante en el sobrenadante determinada por espectrofotometría visible. La biomasa cargada con colorante fue lavada y mezclada con 3 g de plantas acuáticas (*Salvinia* sp.) provenientes del canal y previamente desecadas (4). La mezcla fue puesta en los recipientes y a diferentes tiempos, el colorante remanente en los sistemas se determinó por extracción con SDS 1 % y espectrofotometría.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de la red de agua potable.

Las muestras periódicas de agua de red (40 muestras distribuidas en 4 campañas) no habían mostrado en ningún caso contaminación fecal (círculos azules en la figura 1) lo cual mostró la misma tendencia observada en el trabajo previo (4). Sin embargo, una de las muestras eventuales enviada por los vecinos para su análisis mostró presencia de Enterobacterias. Se realizó entonces un screening alrededor de la zona (marcada con un círculo en la figura 1) de la que provenía la muestra. De las 12 tomadas, 3 mostraron presencia de enterobacterias, confirmándose presencia de enterobacterias y *E. coli* en 2 de ellas. Analizando la distribución de las muestras contaminadas se observa claramente que ambas se encuentran en la dirección de una misma línea de abastecimiento, por lo que se está trabajando con los vecinos a los efectos de plantear el reemplazo del tramo dañado.

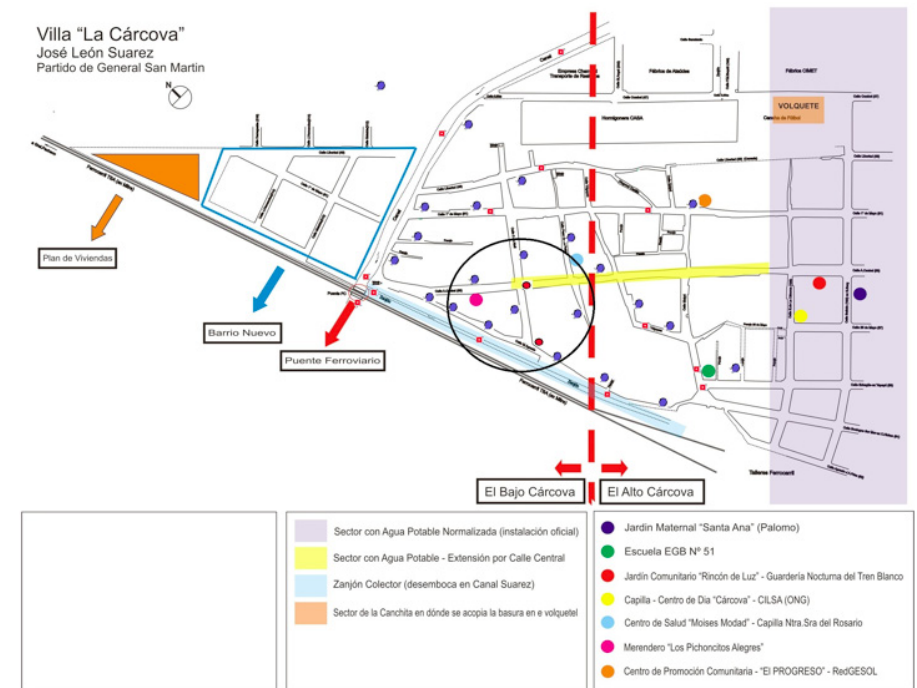


Figura 1. Presencia de *E. coli* en agua de red y desagües. Círculos: muestra de agua de red, cuadrados desagües y zanjones. El círculo marca la zona de intervención (ver texto)

### Análisis de desagües, zanjones y zanjón.

Las muestras de agua de los desagües domiciliarios, sus colectores ("zanjas"), del "Zanjón" presentaron en todos los casos (cuadrados rojos en la figura 1) altos índices de contaminación fecal (presencia de *E. coli*). Este resultado es el más alarmante acerca de los riesgos implicados para la salud. Estas aguas contaminadas con potencial presencia de microorganismos patógenos circulan entre las casas por colectores a cielo abierto que frecuentemente desbordan formando lodazales que incluso penetran en los patios de las casas. Además la precaria red de conducción de agua potable suele estar en paralelo y en contacto con estas zanjones (Figura 2). Así, aquellas preocupaciones decimonónicas por la filtración de las aguas cloacales en la red de agua potable constituye una realidad diaria en estos barrios. Las preocupaciones por la salud y la enfermedad más que cuestiones de salubridad pública donde el Estado actúa procurando controlar epidemias, se vuelven inquietud y aflicción diaria para quien



vive en esta realidad dada y poco puede hacer para resolver. La pregunta, entonces, es cuál es la posición social de los sujetos y de los barrios en tanto cuerpos que librados a su propia suerte permanecen en las fronteras de la biopolítica del siglo XXI.



Figura 2. Mangueras de conducción de agua en paralelo con zanjas de desague.

Con respecto a la carga orgánica (DQO) que drena desde la zona hacia el río Reconquista se observan valores generalmente menores a 100 mg/l en la componente soluble. Sin embargo, la concentración de oxígeno disuelto en los colectores y el zanjón fue siempre cercana a cero. Un estudio más detallado de las aguas residuales mostraron abundante presencia de material particulado. Este material particulado si bien de características finas, tiene una fuerte tendencia a precipitar y acumularse en los sedimentos. De esta manera la mayor parte del material que demanda oxígeno se acumula rápidamente en los sedimentos produciendo una gran demanda béntica de oxígeno que lleva al curso de agua a condiciones de anaerobiosis, si bien la carga orgánica soluble es baja, y llega al río Reconquista prácticamente sin ella (4, 8)

La acumulación de materia orgánica en los sedimentos lleva a la producción de sulfuros por metabolismo anaeróbico de bacterias sulfato-reductoras. Los niveles de sulfuros volátiles observados oscilan entre 200 y 300 mg/Kg y provocan riesgo de acidificación ante eventuales cambios en el estado redox, por ejemplo el que se produciría en un dragado (7).

En el siglo XXI, estas cuestiones adquieren especificidades en la medida que estamos haciendo referencia a espacios urbanos por los que circulan las aguas negras pero que ya no se encuentran en los límites de la ciudad. Si de hecho en la fundación de la ciudad de Buenos Aires estos espacios constituían la frontera interior (12), en la actualidad son sectores urbanos que se encuentran en la ribera del río Reconquista que atraviesa incluso aquellos territorios que en los últimos años se revalorizaron como barrios privados. Así, el viejo afuera devino adentro, no sólo porque la degradación ambiental afecta a los barrios más pobres sino porque el viejo mosaico urbano devino en el marco de la metropolización selectiva (13) una compleja red de sujetos y fragmentos urbanos que no pueden no comunicarse entre sí.

Estos resultados en conjunto con los mostrados en ICES 6 (4) muestran la importancia fundamental de procesos de sedimentación y adsorción en el destino de los contaminantes volcados a los afluentes a cielo abierto del río Reconquista. Es de gran interés entonces conocer los procesos que ocurren con el contaminante una vez que se acumula en el sedimento adsorbido por biomasa.

#### **Degradación en fase sólida**

Los sistemas de degradación en fase sólida de cristal violeta adsorbido en las cepas aisladas StB y StC mostraron 40 y 30% de degradación del contaminante en solamente 12 días. En los sistemas con biomasa asociada a sedimento, la velocidad de degradación se hace menor. Este comportamiento puede deberse a la distribución del colorante adsorbido entre la biomasa y las superficies abióticas (arcillas, sustancias húmicas, etc). En los sistemas con biomasa y sedimento, la mayor proporción de sedimento lleva a favorecer la adsorción sobre el componente abiótico, siendo la proporción de microorganismos capaces de degradar el colorante menor que en los sistemas en los que el colorante se adsorbe directamente sobre la biomasa.

Aunque son necesarios experimentos con tiempos de incubación mayores para conocer con precisión los mecanismos involucrados, la velocidad de degradación observada es suficientemente alta como para demostrar la importancia de los procesos de degradación de contaminantes adsorbidos en ambientes naturales como para su empleo en procesos de remediación de los residuos generados en tratamiento de aguas por adsorción.

### En el barrio con los vecinos

Si bien como se dijo anteriormente la contaminación del agua y el suelo son una "verdad operativa" entre los vecinos del barrio, las respuestas obtenidas en las entrevistas siempre tienen una condición de generalidad e incerteza. Los casos más típicos son sobre "el agua sale negra de las canillas" y "hay tachos tóxicos enterrados". Cuando se interroga acerca de donde sale el agua negra o donde están enterrados los "tachos tóxicos" las respuestas indefectiblemente llevan a "acá no, mas allá" o "el hombre en la otra cuadra". Al repetirse la respuesta en todos los puntos, se crea una matriz infinita, todos los puntos son el mismo punto y los tachos están enterrados en el horizonte que siempre una mano señala procurando alejar eso que se sabe está ahí pero a veces es mejor no mirar.

Este tipo de respuesta puede parecer curiosa al principio dado que fueron los mismos vecinos quienes mostraron su interés y preocupación ante el tema de la contaminación. Ahondando un poco más en las entrevistas es posible entender que ese miedo refiere entre otras cuestiones al uso que se pueda hacer de la información generada en la investigación ("que van a hacer ustedes con los datos que saquen de la contaminación?" "donde los van a presentar? "Si el suelo está contaminado... la gente va a ser sacada de sus casas?") y su efecto sobre la vida en el barrio, fundamentalmente en la estabilidad de sus viviendas. En este aspecto, muestran un conocimiento acerca de la "no neutralidad" de los datos científicos generados más acertada que la de muchos miembros de la comunidad científica y deja muy claro una vez más el debate acerca de la responsabilidad en la generación del conocimiento y sus implicancias futuras.

### CONCLUSIONES

En la lógica de la biopolítica moderna la ingeniería sanitaria actuaba pensando en un afuera de la ciudad en donde podían descargarse los residuos y efluentes urbanos. Dos movimientos se observan en el presente: a) no hay afuera donde arrojar los residuos; b) la metropolización selectiva conduce a la formación de territorios que se encuentran fuera de la planificación urbana de la salubridad.

- El trabajo transdisciplinario constituye no sólo un herramienta académica deseable sino una condición para el trabajo en espacios urbanos degradados donde los datos constituyen algo más que números. La obtención del dato como sus usos tienen implicancias neurálgicas en la vida de la población.
- La puesta en marcha del observatorio ambiental permitió realizar monitoreos de la contaminación de aguas y suelos que identificaron situaciones puntuales de contaminación.
- Los mecanismos naturales de atenuación de la contaminación muestran un rol fundamental de los procesos de adsorción y sedimentación. De esta manera si bien el agua antes de llegar río reconquista tiene tiempo suficiente para auto-limpiarse la contaminantes de materia orgánica quedan en los sedimentos.
- La comprensión de los procesos que afectan el destino de los contaminantes en el sedimento es fundamental. Experiencias preliminares muestran gran potencialidad de la biota indígena para estabilizarlos.

### REFERENCIAS

- [1] Foucault, M. (1991). "La gubernamentalidad". En, AA. VV. Espacios de poder. Ediciones La piqueta. Madrid. España.
- [2] Foucault, M. (1999). Historia de la sexualidad 1-La voluntad de saber. Editorial siglo XXI.
- [3] Malpartida, A. (2001) Las cloacas máximas y la franja costera Sur del gran Buenos Aires, Municipalidad de Berazategui.
- [4] Curutchet, G., Grinberg, S. y Gutierrez, R. 2011. "Entre la vida del barrio y la potencia del zanjón: condiciones, fatalismos y posibilidades de la remediación ambiental". Actas del Sexto Encuentro del International Center for Earth Sciences, Malargüe, Argentina, pg 70.
- [5] APHA AWWA WPCF (Franson, M. Ed.), 1992. "Métodos normalizados para el

análisis de aguas potables y residuales". Díaz de Santos Editores. Madrid. ISBN 9788479780319. 1816 pgs.

- [6] Di Nanno, M.P. Curutchet, G. and Ratto, S. (2007) Anaerobic sediment potential acidification and metal release risk assessment by chemical characterization and batch re-suspension experiences. *Journal of Soils and Sediments*. 7 (3) 187-194. 2007
- [7] Di Nanno, MP, G Curutchet and S Ratto. 2009. S, Zn, Cr, Cu and Fe changes during fluvial sediments oxidation. *Ciencia del Suelo*, 27 (2):199-207.
- [8] Nader, G. 2009. Modelización del transporte de metales en el río Reconquista (entre ex ruta 8 y Panamericana): etapas de conceptualización, formulación y calibración. Tesis de Licenciatura en Análisis Ambiental, Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín.
- [9] Guz, L. 2010. Adsorción de colorantes sobre bacterias presentes en plantas de tratamiento biológico. Tesis de Licenciatura en Biotecnología, Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín.
- [10] Volesky, B. 2007, Biosorption and me. *Water Research*, 41: 4017-4029.
- [11] Aksu, Z. 2005. Application of Biosorption for the Removal of Organic Pollutants: a Review. *Process Biochemistry*, 40:997–1026.
- [12] Defensor del Pueblo de la Nación, FARN, Fundación Protigre y Cuenca del Plata, Cáritas Diocesana de San Isidro, Asamblea del Delta y Río de la Plata et al. 2007. "Informe Especial Cuenca del Río Reconquista Primera Parte". Defensoría del Pueblo de la Nación, Marzo 2007.
- [13] Prevot Schapira, M. (2002). "Buenos Aires en los años '90: metropolización y desigualdades". EURE, Santiago, Diciembre de 2002, vol. 28, no.85, 31-50.

# Islas de calor en áreas metropolitanas: caso de Sevilla (sur de España)

## RESUMEN

Existen una serie de fenómenos atmosféricos de origen térmico que se desarrollan en una escala espacial conocida como mesoescala (100 km). El estudio que se presenta tiene como objetivo uno de estos procesos, las islas de calor. Este fenómeno se desarrolla en áreas urbanas, originado por las diferencias de temperatura existentes entre el centro de la ciudad y sus alrededores. Aunque las islas de calor se pueden desarrollar en cualquier época del año son más frecuentes en los meses de primavera y verano. La formación, ocurrencia e intensidad de las islas de calor son un fenómeno muy sensible a las modificaciones climáticas, puesto que un incremento de las temperaturas pudiera llevar a un aumento del número e intensidad de las mismas. Las posibles alteraciones climáticas que pudieran tener lugar en los próximos años, afectarían a las islas de calor de las áreas metropolitanas. El sur de España es una de las regiones donde se registran las mayores temperaturas de toda la Península Ibérica y el Mediterráneo Occidental. El área metropolitana de Sevilla, con una población que supera el millón de habitantes, es la urbe más grande del sur de la mencionada Península. En esta región que se ubica en el tramo medio-bajo del valle del Guadalquivir, se ha realizado un estudio orientado a conocer la ocurrencia e intensidad de la isla de calor. Para la identificación y clasificación de este fenómeno según un rango de intensidades, se han utilizado los registros de temperatura medidos en dos estaciones meteorológicas durante el período 2002 a 2008. Se ha estudiado la evolución de otras variables (humedad relativa y velocidad del viento) según la intensidad de la isla de calor. Así como, se han identificado los escenarios meteorológicos de escala sinóptica que llevan a la ocurrencia de cada tipo de intensidad.

B. De la Morena (1),

J.A. Adame (1),

M. Corzo (2),

M. Mosert (3).

1- Estación de Sondeos Atmosféricos "El Arenosillo", Área de Instrumentación e Investigación Atmosférica. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Crta. Huelva-Matalascañas, km 34. 21130, Mazagón-Huelva, España.

2- Red de Información Ambiental de Andalucía, Departamento de Comunicación y Sistemas de Información, Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. c/ Johan G. Gutenberg, 1. 41092, Sevilla, España.

3- Instituto de Ciencias Astronómicas de la Tierra y del Espacio (ICATE)-CONICET. Avda España 1512 (Sur). 5400 San Juan. Argentina.

[adamecj@inta.es](mailto:adamecj@inta.es)

## INTRODUCCIÓN

Al construir las ciudades los hombres, sin proponérselo, han producido células de condiciones climáticas diferentes de las que existen en el medio rural [1]. Estas alteraciones microclimáticas quedan integradas dentro del espectro total de los cambios ecológicos resultantes del crecimiento de las sociedades urbano-industriales característico de nuestro tiempo.

La temperatura es uno de los elementos más importantes para determinar los cambios urbanos en el clima [2]. Cuando se produce una modificación en la cubierta terrestre, automáticamente se introducen alteraciones en la temperatura del aire al actuar sobre el balance energético. En las ciudades este aporte de energía suplementario provoca un aumento de calor y un contraste térmico entre el centro y la periferia conocido como isla de calor o isla térmica.

Han sido y son actualmente numerosos los estudios que sobre este fenómeno se están desarrollando tanto en grandes ciudades [3, 4, 5] como en ciudades medianas [6, 7, 8]. La media anual de la temperatura de una ciudad de un millón de habitantes puede ser de 1 a 3 °C más altas que las que se registrarían en sus alrededores, pero en una noche clara con viento en calma, esta diferencia de temperatura puede alcanzar los 12 °C. Incluso ciudades más pequeñas pueden experimentar estos fenómenos [9], aunque este efecto es proporcional al tamaño de la ciudad.

Se pueden encontrar dos tipos de islas de calor urbano: las superficiales ("surface urban heat island") y las atmosféricas ("atmospheric urban heat island"). Éstos difieren básicamente en la forma en la que se forman, así como en las técnicas usadas para identificarlas y medirlas, sus impactos y métodos disponibles para mitigarlas son distintos. En las islas de calor urbano se pueden identificar dos zonas:

- Capa superficial de la isla de calor urbano. Es la capa de aire que se encuentra donde la gente vive, desde el suelo hasta la cima de los árboles o edificios.
- Capa límite de la isla de calor urbano. Comienza en la parte alta de los edificios o las copas de los árboles hasta aquella zona de la atmósfera que no se ve influenciada por los cambios térmicos de la ciudad. Esta capa no tiene una extensión mayor de 1.5 km desde la superficie.

La capa superficial de la isla de calor urbano atmosférica es la que comúnmente se observa con mayor facilidad, de los dos tipos enunciados, y por esta razón cuando se hace mención a la isla de calor urbano se refiere directamente a esta capa. La isla de calor urbano atmosférico es más débil a primeras horas de la mañana y resto del día y comienza a ser más pronunciada después de la puesta de sol, debido a que la pérdida de calor de las infraestructuras urbanas es más lenta que las de las áreas rurales.

La mayor intensidad de este fenómeno dependerá de las propiedades de las superficies que conforman la ciudad, de la estación del año y de las condiciones meteorológicas. Muchos factores pueden contribuir a la formación de las islas de calor urbano, pero los más relevantes serían: la reducción de la cubierta vegetal, las propiedades de los materiales urbanos, la geometría urbana, las fuentes de calor con origen antropogénico y otros factores adicionales.

La formación y desarrollo de las islas de calor en las ciudades tiene una serie de implicaciones sociales y ambientales muy directas, como pueden ser el incremento del consumo de energía, la disminución de la calidad del aire, el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero o el deterioro en la calidad del agua.

En el sur de Europa, como es bien conocido, se tienen unas condiciones meteorológicas (altos niveles de temperatura y radiación solar asociadas a situaciones anticiclónicas) que la hacen idónea para el desarrollo de este tipo de fenómenos térmicos. Sin embargo, son muy escasos o nulos los estudios realizados en estas regiones para

identificar y conocer la intensidad de este fenómeno. Debido a las condiciones meteorológicas y orográficas que presenta, y por ser la urbe más poblada de Andalucía (sur de España), se ha seleccionado esta área metropolitana para realizar este estudio.

Por tanto, el trabajo que se presenta tiene como objetivo identificar la ocurrencia de este fenómeno, conocer su intensidad, analizar qué características presenta e identificar los escenarios meteorológicos asociados a cada tipo de intensidad.

### ÁREA DE ESTUDIO, BASE DE DATOS Y METODOLOGÍA

El área metropolitana de Sevilla se encuentra situada en el sudoeste de la Península Ibérica. La ciudad de Sevilla se encuentra a unos 100 kilómetros de la costa atlántica, en la zona media-baja del valle del Guadalquivir (Figura 1). Sevilla presenta una superficie urbana construida de unas 4000 hectáreas a las que habría que sumar la superficie de carreteras y circunvalaciones externas al núcleo. Las áreas que rodean la ciudad son de carácter eminentemente agrícola, con extensas áreas cultivadas, tanto de secano como de regadío.

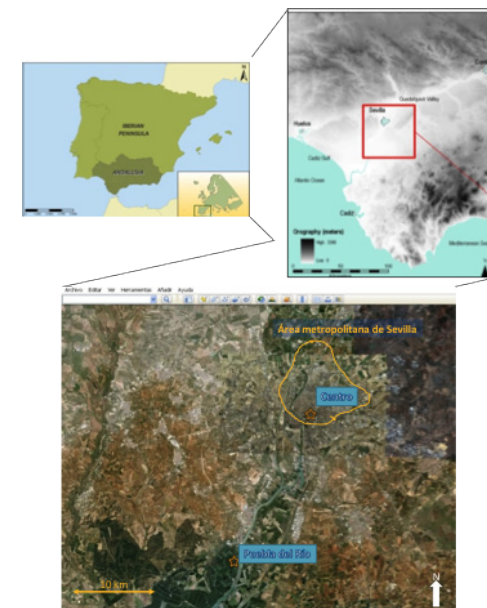


Figura 1. Ubicación de la Península Ibérica en Europa y del área metropolitana de Sevilla en la Península Ibérica. Localización de las dos estaciones de medida, Centro y Puebla del Río.



La ciudad está sometida a la influencia de los centros de bajas y altas presiones que se forman y evolucionan desde el océano Atlántico, así como por los sistemas y perturbaciones procedentes del Mediterráneo. A la región de estudio llegan masas de aire de diferentes características, marítimas, continentales, desérticas, etc. Este conjunto de factores hace que se tenga en la zona de estudio un clima con unas características típicamente mediterráneas.

El clima urbano también se ve condicionado por la situación de la ciudad en el interior del valle del Guadalquivir, lo que determina mayores contrastes térmicos y un régimen de precipitaciones algo más frecuente que en el resto de la región.

La ciudad de Sevilla es el núcleo con la mayor aglomeración urbana del sur de la Península Ibérica. Esta aglomeración reúne a unos 1,5 millones de personas y conforma un importante núcleo industrial y de servicios.

El estudio ha sido llevado a cabo utilizando observaciones meteorológicas de dos estaciones, una ubicada en el interior de la ciudad de Sevilla (estación de Centro) y otra en la periferia (estación de Puebla del Río). La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (CMAJA) posee el Subsistema de Información CLIMA ([www.juntadeandalucia.es/medioambiente](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente) Agroclimática (RIA) de la Consejería de Agricultura y Pesca; mientras que, la estación de Centro pertenece a la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de la CMAJA. Ambas estaciones registran observaciones meteorológicas intradiarias, unificándose a un intervalo común horario. El período utilizado para la realización de este trabajo ha sido el comprendido desde el año 2002 a 2008.

La isla de calor se presenta con mayor intensidad durante la noche, es decir el contraste de temperatura entre el interior de la ciudad y las zonas adyacentes será máximo en el período nocturno. Por ello, se ha considerado que para identificar este fenómeno se utilice la diferencia de los valores mínimos diarios. De esta forma se tendría desarrollo de isla térmica urbana en el área metropolitana de Sevilla si las diferencias de los valores mínimos diarios de temperatura entre los dos mencionados emplazamientos (Centro menos Puebla) es positivo.

Una vez identificados los días en los que se tiene ocurrencia del fenómeno, el siguiente aspecto que se aborda es conocer su intensidad. Para ello, se utilizó un criterio muy extendido, por el cual no se tiene ocurrencia del fenómeno si la diferencia

de temperatura de los mínimos diarios es menor de 0.5 °C, intensidad débil si la diferencia es de 0.5 a 2 °C, moderada de 2 a 4 °C, fuerte de 4 a 6 °C y muy fuerte mayores que 6 °C [10].

Con las series de días que se han obtenido, en función del tipo de intensidad, se han abordado una serie de estudios, orientados a profundizar en este fenómeno en el área de interés. Inicialmente se ha analizado la variación interanual de la frecuencia de ocurrencia de cada tipo de intensidad de isla térmica; y posteriormente se ha analizado de forma mensual.

Una vez conocida su ocurrencia y distribución en función de los años y meses, se ha querido conocer bajo qué características meteorológicas se desarrollan los diferentes tipos de intensidad. Para ello, se ha analizado la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en cada tipo, tratando de forma general todos los datos, así como, analizando su variación diaria.

Por último, se ha realizado un estudio para identificar cuales son aquellos patrones meteorológicos tanto a nivel sinóptico como de mesoescala que llevan a la formación de cada uno de los tipos de intensidad de isla de calor.

## RESULTADOS

### Ocurrencia e intensidad de la isla de calor urbana en Sevilla

Se muestra en este apartado el estudio que se ha realizado para identificar el fenómeno objeto de estudio. Puesto que, la isla de calor es de origen térmico, se ha considerado que la mejor forma para poder identificarlo es a través de las variaciones de temperatura que experimenta un punto representativo de la zona urbana y otro de las áreas periféricas o rurales.

Como ya se ha mencionado este fenómeno se presenta con mayor intensidad durante la noche, por ello, se ha utilizado como parámetro para la identificación de este fenómeno la diferencia de los valores mínimos diarios.

Aplicando los criterios mencionados en la sección anterior respecto al tipo de intensidad, se ha podido conocer tanto la ocurrencia del fenómeno como su tipo de intensidad de forma anual (Tabla 1) y mensual (Figura 2).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>N</b>	<b>48</b>	<b>365</b>	<b>358</b>	<b>357</b>	<b>363</b>	<b>354</b>	<b>362</b>
<b>NO</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	<b>6,7</b>	<b>6,9</b>	<b>0,8</b>	<b>2,5</b>
<b>Débil</b>	<b>27,1</b>	<b>7,9</b>	<b>14,0</b>	<b>38,1</b>	<b>46,6</b>	<b>30,2</b>	<b>29,3</b>
<b>Moderada</b>	<b>54,2</b>	<b>36,7</b>	<b>41,3</b>	<b>37,0</b>	<b>38,6</b>	<b>55,4</b>	<b>46,4</b>
<b>Fuerte</b>	<b>18,8</b>	<b>40,3</b>	<b>39,1</b>	<b>17,6</b>	<b>7,2</b>	<b>12,1</b>	<b>19,3</b>
<b>Muy fuerte</b>	<b>0,0</b>	<b>15,1</b>	<b>3,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>1,4</b>	<b>2,5</b>

Tabla 1. Número de días (N) y porcentaje de ocurrencia anual según el tipo de intensidad.

Este fenómeno se produce con gran frecuencia en el área metropolitana de Sevilla, incluso en algunos años se produce todos los días. De los siete años considerados, en cinco de ellos, se tuvieron días en los que no se produjo el desarrollo de la isla de calor, pero con frecuencias de ocurrencia muy bajas, siempre menores de un 7%.

La ocurrencia de la isla de calor con intensidad débil se produce en Sevilla con una frecuencia que varía con el año, obteniéndose un rango desde el 7.9% en 2003 hasta el 46.6 de 2006, con un valor medio de un 28%. La intensidad moderada es la más frecuente de todas, con una media en el periodo de 2002 a 2008 del 44%. La ocurrencia de la isla de calor con diferencias de 4 a 6 °C, es decir fuerte, presenta unos porcentajes que algunos años pueden estar por debajo de la intensidad débil y otros ser mayores; en valor medio de todo el período se obtiene una frecuencia del 22%. Por último, la ocurrencia de islas de calor muy fuertes oscilan entre el 0.8 y el 15.1 % que se obtuvieron en 2006 y 2003 respectivamente. Los años 2003 y 2004 son los que registraron las islas de calor más intensas tanto las tipificadas como fuertes como las muy fuertes, siendo estos años también de altas temperaturas en el período estival. Por tanto, se puede indicar que en esta región hay una asociación directa entre las "olas de calor" y la ocurrencia de islas de calor de gran intensidad.

La distribución mensual de la ocurrencia de cada uno de los tipos de isla de calor, en función de su intensidad se muestra en la Figura 2. Se puede observar que mayoritariamente en los meses fríos es cuando no se producen islas de calor, aunque también se encuentran algunos casos en meses cálidos. La isla de calor con intensidad débil se puede encontrar en cualquier mes del año pero presenta una ocurrencia mayor en los últimos meses.

Las islas de calor de intensidad moderada son las que con más frecuencia se producen a lo largo del año, siendo su frecuencia de ocurrencia muy homogénea, aproximadamente el 10%. Igualmente las islas de calor con intensidad fuerte se pueden desarrollar cualquier mes del año pero su frecuencia de ocurrencia se triplica en los meses cálidos respecto a los meses fríos. La intensidad muy fuerte se encuentra en los meses cálidos pero únicamente en algunos casos muy concretos, las mayores frecuencias se encuentran en los tres meses del periodo de julio a agosto con más de un 15%.

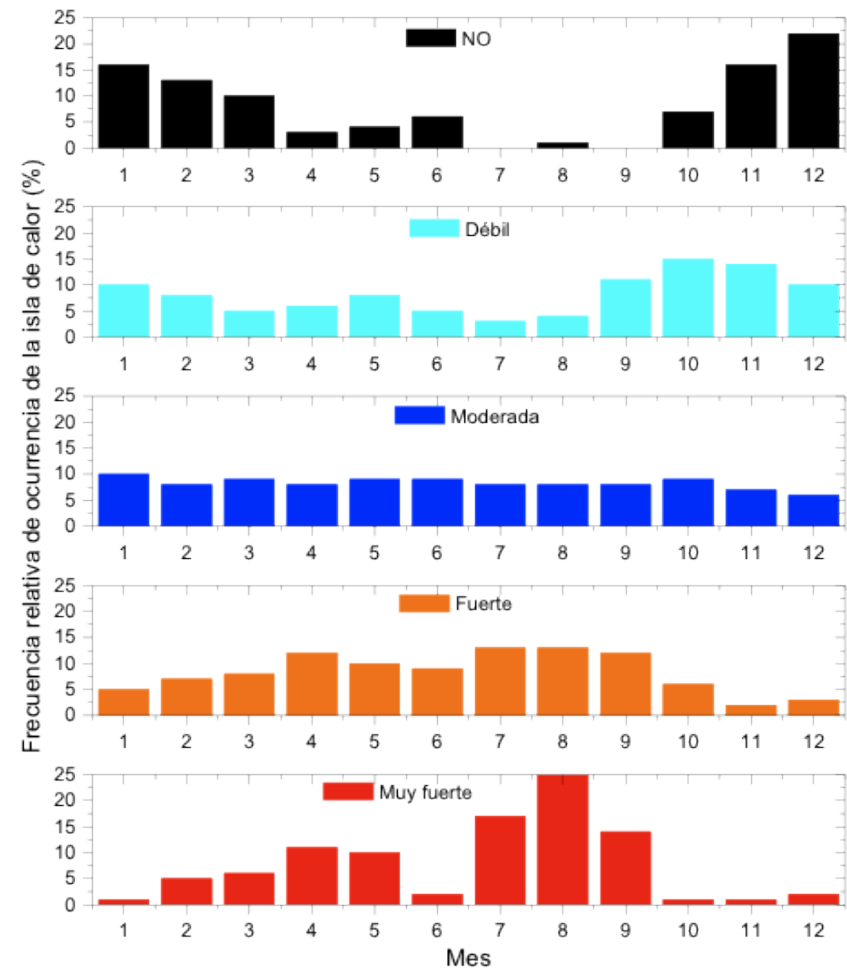


Figura 2. Ocurrencia mensual según el tipo de isla de calor.

### Variación de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en función del tipo de isla de calor

A partir de la identificación de los días en los que ocurre isla de calor y su clasificación según el tipo de intensidad, se han calculado los valores máximos, media y mínimos de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento de las dos estaciones, Centro y Puebla en función del tipo de intensidad. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.

Se puede observar como las temperaturas, independientemente del estadístico considerado se incrementan a medida que la intensidad de isla de calor es mayor. Como se ejemplo se puede indicar que los días en los que no se tiene isla de calor en la estación de Centro, se tiene un valor medio de 12 °C y en días con intensidad muy fuerte la media en este mismo emplazamiento es de 19 °C. Si atendemos al máximo diario, puede haber un incremento hasta de 10 °C.

		NO		Débil		Moderada		Fuerte		Muy Fuerte	
		CEN	PUE	CEN	PUE	CEN	PUE	CEN	PUE	CEN	PUE
T	Max	15,9	15,3	18,3	17,1	21,9	20,1	25,4	23,3	25,3	23,1
	Media	12,0	11,6	14,1	12,9	17,0	14,8	19,6	16,7	19,3	16,2
	Min	9,3	9,2	11,0	10,1	12,8	10,5	14,5	10,6	13,5	9,2
HR	Max	72,6	64,5	78,1	70,6	73,9	71,8	65,5	70,8	56,9	66,4
	Media	59,9	57,6	63,7	62,0	56,1	58,0	47,0	51,7	42,2	47,4
	Min	43,1	45,1	45,4	47,0	36,7	39,3	29,1	30,1	27,0	27,7
Vel	Max	5,4	9,8	4,5	8,3	4,8	7,0	5,1	6,7	5,2	7,7
	Media	4,0	6,8	3,5	5,5	3,4	4,4	3,2	3,9	3,3	4,3
	Min	2,8	4,1	2,8	3,5	2,2	2,5	1,8	1,4	2,0	1,7

Tabla II. Valores máximo, media y mínimos diarios de temperatura (T), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (Vel) en función del tipo de intensidad de la isla de calor en las estaciones de Centro (CEN) y Puebla del Río (PUE).

El comportamiento de los tres estadísticos analizados de la humedad relativa es opuesto al de la temperatura, es decir, a mayor intensidad de la isla de calor la humedad tanto en el emplazamiento urbano como en el rural es menor. Aunque se presenta una excepción en el paso de la no ocurrencia a la situación de isla de calor débil, puesto que se observa no un descenso sino un pequeño incremento de los valores. Así, por ejemplo mientras que en días en los que no se desarrolla isla de calor

los valores medios diarios de humedad son de 57.6%, en días con intensidad fuerte o muy fuerte, estos valores pueden bajar de un 6 a un 10%.

Para conocer el comportamiento con la velocidad del viento se han utilizado igualmente los registros de estos dos emplazamientos. Se puede observar como los valores de velocidad del viento son siempre menores en la estación urbana que en la rural. Es decir, la ciudad hace que la velocidad del viento disminuya, debido al efecto de fricción que genera la propia orografía urbana.

La velocidad del viento no muestra el mismo patrón en la zona urbana que en la rural en función del tipo de intensidad. Así, por ejemplo en la estación urbana de Centro los valores máximos oscilan y no se encuentra una tendencia clara en función de la variación del tipo de isla de calor. Las medias son muy similares, mientras que, con los mínimos de velocidad se observa como en los casos de no ocurrencia o débil intensidad los valores son muy similares, y mayores a los de moderado, fuerte y muy fuerte.

Este último comportamiento es el que se encuentra en los tres estadísticos para la velocidad del viento de Puebla. De esta forma, no se puede indicar un patrón claro de comportamiento de la velocidad del viento con la intensidad de isla de calor, al menos a partir de un estudio estadístico general como el que se ha presentado.

La evolución que experimentarán la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento a lo largo del día en función del tipo de intensidad debería ser diferente. Con el fin de conocer esta variación, a partir de los días según el tipo de intensidad, se han calculado las variaciones diarias promedios de estas tres variables meteorológicas en los dos emplazamientos de medida considerados, así como sus diferencias. Los resultados se muestran en la Figura 3.

De la evolución diaria de la temperatura se puede observar como a medida que aumenta la intensidad del fenómeno, los ciclos de temperatura muestran valores mayores.

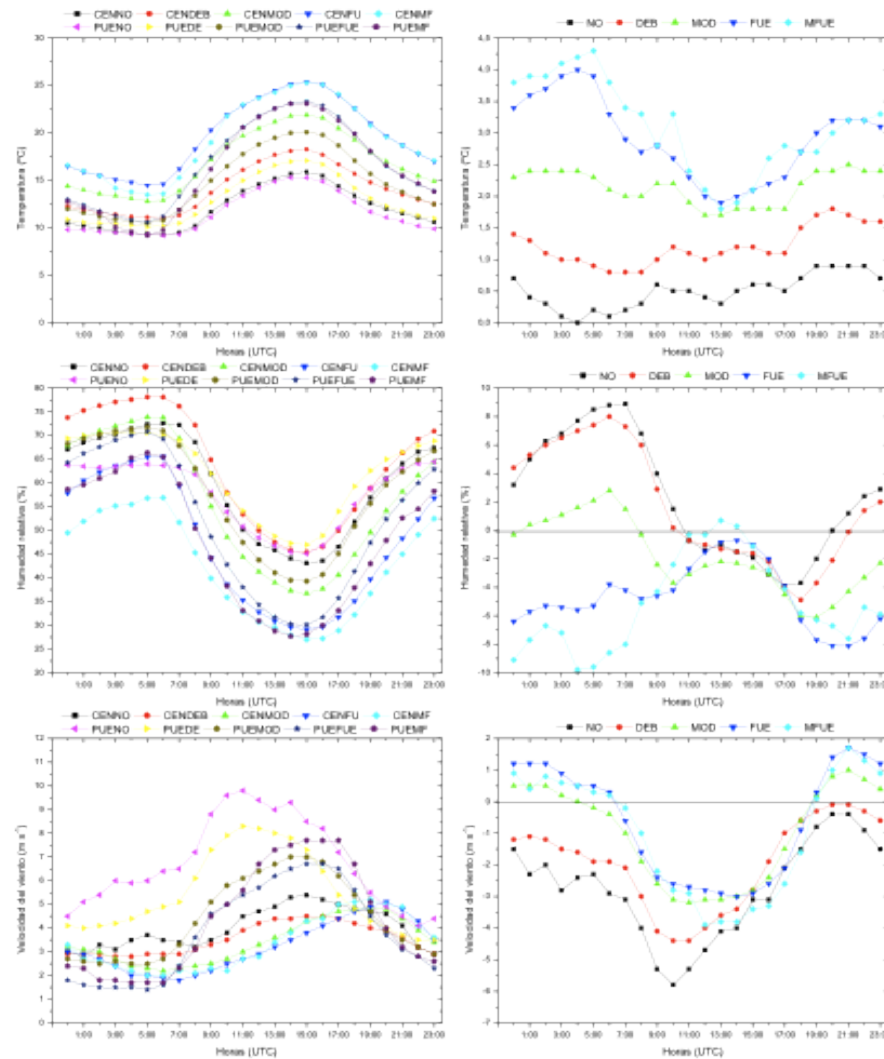


Figura 3. Evolución diaria de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en las estaciones de Centro (CEN) y Puebla del Río (PUE) en función del tipo de intensidad de isla de calor: NO, no formación de isla de calor; DEB, débil; MOD, moderada; FU, fuerte y MF, muy fuerte (izquierda). Evolución diaria de las diferencia (Centro menos Puebla) de las temperaturas, humedad relativa y velocidad del viento en función del tipo de isla de calor (derecha).

Respecto a las diferencias, tanto en los casos de no ocurrencia como con intensidad débil, la variación es muy pequeña, registrándose las mayores diferencias en el período de la tarde y primeras horas de la noche. Para el caso de intensidad moderada, las diferencias a lo largo de todo el día ya estarían por encima de los 2 °C, sirviendo además este análisis para constatar que los días seleccionados realmente cumplen el criterio impuesto para cada tipo de intensidad, con diferencias mayores durante la noche.

En el caso de intensidad fuerte y muy fuerte, las diferencias estarían siempre por encima de los 2.5 °C durante todo el día, y son las horas centrales de la noche, desde las 3:00 a las 6:00 UTC, donde se obtienen las mayores diferencias, por encima de los 3.5 °C.

De la evolución diaria que muestra la humedad relativa se puede extraer que a medida que se incrementa la intensidad de la isla de calor, los valores de humedad son menores. Si se analizan las diferencias de las evoluciones diarias, se puede obtener que para los casos de no ocurrencia de isla de calor o bien de intensidad débil, durante el período nocturno los valores de humedad en la zona urbana son más elevados que en la zona rural. Sin embargo, con días de intensidad moderada esta tendencia se comienza a invertir, y ya en los casos de fuerte y muy fuerte es a la inversa, es decir el interior de la ciudad es más seco que el área rural durante todo el día y las mayores diferencias (negativas por tanto más seco) se producen durante la noche.

De la evolución diaria de la velocidad del viento se observa como las velocidades son mayores en el emplazamiento rural que en el urbano. Mientras que, el máximo de velocidad en el área rural se presenta en las horas centrales del día, no ocurre lo mismo en el urbano. Se puede observar como en la estación de Centro, las mayores rachas de viento se obtienen a partir de las 17:00 UTC en los casos con las mayores intensidades de isla de calor, el origen pudiera estar asociado a fenómenos de carácter muy local.

Las diferencias de la evolución diaria de velocidad del viento indican que las diferencias son menores durante el intervalo nocturno, incrementándose en el diurno. En los casos de no ocurrencia o intensidad débil, los valores de las diferencias siempre son negativos, es decir, se tiene siempre mayor velocidad del viento en Puebla que en Centro. Sin embargo, en los tres tipos de intensidad: moderada, fuerte y muy fuerte; las diferencias son positivas en el intervalo nocturno, velocidad ligeramente más elevada en el área urbana que en el área rural con un incremento máximo de 1.5

m s<sup>-1</sup>. En el intervalo diurno, por el contrario, vuelven a ser negativas con diferencias que pueden llegar a alcanzar los 3 m s<sup>-1</sup>.

### Escenarios meteorológicos asociados a cada tipo de intensidad de isla de calor

Con los criterios aplicados se tiene un conjunto de días para cada tipo de intensidad de isla de calor, o bien para días en los que no se produce el fenómeno. Utilizando los mapas que muestran la meteorología sinóptica de superficie, se han analizado los mismos en función de cada tipo de intensidad, con el objetivo de determinar posibles patrones sinópticos asociados a cada uno de los tipos de intensidad.

Además, utilizando los registros de viento de Puebla del Río, se ha analizado el tipo de régimen de viento que se tiene en función de la intensidad de la isla de calor. Se ha utilizado la estación meteorológica de Puebla, puesto que al estar en una zona rural se considera más representativa de la región. La estación de Centro, o bien cualquier otra ubicada en la zona urbana, puede estar perturbada tanto en velocidad como en dirección por la geografía urbana.

### Meteorología asociada a días en los que no ha habido desarrollo de isla de calor o ésta ha sido débil

Se ha analizado la meteorología sinóptica de aquellos días en los que no se ha desarrollado isla de calor y se han obtenido escenarios definidos tanto por centros de alta como de baja de presión, pero con la característica común en la cual la Península Ibérica se encontraba sometida a un gradiente isobárico elevado, diferencias de entre 12 a 16 mb (Figura 4a).

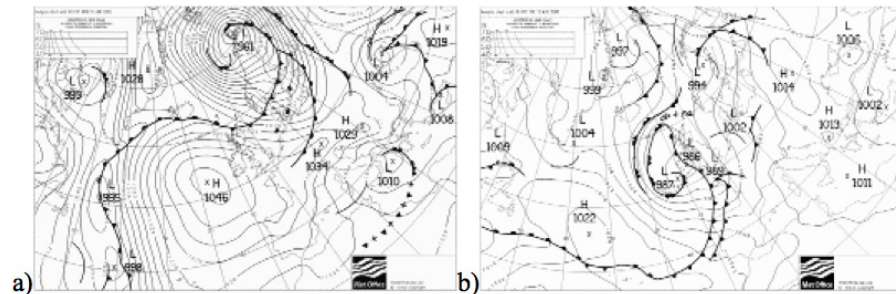


Figura 4. a) Situación sinóptica típica bajo la cual no se desarrolla isla de calor (31/01/2005 a las 00:00 UTC). b) Situación sinóptica típica bajo la cual se desarrolla isla de calor con intensidad débil (12/08/2007 a las 00:00 UTC).

Este elevado gradiente favorece que en la región de estudio se puedan tener velocidades del viento elevadas. Debido a que, este tipo de situaciones se han registrado mayoritariamente en los meses fríos, las configuraciones sinópticas que se han encontrado también estarían asociadas a la llegada de masas de aire del norte y centro de Europa, es decir, masas de aire muy frías, las cuales no propician el desarrollo de un fenómeno térmico como la isla de calor. Por tanto, no se desarrollaría el fenómeno de isla de calor debido a la elevada velocidad del viento y/o a las temperaturas tan bajas que se tendrían.

La meteorología de superficie analizada indica que los días en los que no desarrolla isla de calor se registran vientos tanto del NE como del SW, siguiendo el eje del valle del Guadalquivir, asociados a las situaciones sinópticas mencionadas anteriormente y con velocidades muy elevadas, máximos que pueden superar fácilmente los 9 m s<sup>-1</sup>.

Los escenarios sinópticos que caracterizan los desarrollos de isla de calor de intensidad débil son muy similares a los que se tienen cuando no se produce isla de calor. Generalmente, se tienen centros de altas o bajas presiones de gran intensidad con un elevado gradiente isobárico en sus alrededores (Figura 4b).

Estos hechos causan que la Península Ibérica se vea sometida a vientos con velocidades altas o moderadas, incluso si ese gradiente isobárico elevado no se tiene sobre la propia Península.

Los registros de superficie de la estación de Puebla muestran para este tipo de isla de calor, flujos constantes que pueden proceder tanto del NE como del NW, así como del SW. La diferencia respecto al caso de no formación de isla de calor está en la ocurrencia de vientos procedentes del cuarto cuadrante y que las velocidades que se miden son menores, con máximos que no llegan a superar los 7 - 8 m s<sup>-1</sup>.

### Meteorología asociada a días en los que ha habido isla de calor de intensidad moderada

Las situaciones con un desarrollo de isla de calor con intensidad moderada son los más numerosos. La meteorología sinóptica asociada a ellos presenta dos patrones bien definidos. Por un lado se tendrían configuraciones isobáricas, tanto altas como bajas que en su traslado hacia el continente europeo dejan en la zona de estudio



viento procedente del SW, este es el caso que se obtuvo el 26/06/2007, el cual se muestra en la Figura 5. También se han detectado situaciones en las que la Península Ibérica se encuentra bajo un gradiente isobárico débil, en este caso se llegan a desarrollar procesos de mesoescala.

Tanto en los casos que se tengan flujos con un origen sinóptico desde el SW como en los que haya procesos recirculatorios de mesoescala, las velocidades del viento máximas no superan los 5 m s<sup>-1</sup>.

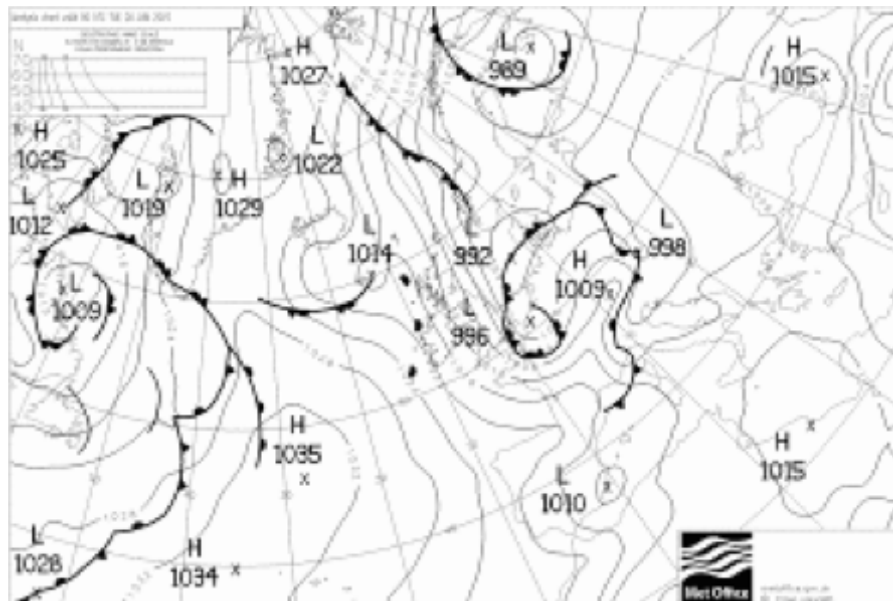


Figura 5. Situación sinóptica típica bajo la cual se desarrolla isla de calor con intensidad moderada (26/06/07 a las 00:00 UTC).

### Meteorología asociada a días en los que ha habido isla de calor de intensidad fuerte y muy fuerte

Las islas de calor de intensidad fuerte se desarrollan bajo una meteorológica sinóptica que viene determinada generalmente por un anticiclón atlántico. Sobre la Península Ibérica se puede tener un débil gradiente isobárico, con una variación máxima de 8 a 12 mb, como se puede observar en los mapas de superficie mostrados en la Figura 6, en jornadas en las cuales se desarrolló isla de calor en el área de Sevilla con este tipo de intensidad.

La meteorología de superficie en Sevilla está caracterizada mayoritariamente por procesos de mesoescala, es decir brisas de costa que se generan en el golfo de Cádiz y que se trasladan hacia el interior del valle. Además, también se han encontrado escenarios, aunque con menor frecuencia, con flujos desde el SW. Tanto cuando se desarrollan procesos de mesoescala como con situaciones del SW la velocidad del viento máxima no es superior a los 4 m s<sup>-1</sup>.

La meteorología sinóptica que caracteriza la ocurrencia de isla de calor con intensidad muy fuerte viene marcada en la zona del valle del Guadalquivir por ausencia de gradiente isobárico. Generalmente este tipo de situaciones vienen dominadas por un centro de altas presiones que se ubica en el Atlántico (Figura 6), aunque también se pueden encontrar bajas presiones al norte de la Península Ibérica.

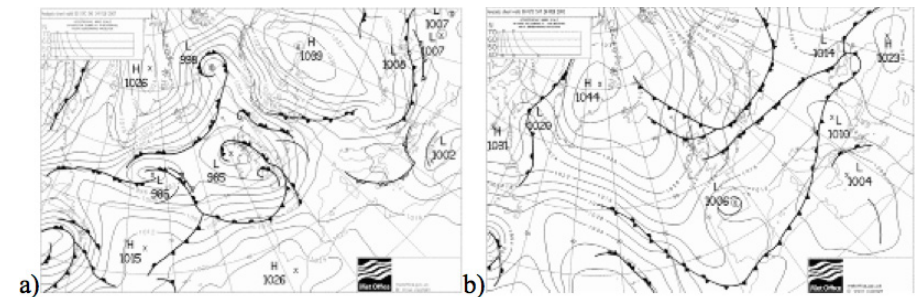


Figura 6. a) Situación sinóptica típica bajo la cual se desarrolla isla de calor con intensidad fuerte (24/02/2007). b) Situación sinóptica típica bajo la cual se desarrolla isla de calor con intensidad muy fuerte (26/02/2005).

A nivel de superficie se registran en todos los casos brisas, es decir la ocurrencia de islas de calor de intensidad muy fuerte está asociado en el área de Sevilla al desarrollo de proceso de mesoescala. No se ha encontrado ningún otro tipo de escenario para este tipo de intensidad.

### CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio para identificar la existencia de las islas de calor en el área metropolitana de Sevilla, la cual es la urbe con la mayor población (aproximadamente 1.5 millones de habitantes) del sur de la Península Ibérica. Se han utilizado dos estaciones meteorológicas para realizar este estudio, una de ellas representativa

de la zona urbana, estación de Centro y otra de la zona rural, estación de Puebla del Río. Como parámetro para identificar la ocurrencia de este fenómeno se ha utilizado la diferencia de las temperaturas mínimas. Se ha aplicado unos criterios para clasificar las islas de calor en función de cinco tipos de intensidades. El estudio se ha extendido durante el período de 2002 a 2008.

Se ha podido constatar que en la mayoría de los años (cinco de siete) se produce este fenómeno todos los días, y en aquellos años en los que en algún día no se produce, su porcentaje es muy bajo. Los días con intensidad de isla de calor tipificada como débil ocurren de media en el período considerado un 28%, mientras que la moderada en un 44% y la fuerte en un 22%.

Cualquier tipo de intensidad se puede encontrar en cualquier época del año, sin embargo en los meses fríos son más comunes las intensidades débiles. Las moderadas ocurren de con frecuencias similares a lo largo de todo el año, y las fuertes y muy fuertes, son más frecuentes (se triplican en algunos casos) en los meses centrales del año.

Se han analizado los valores máximo, media y mínimos diarios de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en función de cada tipo de intensidad. Al aumentar la intensidad de la isla de calor también aumentan los valores de temperaturas de los tres estadísticos analizados. Comportamiento opuesto se obtiene con la humedad relativa, sin embargo, en el caso de la velocidad del viento no se ha podido llegar a definir un patrón de comportamiento claro.

La variación media diaria de estas tres mismas variables también se ha analizado en función del tipo de intensidad. Finalmente se han buscado patrones meteorológicos con carácter sinóptico asociados a la ocurrencia de cada uno de los tipos de intensidad.

La no ocurrencia de este fenómeno o bien con carácter débil se produce bajo fuertes flujos del NE y SW asociados a potentes anticiclones o borrascas con un gran gradiente isobárico. Las intensidades moderadas, las más frecuentes, se producen bajo la influencia tanto de bajas como altas presiones pero con unos gradientes isobáricos menores que en los anteriores casos y flujos de superficie desde el SW e incluso en ocasiones ocurrencia de procesos de mesoescala. Por último, los días con islas de calor fuertes o muy fuertes, están asociados a los anticiclones atlánticos con un bajo

gradiente isobárico sobre la Península Ibérica, la cual favorece la llegada de viento muy suave desde el SW o bien la ocurrencia de brisas. En el caso de la intensidad muy fuerte, únicamente se produce bajo escenarios de brisas.

## REFERENCIAS

- [1] Fernández, F., Galán, E., Cañada, R. 1998. Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas. Editorial. Parteluz. 606 pp.
- [2] Djen, C.S, Jingchun, Z., Lin, W. 1994. Solar radiation and surface temperature in Shanghai City and their relation to urban heat island intensity. *Atmospheric Environment*, 28, 2119-2127
- [3] López, A., Fernández, F., Arroyo, F. 1995. Teledetección y clima urbano. Variaciones nocturnas y diurnas de la isla de Calor Urbano en Madrid. Instituto de Economía y Geografía. CSIC. 75 pp.
- [4] Sayitoh, T. S., Shimada, T., Hoshi, H. 1996. Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island. *Atmospheric Environment*, 30, 3431-3442.
- [5] Moreno-García, M.C. 2006. Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *International Journal of Climatology*, 14, 705-710.
- [6] Kysik, K., Fortuniak, K. 1999. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lód, Poland. *Atmospheric Environment*, 33, 3885-3895.
- [7] Tso, C.P. 1999. A survey of urban heat island studies in two tropical cities. *Atmospheric Environment*, 30, 1996, 507-519.
- [8] Soler, M., Potchter, O. 2005. The urban heat island of a city in an arid zone: the case of Eilat, Israel. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 85, 81-88.
- [9] Domínguez, P. 2002. Clima regional y microclimas urbanos en la provincia de Córdoba. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba. 110 pp.
- [10] Fernández, F. 1996. Manual de Climatología Aplicada. Editorial Síntesis S.A. Madrid. España.

# Diseño y avance del Proyecto MalARRgue

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el proyecto de cooperación internacional denominado "MalARRgue", que apunta a la instalación y utilización de una red permanente densa de sismógrafos para la detección, la caracterización y el monitoreo de procesos sísmicos y tectónicos relacionados con la parte sur de la zona de subducción formada por la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana. Los objetivos principales de este proyecto son: la obtención de imágenes de alta resolución de la subsuperficie, que permitan visualizar discontinuidades tales como el Moho, cámaras de magma, caminos de fluidos, y la placa de Nazca, a partir de técnicas geofísicas novedosas (reconstrucción de la función de Green para ondas superficiales y ondas de volumen a partir del ruido sísmico ambiental y arribos de terremotos); la caracterización y monitoreo de actividad volcánica usando la reconstrucción de la función de Green; la detección y monitoreo de tremor no volcánico y eventos de deslizamientos lentos; la detección de fases manto/núcleo de alta calidad y la extensión de una base de datos global de ondas superficiales para su aplicación en tomografía de gran escala.

## INTRODUCCIÓN

Una comprensión adecuada de la estructura terrestre y de sus procesos internos es un elemento clave para un desarrollo sustentable. Como consecuencia de su potencial destructivo y del alto costo humano y material, la caracterización y el monitoreo de los fenómenos sísmicos y volcánicos siempre han sido de gran importancia. Los avances en la tecnología informática y comunicaciones han extendido en su aplicación el potencial de todos los métodos científicos existentes, permitiendo un conocimiento en aumento de los fenómenos mencionados. Además, se han incorporado nuevas y avanzadas técnicas para la caracterización del interior de la Tierra y el monitoreo de sus procesos dinámicos. Uno de estos métodos se basa en el uso de fuentes sísmicas activas sobre la superficie terrestre, o en posiciones cercanas

Deyan Draganov (1),  
Martín Gómez (2, 3),  
Elmer Ruigrok (1),

Darío Torres (2),  
José Ruzzante (2, 3).

1- CITG, Delft University of Technology, The Netherlands.

2- GOE- Proyecto ICES, GAlYANN, CAC, CNEA.

3- GEA, Facultad Regional Delta, UTN, Campana.

[d.s.draganov@tudelft.nl](mailto:d.s.draganov@tudelft.nl)

a esta, para generar ondas viajeras, que en esquemas de medición por reflexión, transmisión o refracción pueden dar información del medio por el que viajan (la estructura de la Tierra). La gran separación entre los receptores sísmicos y la necesidad de caracterizar grandes áreas del globo requiere la utilización de fuentes activas muy poderosas, lo cual genera limitaciones en el uso de las fuentes activas. Por esta razón, en general la sismología utiliza, en su lugar, los terremotos como fuentes de ondas. Una desventaja del uso de las ondas provenientes de terremotos es que estos ocurren esparcidos principalmente a lo largo de los bordes de las placas. Además, pero afortunadamente para la humanidad, la ocurrencia de terremotos relativamente fuertes es muy infrecuente. Los terremotos son registrados en estaciones sísmicas, que en general se encuentran entre sí a distancias grandes, dificultando o anulando la posibilidad de la aplicación de técnicas sísmicas que permitan una localización detallada de los fenómenos subsuperficiales.

Los últimos comentarios mencionados en el párrafo precedente sobre la distribución de las fuentes y los receptores pueden resolverse si el conjunto de los sismógrafos utilizados para determinar un fenómeno local alcanza una densidad de instrumentos satisfactoria. Por lo tanto, si por ejemplo se coloca una red permanente de estaciones sísmicas cerca de un borde de placa, se podría registrar y almacenar continuamente hasta la más débil actividad sísmica en la región y construir una gran base de datos de eventos que podrían utilizarse en tomografía por transmisión para caracterizar y monitorear tanto el borde de placa, como otras fuentes de ondas sísmicas como, por ejemplo, volcanes que se hubieran formado en las inmediaciones de esta, si la red cubre dicha zona volcánica.

Un método reciente para la caracterización y el monitoreo de la subsuperficie en la sismología global y en la de exploración es la interferometría sísmica, en la cual se recupera la respuesta sísmica al impulso (función de Green) usando ruido ambiental o ondas de sismos lejanos registrados. La correlación cruzada del ruido sísmico en dos estaciones sísmicas podría recuperar las funciones de Green entre estas dos estaciones tal como si hubiera una fuente sísmica activa en la posición de una de estas [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7]. El ruido sísmico normalmente no es usado en el procesamiento estándar de los datos sísmicos. Las fuentes de este ruido podrían estar en la superficie o cerca de esta, tal como las olas oceánicas (las cuales generan los denominados "microsisimos"), el tráfico en las carreteras, las vibraciones de maquinaria pesada, etc. Las fuentes podrían estar también a profundidad tal como los terremotos relativamente débiles que en general son registrados localmente, la micro-sismicidad generada por la extracción de petróleo, etc. Usando la función de Green recuperada, uno puede lograr la caracterización y el monitoreo de la subsuperficie entre las estaciones con una resolución muy alta. Este método ha sido usado exitosamente para obtener imágenes de la subsuperficie [4] [8], monitorear cambios en las velocidades sísmicas dentro de volcanes [9] [10] y a través de fallas [11].

### PROPÓSITO DEL ARRAY

La región cercana a Malargüe, Mendoza, Argentina, ver Figura 1, es un excelente lugar para la instalación de una red sísmica permanente para la caracterización y el monitoreo de la sub-superficie. Las principales razones que hacen a Malargüe el lugar elegido están detalladas a continuación.

La región de Malargüe está situada sobre la zona de subducción entre las placas de Nazca y Sudamérica, que a esa latitud comienza sobre el Océano Pacífico cerca de la costa de Chile y paralela a esta. La zona de subducción y sus alrededores pueden ser fuentes de terremotos como se observa en la Figura 2. Hay regiones propensas a terremotos fuertes, tal como el destructivo terremoto que sufrió Chile de magnitud 8.8 el 27 de Febrero de 2010, pero la mayoría de los sismos que se producen en general son relativamente débiles y sólo podrían ser utilizados los métodos de análisis más avanzados si las estaciones sísmicas están cerca de esas fuentes.

La utilización de una red sísmica permanente en la región de Malargüe permitiría el registro de la actividad sísmica relativamente débil relacionada a la subducción

y al volcanismo afín a esta, creándose una importante base de datos de eventos sísmicos. Además, esto podría permitir la construcción incremental de una gran base de datos de arribos telesísmicos, los cuales son ondas sísmicas inducidas por terremotos distantes. Esos datos podrían ser usados con las técnicas tradicionales de tomografía sísmica, y con la nueva técnica de reconstrucción de la función de Green para crear imágenes de alta resolución de la extensión local de la zona de subducción [12] y de los volcanes. Terremotos relativamente fuertes registrados por una red sísmica en Malargüe (MalARRgüe) y por otras estaciones y redes sísmicas en las áreas y países vecinos podrían permitir la construcción de imágenes también a escala regional [1]. El registro de ruido sísmico local y regional, y su utilización para la reconstrucción de la función de Green [13] [14] [15] podría permitir un monitoreo sin precedentes de los cambios de la subsuperficie local y regional, la zona de subducción, y los volcanes.



Figura 1: La ciudad de Malargüe, Argentina (representada por el globo azul) y su región aledaña. Los triángulos rojos y verdes indican estaciones sísmológicas instaladas.



El tremor no volcánico [16], que es un fenómeno recientemente descubierto, ha sido reportado ocurriendo de manera repetida arriba de las zonas de subducción. Dada la dificultad de esta identificación, ha sido observado sólo en ciertos lugares del mundo, por ejemplo, en el sudeste de Japón, en la zona de subducción de Cascadia, en Alaska y en el estado de Guerrero en México [17] [18] [19]. Este fenómeno aún no ha sido identificado en Sudamérica. La red MalARRgüe, dado su carácter de distribución permanente y densa de estaciones sísmicas podría presentar una perfecta oportunidad para identificar ese tremor en el caso que se presente. La detección de tremor no volcánico podría ser importante para una mejor interpretación del proceso de subducción y de la actividad sísmica relacionada con este.

Otra razón por la cual fue elegida la región cercana a la ciudad de Malargüe es que la parte sur de Argentina tiene pocas estaciones sísmicas instaladas como lo indica la distribución mostrada en la Figura 1. La posible instalación de una red permanente y su conexión con la red sismológica global podría crear interés global de los datos sísmicos registrados por la red MalARRgüe para su uso por investigadores nacionales e internacionales tanto a escala local, regional y global.

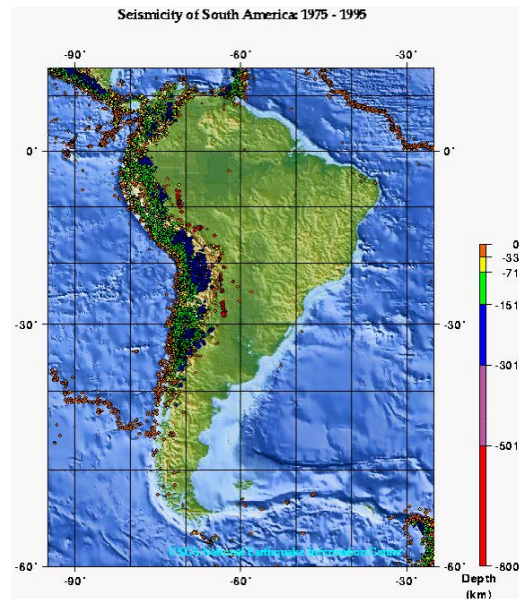


Figura 2: Mapa de sismicidad de Sudamérica.

Una siguiente razón muy importante, es que la región de Malargüe se encuentra en colaboración con la comunidad científica internacional para varios propósitos. En los últimos años la región ha visto la implementación y utilización de tres instalaciones permanentes: la parte sur del observatorio Pierre Auger (<http://www.auger.org/>), una estación de una red mundial para el monitoreo del espacio de la Agencia Espacial Europea, la antena DS3 (<http://www.esa.int/SPECIALS/Operations/>), y la estación de monitoreo multiparamétrico del Proyecto "International Center for Earth Sciences" de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (ICES-CNEA, <http://www.icesmalargue.org/petero.php>). La presencia de esos proyectos da tres importantes ventajas. La primera es que las autoridades locales están predispuestas a colaborar con la comunidad científica tanto nacional como internacional y podría contribuir para la instalación de un nuevo laboratorio científico en el campo. Siguiendo a esto, la población local y los dueños de las tierras están acostumbrados al trabajo de los científicos, aceptándolo y colaborando, dado los méritos que esto puede traer para la comunidad local. La tercera ventaja es la disponibilidad de infraestructura y facilidades locales que podría atraer a socios internacionales y hacer más sencilla la instalación de la red sísmica.

Además dado que una parte de la red está coincidente con las posiciones de las estaciones de campo del proyecto Pierre Auger, y dada la infraestructura del mismo, se le ha solicitado a sus directores internacionales y nacionales la colaboración al proyecto MalARRgüe, habiendo ellos manifestado su apoyo al proyecto sísmico. Antecedentes de este tipo de interrelación han sido tomados en cuenta en los comienzos de este proyecto. Por ejemplo, la colaboración entre astrofísicos y sismólogos, ha probado ser muy exitosa en Holanda, donde el Instituto Holandés de Radioastronomía (Astron; también socios del proyecto Pierre Auger) por un lado y el Grupo de Geofísica Aplicada y Petrofísica de la Universidad de Delft, el Instituto Meteorológico Real de Holanda (KNMI) y la Organización Holandesa para la Investigación Científica Aplicada (TNO) por el otro lado, unieron sus fuerzas y objetivos de investigación para crear el proyecto LOFAR-NedSeis (<http://www.lofar.org/>) que podrá simultáneamente registrar radiación cósmica por debajo de los 250 MHz y el ruido sísmico de la subsuperficie.



### FASE INICIAL: MEDICIONES TEMPORALES POR UN AÑO

El proyecto en Malargüe comenzó con la instalación de una red temporal de 39 estaciones sísmicas con instrumentos de período corto (2 Hz) en el lugar previsto para la red permanente MalARRgüe. El despliegue en el campo de la red temporal se muestra en la Figura 3.

En esa figura se puede observar dos subconjuntos o subredes de la red MalARRgüe, una cercana al volcán Peteroa denominada "Red P" y otra en el campo en una región aledaña a la ciudad de Malargüe con forma de la letra T y denominada "Red T". Cada subred cumple un objetivo predeterminado así como la conjunción de ambas.

Los instrumentos que se instalaron en las respectivas estaciones fueron cedidos en forma de préstamo por el plazo de un año por el centro de instrumentación del programa para estudios de la litosfera continental con redes sísmicas (PASSCAL) perteneciente al conjunto de instituciones de investigación incorporadas de sismología (IRIS) de EEUU. El programa PASSCAL fue creado para proveer a instituciones científicas equipo sismológico de campo a modo de préstamo, generalmente por el plazo de un año, para efectuar investigaciones con redes sísmicas locales, regionales y globales. Respecto de la red temporal MalARRgüe, 38 de las estaciones estarán equipadas con sensores de tres componentes marca Sercel L-22, mientras una estación estará equipada con un sensor de tres componentes marca Guralp modelo CMG-40T. Cada una de las 39 estaciones tendrá también un adquisidor de datos sísmicos marca Reftek modelo 130B, un reloj GPS marca Garmin y un panel solar. El equipamiento de PASSCAL será utilizado para el registro continuo de ruido sísmico ambiental y arribos de fuentes sísmicas cercanas y distantes en el lapso de un año. La instalación de las estaciones ha sido efectuada entre los meses de enero y marzo de 2012. En 2013 todos los equipos serán retornados a su lugar de origen (IRIS/PASSCAL). Los resultados obtenidos con la red temporal servirán para hacer una detallada planificación para la red permanente MalARRgüe.

Como parte de la instalación temporaria, también se instalaran sismógrafos producidos localmente en posiciones coincidentes con tres estaciones con los equipos de PASSCAL con el fin de comprobar su correcto funcionamiento. Esos sismógrafos fueron desarrollados por ICES Argentina.

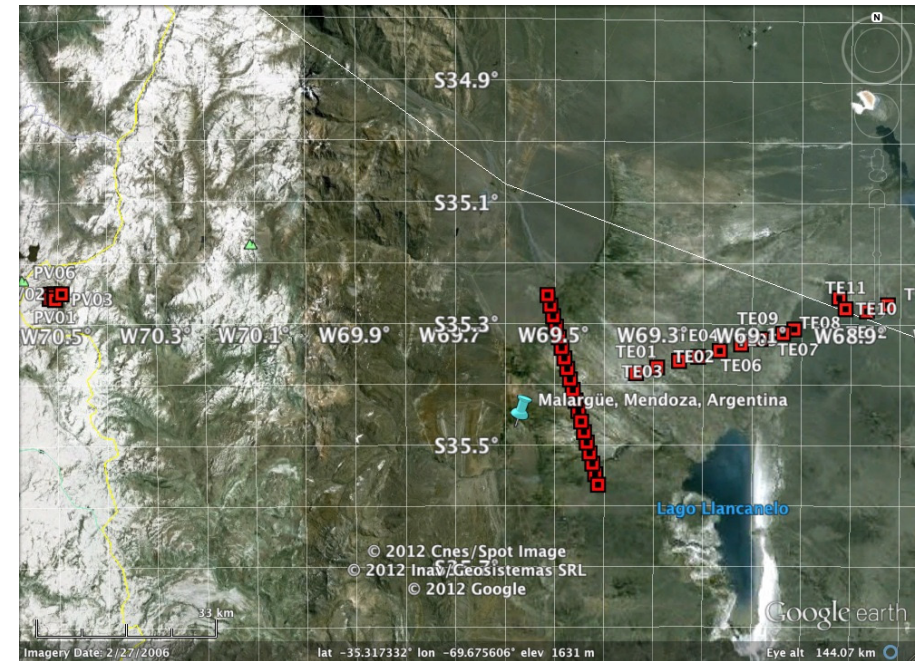


Figura 3: Distribución de las estaciones sísmicas (cuadrados rojos) para la red temporaria.

### REFERENCIAS

- [1] Campillo, M. and A. Paul, 2003, Long-range correlations in the diffuse seismic coda: Science, 299, 547–549.
- [2] Snieder, R., 2004, Extracting the Green's function from the correlation of coda waves: a derivation based on stationary phase: Physical Review E, 69, 046610.
- [3] Wapenaar, K., 2004, Retrieving the elastodynamic Green's function of an arbitrary inhomogeneous medium by cross correlation: Physical Review Letters, 93, 254301.
- [4] Shapiro, N. M., M. Campillo, L. Stehly, and M. H. Ritzwoller, 2005, High resolution surface wave tomography from ambient seismic noise: Science, 307, 1615–1618.
- [5] Draganov, D., K. Wapenaar, W. Mulder, J. Singer, and A. Verdel, 2007, Retrieval of reflections from seismic background-noise measurements: Geophysical Research Letters, 34, L04305.
- [6] Wapenaar, K. and R. Snieder, 2007, Chaos tamed: Nature, 447, 643.

- [7] Curtis, A., H. Nicolson, D. Halliday, J. Trampert and B. Baptie, 2009, Virtual seismometers in the subsurface of the Earth from seismic interferometry: *Nature Geoscience*, 2, 700–704.
- [8] Draganov, D., Campman, X., Thorbecke, J., Verdel, A., and Wapenaar, K., 2009, Reflection images from ambient seismic noise: *Geophysics*, 74, A63-A67.
- [9] Sens-Schönfelder, C. and U. Wegler, 2006, Passive image interferometry and seasonal variations of seismic velocities at Merapi Volcano, Indonesia: *Geophysical Research Letters*, 33, L21302.
- [10] Brenguier, F., N. Shapiro, M. Campillo, V. Ferrazzini, Z. Duputel, O. Coutant, and A. Necessian, 2008a, Toward Forecasting Volcanic Eruptions using Seismic Noise: *Nature Geoscience*, 1, 126–130.
- [11] Brenguier, F., M. Campillo, C. Hadziioannou, N. M. Shapiro, R. M. Nadeau, E. Larose, 2008b, Postseismic Relaxation Along the San Andreas Fault at Parkfield from Continuous Seismological Observations: *Science*, 321, 1478–1481.
- [12] Ruigrok, E. X. Campman, D. Draganov, and K. Wapenaar, 2010, High-resolution lithospheric imaging with seismic interferometry: *Geophysical Journal International*, 183, 339-357.
- [13] Bensen, G. D., M. H. Ritzwoller, M. P. Barmin, A. L. Levshin, F. Lin, M. P. Moschetti, N. M. Shapiro and Y. Yang, 2007, Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements: *Geophysical Journal International*, 169, 1239-1260.
- [14] Yao, H., X. Campman, M. V. de Hoop, R. D. van der Hilst, 2009, Estimation of surface wave Green's functions from correlation of direct waves, coda waves, and ambient noise in SE Tibet: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 177, 1-11.
- [15] Masterlark, T., M. Haney, H. Dickinson, T. Fournier, and C. Searcy, 2010, Rheologic and structural controls on the deformation of Okmok volcano, Alaska: FEMs, InSAR, and ambient noise tomography: *Journal of Geophysical Research*, 115, B02409.
- [16] Obara, K., 2002, Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan: *Science*, 296, 1679-1681.
- [17] Rogers, G., and H. Dragert, 2003, Episodic tremor and slip on the Cascadia subduction zone: The chatter of silent slip: *Science*, 300, 1942– 1943.
- [18] Payero, J. S., V. Kostoglodov, N. Shapiro, T. Mikumo, A. Iglesias, X. Pérez-Campos, and R. W. Clayton, 2008, Nonvolcanic tremor observed in the Mexican subduction zone: *Geophysical Research Letters*, 35, L07305.
- [19] Peterson, C. L., and D. H. Christensen, 2009, Possible relationship between nonvolcanic tremor and the 1998–2001 slow slip event, south central Alaska: *Journal of Geophysical Research*, 114, B06302.

# Relación entre la flora y la geomorfología en un valle precordillerano con riesgo sísmico

## RESUMEN

Las relaciones entre las propiedades de las comunidades de plantas y los ambientes geomorfológicos que las contienen son dinámicas. Factores como topografía y litología son usualmente causas de la heterogeneidad de la vegetación. La variación de la vegetación a escala de sitio o paisaje es controlada principalmente por los procesos internos que acontecen en relieves y suelos. Zonda es una depresión tectónica, ubicada entre la Precordillera Central y Oriental de San Juan, donde se desarrolla el Monte de clima árido-seco. La región presenta un alto riesgo sísmico. El objetivo de la presente es determinar los patrones de similitud florística y encontrar relaciones entre éstos y las unidades morfogenéticas. Se realizaron análisis de fotointerpretación, imágenes satelitales, apoyos de campo y muestreos sistemáticos de vegetación en seis transectas. Se determinaron los coeficientes de similaridad, análisis de cobertura vegetal y estratos. Las unidades morfogenéticas resultantes (UG) fueron: piedemonte de calizas de la Sierra Chica de Zonda (UG1), planicie aluvial del río seco de la Ciénaga (UG2), piedemonte de grauvacas de la Sierra Alta de Zonda (UG3), piedemonte de dacitas del Cerro Blanco (UG4), piedemonte de calizas y dolomías de la Sierra de Marquesado (UG5) y el mega-abanico aluvial del río San Juan, altamente antropizado (UG6). Se identificaron 58 especies agrupadas en 25 familias sin diferencias significativas de cobertura ( $F=1,30$ ,  $p=0,2414$ ). La menor similaridad está entre UG2 y UG4, mientras que la mayor corresponde a los piedemontes UG1 y UG3. Se concluye, que en esta región, los procesos locales que intervienen en la similitud de especies estarían explicados por la naturaleza de las especies presentes y secundariamente la geomorfología local. La UG6, es la unidad morfogenética más activa, joven y dinámica entre todas las UG. Asimismo los piedemontes UG1 y UG3 son unidades morfogenéticas con predominio de procesos activos y gravitacionales, disparados por la actividad tectónica actual. La dinámica geomorfológica influiría en los resultados obtenidos de los diferentes índices.

Daniel Flores (1),  
Graciela Suvires (1, 2),  
Antonio Dalmasso (2, 3).

1- *Gabinete de Geología Ambiental, FCFN-UNSJ.*

2- *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.*

3- *Instituto Argentino de Zonas Áridas, CCT - Conicet, Mendoza.*

[dflores@unsj-cuim.edu.ar](mailto:dflores@unsj-cuim.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

El valle de Zonda, ubicado al sur del río San Juan, se encuentra dentro de la provincia fitogeográfica del Monte que se extiende por el oeste de la Argentina (Cabrera, 1974). Este valle se caracteriza por poseer una riqueza y diversidad florística relacionada con factores como hidrología y geomorfología, entre otros, que interactúan de manera dinámica a diferentes escalas. Zonda es considerado en forma conjunta con el sector existente al norte del citado río, denominado Valle de Ullum (Suvires y Contreras, 2008) en donde ambos conforman el valle de Ullum-Zonda (UZ). La región es una depresión tectónica con un aluvión cuaternario que sobrepasa los 500 m. de profundidad, limitada por los cordones de Precordillera Central al oeste y Precordillera Oriental al este (Ortiz y Zambrano, 1981).

Pittaluga y Suvires (2009, 2011) muestran la diversidad geomorfológica de la depresión tectónica de Zonda, las cuencas que conforman este valle y la dinámica de las mismas determinando litología y factores que actúan actualmente. Esta heterogeneidad ambiental, sumada a la dinámica de la vegetación constituye una de las principales características de zonas áridas, como en la que se encuentra el valle de Zonda. El análisis integrado de la geomorfología, suelos y aspectos autoecológicos de las especies permite generar valiosa información (Dalmasso, 2010) y determinar la relación entre estos factores nos permite elaborar planes de manejo de los recursos naturales.

En esta región de estudio no se conoce la existencia de un relevamiento de flora asociado a la geomorfología, en consecuencia un inventario florístico se considera de gran importancia y necesario para el oasis de Zonda con un crecimiento acelerado fundamentalmente agrícola (Flores, 2009). En este trabajo se determinan di-

versos índices florísticos para tratar de encontrar sus factores determinísticos. Se encontró una relación entre algunos índices de vegetación y factores geomorfológicos y estructurales regionales y locales. Diferentes procesos internos ocurren en las unidades de relieves o UG que causan diferencias sedimentarias e hidrológicas que repercuten directamente en las características de vegetación. Procesos externos provocados por actividad tectónica da lugar a efectos como pendientes inestables, alta movilidad de los depósitos, alta proporción de derrubios gravitacionales y en definitiva inestabilidad geomorfológica que repercute en la vegetación. En síntesis, la génesis de los relieves (fluvial, eólica, coluvial y aluvial) y la actividad de procesos en los relieves fueron las asociaciones principales encontradas con la vegetación. La actividad de fallas modernas regionales que bordean los frentes montañosos, modifican los relieves actuales coexistiendo unidades activas con inactivas. Todo el ambiente es morfodinámicamente muy activo, y los procesos de erosión-sedimentación hídrica son muy eficaces.

## MATERIALES Y MÉTODO.

### Caracterización del área de estudio

Zonda, se ubica entre los  $68^{\circ} 42' W$  y los  $31^{\circ} 33' S$  (Figura 1), entre los 820 y los 760 m.s.n.m., (Morello, 1958; Cabrera, 1974; Flores 2009), es una región de clima árido, seco con una máxima media anual de  $28^{\circ} C$  y mínima media anual de  $10^{\circ} C$ . Las precipitaciones son estivales y cuyos valores oscilan entre 80 y 100 mm/año (Cabrera, 1974). La región es afectada por numerosos procesos aluvionales ahocicados a causas climáticas, gravitacional, fluvial, sísmico entre otros. Esta cuenca tiene una superficie de 125 Km<sup>2</sup>, y está rellena con un depósito de sedimentos cuaternarios (desde 1.6 ma AP), cuya dinámica continúa en la actualidad.

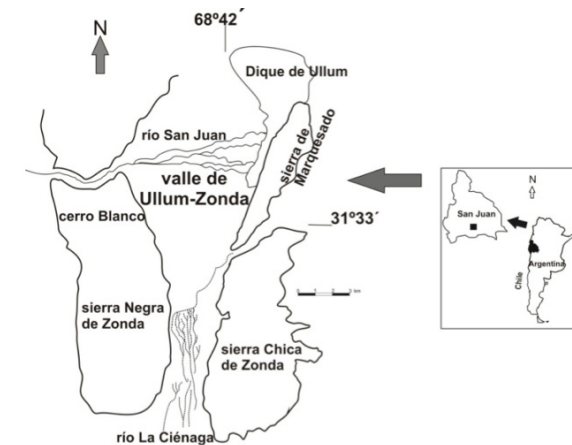


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

El presente trabajo incluyó fases de trabajo en gabinete, prospección y levantamiento de campo durante la cual se visitaron las unidades geomorfológicas del valle de Zonda, previamente obtenidas, para registrar datos específicos de vegetación, entre otros, para luego ser analizados en forma conjunta.

### Análisis de la geomorfología

Se sectorizó geomorfológicamente el valle de Zonda mediante el análisis de productos de sensores remotos, jerarquizando y clasificando las unidades del relieve, asignándolas a 4 cuencas hidrográficas principales, existentes en la depresión tectónica de Zonda, tal como se observa en la tabla 1. El análisis de la zona, el procesamiento de imágenes y el apoyo de campo, permitieron registrar temporo-espacialmente el avance de la actividad antrópica sobre las unidades geomorfológicas sin ningún tipo de control, estudio detallado u ordenamiento. Esto infiere entre otros riesgos el de aluvionamiento en época de precipitaciones estivales sobre los asentamientos humanos. La mayoría de las unidades geomorfológicas tienen procesos y rasgos evidentes de dos factores extrínsecos: el climático y el neotectónico o tectónica moderna.

### Muestreos sistemáticos de la vegetación

Sobre las distintas secuencias de UG, identificadas, se trazaron transectas de muestreo, posteriormente se las localizó en el campo con la ayuda de fotografías aéreas, mapas topográficos, y una brújula, y se comprobó los lugares con un sistema de

posicionamiento global. Las transectas se hicieron según las variaciones de campo de 30 metros de longitud, aproximadamente separadas a intervalos irregulares una de otra. En cada una de ellas se realizó un inventario y descripción de la vegetación, la cobertura vegetal se utilizó el método de Braun Blanquet (1929) y se herborizó incorporándose en el herbario. A partir del inventario de la vegetación se ponderó la distribución de los estratos (arbóreas, arbustivas, herbáceas perennes, suculentas y anuales) en las Unidades Geomorfológicas.

### Análisis de los datos

Las relaciones de similitud florística entre las comunidades a menudo conducen al establecimiento de patrones de distribución, condicionada por varios factores que determinan la presencia o ausencia de especies en diferentes lugares. En busca de tales patrones, se analizaron las relaciones de similitud florística entre las comunidades ubicadas en la región de estudio.

### Coeficiente de Sörensen:

$$\frac{2c}{S_a + S_b}$$

$S_a$  = N° de especies en el Sitio a.

$S_b$  = N° de especies en el Sitio b.

$c$  = N° de especies compartidas en a y b.

La vegetación se analizó teniendo en cuenta la presencia o ausencia de cada una de las especies en las distintas unidades geomorfológicas presentes, las especies compartidas entre los sitios de muestreo y la forma de vida. Se aplicó análisis de la varianza y comparación de media a través del test de Tukey.

## RESULTADOS

### Geomorfología

El análisis geomorfológico mediante fotointerpretación y controles de campo se determinó la presencia de 6 Unidades Geomorfológicas (UG) principales, presentes en el valle de Zonda, cuya superficie está cubierta parcialmente por elementos representativos de la Provincia Fitogeográfica del Monte. Los seis principales ambientes numerados en el sentido de las agujas del reloj son: piedemonte de calizas de la Sierra Chica de Zonda (UG1), planicie aluvial del río seco de la Ciénaga (UG2), piedemonte de grauvacas de la Sierra Alta de Zonda (UG3), piedemonte de dacitas del

Cerro Blanco (UG4), piedemonte de calizas y dolomías de la Sierra de Marquesado (UG5) y el mega-abanico aluvial del río San Juan, altamente antropizado (UG6). En esta clasificación se hizo hincapié en la composición litológica dominante en cada UG. Asimismo se introdujo en cada una de las UG, el análisis del proceso dominante actual: degradacional, erosional, otros. (Tabla 1).

### Unidades Geomorfológicas o Ambientales presentes en el valle de Zonda (Figura 2).

La Unidad 1, ubicada en el extremo oriental de Zonda, corresponde a la Sierra Chica homónima, está conformada litológicamente por clastos de caliza y sedimentos carbonáticos, que en su sector distal se pone en contacto con los depósitos del abanico y la planicie aluvial del Río Seco de la Ciénaga.

La planicie aluvial del río Seco de la Ciénaga Unidad 2 constituye una unidad menor pero no menos importante, ya que constituye una importante aporte de sedimentos desde el sur y desde la Precordillera Central al valle de Zonda, por esta unidad drenan importantes avenidas torrenciales que depositan sedimentos gruesos y tienen un alto poder erosivo, lo que permite clasificar a esta unidad como hidrológicamente activa.

Hacia el sector occidental se ha determinado la Unidad 3, correspondiente el piedemonte de la Sierra Alta de Zonda, son depósitos adosados al borde montañoso, conformando más de un nivel de depositación. Litológicamente está constituido por una cubierta de grava, dispuestas sobre sedimentos terciarios que afloran por erosión como roca de base.

Hacia el norte de la Sierra Alta de Zonda se encuentra el Cerro Blanco Unidad 4, constituido por andesitas y dacitas pertenecientes al Terciario, que están en contacto de leve metamorfismo con los sedimentos rojizos asignados al mismo período. Apoyado en discordancia sobre el faldeo oriental de la Sa. Alta de Zonda, con afloramientos dispersos, se encuentra el Terciario correspondiente a la Fm. Albarracín.

En el extremo oriental de Zonda, se reconoce la Unidad 5, correspondiente al Piedemonte occidental de la sierra de Marquesado, que se manifiesta en forma longitudinalmente estrecho. Litológicamente es semejante (equivalente) a la Unidad 1, con la presencia de clastos de caliza y sedimentos carbonáticos, en contacto con el abanico y la planicie aluvial del Río Seco de la Ciénaga.



El mega-abanico aluvial del río San Juan o Unidad 6, se desarrolla con una pendiente moderada ( $< 5\%$ ), conformando por depósitos transportados por el río San Juan. Presenta su ápice a la altura del Cerro Blanco, alcanzando una longitud media de 23 Km de largo y 20 km de ancho, medido en su parte distal. Esta forma de origen fluvial corresponde a una agradación pleistocena proglaciar. Dentro de esta unidad se han diferenciado tres sectores distintos en textura de suelos y permeabilidad: uno proximal, otro medio y un tercero o sector distal, con sitios donde el agua aflora en superficie y otros donde el agua está en profundidad. Sobre este abanico se encuentran los asentamientos humanos y las áreas agronómicas de la región.

Dentro de este mega-abanico y en su parte central se extiende de oeste a este el cauce y llanura de inundación actual del río San Juan. La llanura de inundación acompaña al cauce lateralmente a lo largo de su recorrido hasta desembocar en el lago y embalse artificial de Ullum.

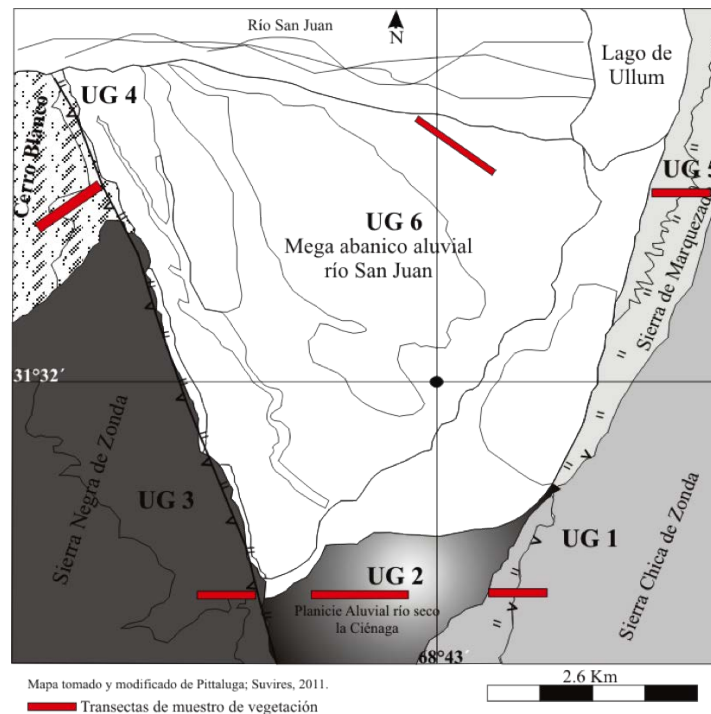


Figura 2: Zonificación del área de estudio en base a las unidades geomorfológicas.

CUENCAS	PROCESOS (MORFOGÉNESIS)	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS UG.
Cuenca 1	Denudacional	Sierra Alta de Zonda
Precordillera Central	Agradacional – deslizamientos (coluvial)	UG3. Piedemonte de Sierra Alta de Zonda
	Agradacional - coluvio aluvial	UG4. Piedemonte de C° Blanco
Cuenca 2	Agradacional – aluviones-lóbulos tamiz activos- (aluvial – coluvial)	UG 1. Piedemonte de Sierra Chica de Zonda
Precordillera Oriental	Agradacional-deslizamientos y caídas de rocas (coluvial-remoción en masa)	UG 5. Piedemonte Sa. de Marquezado
Cuenca 3 Río San Juan	Agradacional - licuefacción- erosión hídrica, revenición (fluvial y aluvial)	UG6. Mega-Abanico aluvial del río San Juan
Cuenca 4 Arroyo Seco de la Ciénaga	Agradacional, inundaciones, avulsión-erosión hídrica (fluvial, eólico leve, aluvial)	UG2. Fluvial del arroyo seco de la Ciénaga

Tabla 1: Diferentes cuencas presentes en el valle de Zonda.

### Síntesis de la vegetación

El inventario de la vegetación de las del valle de Zonda, corresponde a elementos representativos de la Provincia Fitogeográfica del Monte, con los géneros *Larrea*, *Bulnesia*, *Capparis*, *Atriplex*, *Tricomaria*, entre otros. Se identificaron 58 especies agrupadas en 25 familias que se encuentran distribuidas en las distintas UG de la zona de estudio.

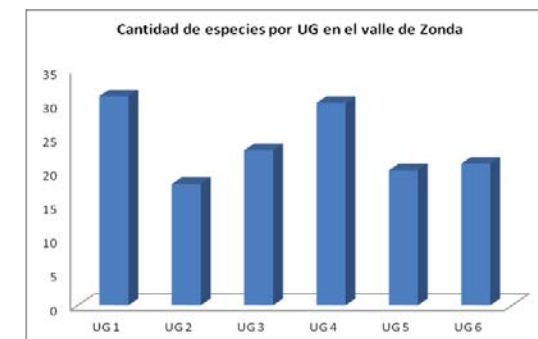


Figura 3: Distribución del número de especies presentes en cada UG.

### Índice de Similaridad de Sørensen (Tabla 2)

En general existe una matriz común de vegetación, con similitudes que superan el 50%, con excepción de las unidades UG 5 y UG 4 en relación con la UG 2. La menor similitud está entre UG 2 y UG 4, mientras que la mayor corresponde a piedemontes con distinta composición litológica (UG1 y UG3). Por regla general, un índice de similitud inferior a 0,5 se considera bajo (Felfli et al. 1993).

	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5	UG6
UG1	-	0,69	0,72	0,51	0,58	0,57
UG2	-	-	0,5	0,37	0,47	0,56
UG3	-	-	-	0,53	0,66	0,51
UG4	-	-	-	-	0,68	0,51
UG5	-	-	-	-	-	0,68

Tabla 2: Índices de similitud de comunidades de plantas de Sørensen.

El análisis de las formas de vida predominantes en cada una de las Unidades Geomorfológicas presentes en el valle de Zonda, muestra una predominancia del estrato arbustivo, seguido del arbóreo y las hierbas perennes.

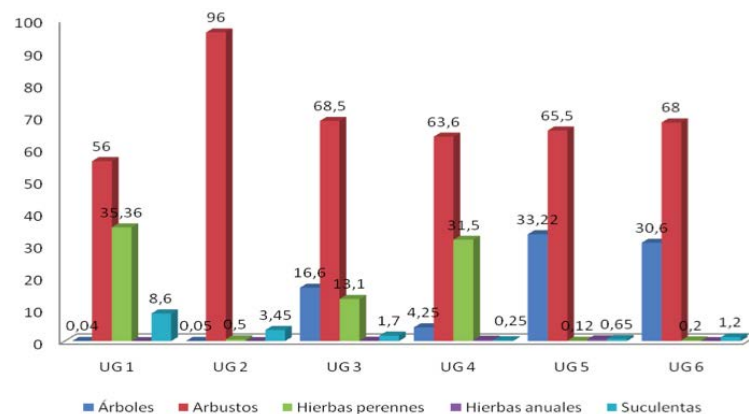


Figura 4: Distribución de los estratos vegetales en cada una de las UG presentes en Zonda.

### Cobertura vegetal en las diferentes geoformas

El análisis de la varianza para la cobertura de cada uno de los sitios, no muestra diferencias significativas para todos los sitios ( $F=1,37$ ;  $p=0,2414$ ), Tukey (Alfa=0,05 DMS=20,83068. Error: 506,7435 gl: 114).

### CONCLUSIONES

- La menor similitud está dada entre geoformas con diferentes litologías, las dos unidades (UG2 y UG4) poseen diferencias en la composición y procedencia de los elementos que las componen. UG2 son gravas y rodados provenientes de las estribaciones montañosas de Precordillera Central, formados por afloramientos sedimentarios principalmente. Mientras que la UG4 está compuesta por fragmentos y clastos angulosos de origen volcánico mesosilícico-ácido. Por otro lado, la mayor similitud se observa en dos ambientes pedemontanos aunque con diferentes litologías (UG1 y UG3), uno con depósitos sedimentarios carbonáticos principalmente y el otro con depósitos de faldeo de grauvacas. La diferencia entre ambos piedemontes en cuanto a su dinámica y morfometría es considerable, en el de sierra Alta de Zonda, la extensión y los procesos son tractivos, gravitacionales intercalados con bajadas aluvionales. El piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, en cambio, es más angosto y con mayor pendiente que el anterior. Aquí los procesos son diferentes se encuentran abanicos aluviales con superficies estables interrumpidos por áreas con depósitos activos en tránsito y sin estabilidad. En estos relieves predominan los procesos activos y agradacionales y gravitacionales, disparados por la actividad tectónica de la falla Villicum-Zonda. Esta falta o ausencia de estabilidad y simultáneamente la presencia de depósitos actuales y activos influyen notablemente en los resultados de los índices de vegetación relevados.
- La cobertura de vegetación del valle de Zonda varía entre 23 % y 36 % y representada por géneros y especies característicos de la Provincia Fitogeográfica del Monte, como son *Atriplex lampa*, *Baccharis retamoides*, *Bulnesia retama*, *Cercidium praecox*, *Deuterocohnia longipetala*, *Digitaria californica*, *Echinopsis leucanta*, *Larrea cuneifolia*, *Larrea divaricata*, *Ligaria cuneifolia*, *Lycium chilense*, *Opuntia sulphurea*, *Pappophorum caespitosum*, *Portulaca aff echinosperma*, *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa*, *Tephrocactus aoracanthus*, entre otras.

- La distribución y abundancia de la vegetación del valle de Zonda estaría controlada por factores propios de las especies presentes, tales como adaptación y tolerancia a la sequía entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Braun-Blanquet. 1929. L'origine et développement des flores dans le Massif Central de France. *Armáis Soc. Linn., Lyon* 76: 1-129.
- [2] A.L. Cabrera. 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II. Editorial ACME S.A.C.I. Regiones Fitogeográficas. Argentinas. En: W.F. Kugler (Ed.).* 57p
- [3] A. D. Dalmaso. 2010. Revegetación de áreas degradadas con especies nativas. *Bol. Soc. Argent. Bot.* vol.45, n.1-2.
- [4] J.M. Felfli, M.C. Silva Júnior, A.V. Rezende, B.W.T. Machado, P.E.N. Silva and J.D. Hay. 1993. Análise comparativa da florística e fitossociologia da vegetação arbórea do cerrado sensu stricto na Chapada Pratinha, Brasil. *Acta botanica Brasilica* 6 (2): 27-46
- [5] D. Flores. 2008. Caracterización biológica del valle de Zonda. Capítulo en Libro: El valle de Zonda. Instituto y Museo Manzini. Zonda. Registro del Archivo de la provincia de San Juan. Pag 37-48.
- [6] D. Flores. 2009. Distribución del recurso flora, su condición e implicancias para el manejo sustentable del valle de Zonda, San Juan. Encuentro Internacional de Ciencias de la Tierra. EICES 5. Malargüe, Mendoza.
- [7] J. Morello. 1958. La provincia fitogeográfica del monte. *Opera Lilloana. N° 2. Tucumán Argentina). Fundación Miguel Lillo. 1958. 155 p.*
- [8] A. Ortiz and J. J. Zambrano. 1981. La provincia geológica Precordillera Oriental. VIII Congreso Geológico Argentino. Actas III, San Luis, Argentina.
- [9] J.A. Rocca. 1969. Geología de los valles de Tulum y Ullum-Zonda. Provincia de San Juan. PASNOA. p 1-210, Tomos 1 y 2. CRAS. San Juan. Argentina.
- [10] G. Suvires. 2008. Geomorfología del valle Ullum Zonda. Capítulo en Libro: El valle de Zonda. Instituto y Museo Manzini. Zonda. Registro del Archivo de la provincia de San Juan. Congreso Argentino de Archivo. 2008. San Juan. Tomo 1:37-50. ISBN 9789872468507. Archivo provincia San Juan. Gob. De San Juan.
- [11] G. Suvires and V.H. Contreras. 2008. Late Cenozoic geomorphology and Geology of Loma de Las Tapias, San Juan Province, western part of Argentina. Capítulo en Libro "Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina". In pres, pp: 1-14. Salta. Instituto del Cenozoico.
- [12] M. A. Pittaluga y G. M. Suvires, 2009. Geomorfología dinámica en depósitos cuaternarios del valle de Zonda para el ordenamiento territorial. Provincia de San Juan" E-ICES 5, pp: 231-235, Malargüe, Mendoza. En Actas. Noviembre 2009.
- [13] M. A. Pittaluga y G. M. Suvires. 2011. Sensibilidad Ambiental a la Licuefacción de Suelos en el Oasis Productivo de Zonda. Provincia de San Juan. Argentina E-ICES 7. Malargüe, Mza. En prensa. Actas de resúmenes.

# El Remonte Térmico de finales del periodo colonial en Chile y Argentina

M. Gascón (1),  
C. N. Caviedes (2).

1- *Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales, Conicet. Mendoza.*

2- *Department of Geography, University of Florida.*

[gascon@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:gascon@mendoza-conicet.gob.ar)

## RESUMEN

El periodo de alza termal denominado Remonte Térmico (RT) marca el fin de la Pequeña Edad Glacial (PEG). A diferencia de la PEG, el RT ha sido poco reconocido como tal y en sus notorios efectos sobre las sociedades, tanto por historiadores como por los expertos en cambios climáticos y crisis ambientales mundiales. En este trabajo se presenta una síntesis de los eventos más significativos del RT para Chile y Argentina, un calentamiento generalizado que se registró en la documentación a partir de 1710. Destacamos los efectos de esa perturbación climática y su superposición con otros eventos periódicos como El Niño (ENOS) en el extremo extra-tropical de América del Sur. El objetivo es poner de relieve los efectos de estas fluctuaciones en el desarrollo histórico de aquellas sociedades coloniales, mostrando cómo el clima en sus efectos sobre el ambiente tuvo un rol importante que debe considerarse como parte de las explicaciones históricas.

## INTRODUCCIÓN

El periodo de aumento de temperaturas que hemos denominamos "Remonte Térmico" (c. 1710-1810) –RT– marca el fin de la PEG. A pesar de una apreciable evidencia documental al respecto, el RT ha sido escasamente reconocido por los expertos en cambios climáticos y crisis ambientales mundiales. Lo mismo es válido para los historiadores, en su mayoría todavía reticentes a incorporar el clima como un factor explicativo; salvo que se trate de especialistas en historia ambiental.

Los efectos devastadores del calentamiento sobre las sociedades coloniales pueden ser bien documentados en Chile central y Argentina. Algunos eventos relacionados con la sequía que comenzó a sentirse en el último tramo del siglo XVIII han sido referidos en forma aislada, de modo que se hace necesaria una síntesis que realce las implicaciones de este calentamiento generalizado después de la PEG en el período previo a las revoluciones independentistas en América.

## MÉTODOS

### Planteo del Problema

Desde mediados del siglo XVIII varios episodios críticos marcan el fin de PEG y la transición al RT [1]. En otros trabajos hemos dado cuenta de cómo el período frío y húmedo de la PEG afectó negativamente al proceso de colonización en Chile y en Argentina [2]. A partir de 1770, sin embargo, se registra un aumento de las temperaturas globales. Documentos de la época, tales como las actas de los cabildos, atestiguan sequías prolongadas que provocaban disrupciones importantes. Estas disrupciones generaban conflictos en el seno de la sociedad por el acceso a elementos indispensables como el agua y los pastos; y generaban conflictos con los nativos como fue en el caso de las pampas.

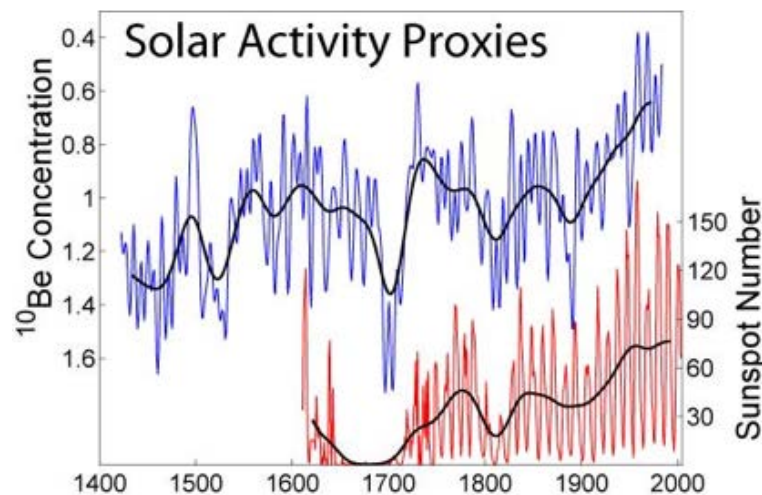
Ponemos de relieve los efectos que tuvo la fluctuación climática generalizada que fue el RT y que marcó el fin de la PEG. Ambos eventos fueron periodos climáticos en el extremo extra-tropical de América del Sur que pueden detectarse por sus efectos registrados en diversos documentos, principalmente en las actas de los cabildos. Además de haber analizado esas actas, la información particular ha sido considerada teniendo en cuenta los trabajos más generales disponibles sobre las fluctuaciones climáticas globales.

### Análisis de Datos

Fluctuaciones como la PEG y el RT están asociadas al número de las manchas solares y a las erupciones volcánicas. Estos eventos, a su vez, condicionaron una frecuencia e intensidad mayor de los fenómenos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) [3]. O sea, las oscilaciones climáticas en América del Sur que señalamos para Chile y Argentina durante la colonia no ocurrieron disociadas de otras variaciones de dimensiones mundiales, sino en estrecha relación con ellas.

Brevemente, recordemos que el nadir de la PEG ocurrió durante el Mínimo de Maunder (1670-1715) que corresponde a una gran reducción en el número de manchas solares. El impacto del Mínimo de Maunder sobre nuestro planeta fue severo: bajas temperaturas y cruentos inviernos en los continentes del hemisferio norte atestiguan esta baja de la radiación solar [4]. En el Hemisferio Sur – y debido al predominio de las masas oceánicas – el efecto de la baja insolación quizás no fue tan marcado, pero igualmente hay testimonio en las fuentes. Efectivamente, nuevas investigaciones de la historia climática de América del Sur extra-tropical durante la época colonial señalan que los períodos de frío y humedad fueron una respuesta a la baja la radiación solar y a otros condicionamientos locales [5].

Para Chile y Argentina, la irrupción de los europeos ocurrió cuando comenzaba la PEG y el proceso de consolidación de la colonización ocurría acercándonos al Mínimo de Maunder. Todavía falta concentrarse en los impactos que esta situación tuvo en la propagación de enfermedades que tuvieron un efecto de disminución de la población nativa carente de inmunidad. Sabemos que la viruela causó estragos al punto de hablarse del colapso demográfico que duró hasta mediados del siglo XVII. Sabemos menos de enfermedades respiratorias como la gripe que, en un medio ambiente frío y húmedo, debieron propagarse con suma facilidad. Teniendo presente esto, la relación entre el clima y los procesos históricos más decisivos de nuestro continente resulta ser una relación directa y crucial.



En este gráfico de D. V.Hoyt y K. H. Schatten (1998) la línea roja muestra cómo a fines del siglo XVII y comienzos del XVIII existió el más bajo número de manchas solares del período de mediciones instrumentales. Esto condicionó un descenso notable de los indicadores bio-climáticos ("solar activity proxies", en la línea azul) de principios de 1700. Hacia 1710 se da un incremento de las manchas solares que culmina hacia 1770. El RT está marcado por una mayor actividad vegetal, anillos arbóreos anchos y proliferación de corales. A comienzos del 1700, un aumento en el número de las manchas solares indica que el Mínimo de Maunder se disipa y que una fase de calentamiento comienza a establecerse [6].

## RESULTADOS

Existen varios indicadores documentales del RT en sus efectos sobre las colonias de Chile central y Argentina. Desde 1770 hasta comienzos del 1800 los indicadores bio-climáticos prueban una clara reacción a la creciente actividad solar y en concomitancia – pero de manera independiente – se observa una mayor frecuencia de explosiones volcánicas en la franja tropical de la Tierra que aumentaron el velo atmosférico causado por las cenizas, alterando el balance térmico [7].

Estas alteraciones se manifiestan en una mayor frecuencia e intensidad de los períodos de calentamiento del Pacífico tropical (ENOS). Como consecuencias de esta activación de los sistemas oceánicos y terrestres hubo una mayor ciclogénesis en el Pacífico y Atlántico tropicales, más huracanes y aumento de los períodos de humedad y temperaturas altas [8]. Entre 1710 y 1810 hubo 40 episodios ENOS, comparados con los 19 del período frío-húmedo mundial de 1600 a 1700. Los ENOS más intensos ocurrieron en 1766, 1737, 1761, 1720 y 1721, 1783 y 1784, 1772, 1791 a 1793, 1744, 1795, 1755, 1751, 1739 y 1740, 1728, 1776, 1804, y 1806. En esta enumeración se observa que solamente cuatro de ellos tuvieron lugar antes de 1750. Catorce ocurrieron entre 1751 y 1810. Resalta así que los ENOS tuvieron una mayor frecuencia e intensidad hacia la cúspide del RT, en la década de 1770.

Podemos admitir que momentos de escasez de agua se advertían antes de 1770. En 1717, por ejemplo, las actas de cabildo de Santiago registraban pedidos de rogativas para que lloviese, algo que era poco frecuente en el siglo XVII, cuando las actas mencionan más bien las sucesivas crecidas del río Mapocho y las inundaciones en el éjido urbano. Eso como parte de los indicadores de la PEG. En contraste, en las déca-



das iniciales del siglo XVIII únicamente en 1723 se registró una crecida del Mapocho.

Hacia 1725 Santiago no es el único cabildo preocupado por la escasez de agua. Concurrentemente, al otro lado de la cordillera de los Andes, el cabildo de Córdoba denunciaba que llevaban años padeciendo los efectos de la seca en las pampas. En Córdoba, hacia la segunda década del siglo XVIII hay pedidos para que se hagan rogativas para que lloviese. Y es interesante constatar que comienzan las luchas por el agua con su vecina, la ciudad de San Luis en Cuyo. San Luis se ubica en el borde de la denominada "la pampa seca". Acá, el comienzo del RT se sintió más que en la "pampa húmeda" que está ubicada más hacia el este de Córdoba. Dada la economía regional, era necesario tanto para Córdoba como para San Luis mantener el control de pastos y aguadas para engorde y tráfico de ganado. Por este motivo, los vecinos de San Luis miraban con preocupación a los de Córdoba mientras procuraban proteger sus aguadas para sus propios ganados. También es una evidencia interesante para dimensionar el impacto de la fluctuación en la vida colonial que el cabildo de San Luis registrara malones y movimientos de los nativos. Ellos también se movilizaban en procura de robar alimentos de las estancias españolas a medida que el calentamiento iba dejando secas zonas que antes, durante la PEG, tenían suficientes pastos y aguadas [9].

La tendencia seca de 1720 continuó y afectó la disponibilidad de alimentos. Para 1740 se registraba una fuerte carestía de ganado en Cuyo. La franja territorial afectada ahora incorporaba a la pampa húmeda. Así como había ocurrido con San Luis y la pampa seca, para 1745 la falta de pastos y aguas se sentía en las pampas del sur de Buenos Aires. Hacia 1740 el RT estaba comandando el proceso de las relaciones interétnicas. En esa década, en el sur de Córdoba los indios condujeron un malón generalizado sobre las estancias españolas para hacerse de recursos ganaderos. Las autoridades civiles de la colonia pronto comenzarían sus esfuerzos para fortalecer la frontera en las pampas, y comenzaría así a establecerse la línea de fortificaciones del Río Cuarto, en el sur de Córdoba, en la ruta hacia el puerto de Buenos Aires.

En 1768, a 200 km al sur de la ciudad de Buenos Aires se mencionaba la presencia de una fuerte sequía. Había dificultades para conseguir agua y pastos para los animales [10]. Mientras, hacia el norte, la carta de un viajero en rumbo hacia las misiones jesuíticas del NE de Argentina declaraba que lo acompañó mal tiempo y rutas deficientes,

posiblemente pantanosas [11]. Al otro lado de la cordillera, el Mapocho inundó a Santiago solamente en 1746, 1747, 1748 y luego en 1768, tal vez como una secuela del intenso ENOS 1766-67 [12]. Pero en términos generales, el RT se va haciendo presente con la merma del caudal del río Mapocho que proveía a Santiago de agua. La situación de un río con poco caudal para beber y sostener la producción agrícola fue considerada en el cabildo capitalino como un problema crítico de supervivencia en 1749.

A partir de 1752 la queja más frecuente fue por la falta de lluvia y por la merma del caudal del Mapocho. El río se alimenta mayormente de deshielos. Una rogativa en 1759 a la virgen del Socorro revela las dificultades de los pobladores para conseguir buenas cosechas en el Valle Central. En el lado argentino de los Andes, en Mendoza y en San Luis, en 1754, la queja de los vecinos era por la pésima cosecha de cereales debido a la falta de agua. Para 1770 en que consideramos que la evidencia del RT es generalizada en Chile y Argentina central, se registraba la sequía en toda la franja subtropical: en 1770 en Santiago se hizo una rogativa a la virgen del Socorro pues estaban llegando al límite y dos años después la sequía provocó a una crisis alimenticia [13]; en Cuyo y las pampas de Córdoba y Buenos Aires, la falta de lluvias y de nevadas en alta montaña afectaba incluso a las áreas tradicionalmente húmedas.

En el Chaco Gualamba (en el norte de Argentina y Paraguay) la sequía tuvo consecuencias catastróficas. Entre los indicadores indirectos de la sequía en el área de los ríos El Dorado, Pilcomayo (Chaco Norte) numerosos grupos de indígenas se acercaron a la expedición de Francisco Arias en 1780 "para ayudarlo" en diferentes tareas a cambio de "regalos", que consistían mayormente en la provisión de proteínas de carne vacuna [14]. Acá también la fluctuación climática que fue el RT estaba dirigiendo el proceso de las relaciones interétnicas.

Los picos de sequía en el Valle Central de Chile se registraron en 1774, 1777 y 1782 (con excepción de dos riadas del Mapocho en 1779 y 1783). La fluctuación climática se intuye en las referencias a severas pestes en Santiago en 1780 y 1781. En Córdoba, el máximo de la sequía ocurrió también entre 1780 y 1783; mientras que en las pampas del sur de Buenos Aires la sequedad fue intensa hasta 1785. No es un hecho casual que hacia estos años las relaciones con los nativos se deterioran al compás de la falta de alimentos y que los cabildos pusiesen atención a lo que ocurría en las zonas rurales donde los robos de animales eran frecuentes y difíciles de controlar.

## DISCUSIÓN

Durante el RT, a consecuencia de las lluvias de 1782, Santiago fue inundado por desbordes del el Mapocho, mientras que en los Andes de Mendoza hubo severas tormentas de nieve en alta montaña. Sin embargo, los efectos no progresaron más hacia el este, y en la región de las pampas no se revertió la grave sequía generalizada. Carecemos de registros de tormentas en las actas de los demás cabildos de la vertiente oriental de los Andes, lo que evidenciaría que el nivel de precipitaciones no había variado. Años calurosos se registraron en Chile, donde en 1777 una fuente exclama alarmada que el país era “un verdadero chicharrón” y también muy seco fue 1779, incluyendo una epidemia de viruela cuya relación con las condiciones atmosféricas no puede precisarse con la información disponible [15].

En Chile, un informe de 1782 expresa condiciones “extremadamente secas” y a partir de 1786 se intensificaron las rogativas a San Isidoro para que lloviese. En Córdoba, la falta de lluvias y una plaga de langostas martirizaron a los vecinos en 1787. El episodio se registra más hacia el este en 1789 cuando la escasez de lluvias y las mangas de langostas afectaron a Buenos Aires. Sólo en el Chaco Gualamba hubo lluvias intensas que aliviaron la sequía, y una inundación es consignada en una fuente de 1787.

Entre 1790 y 1798 más rogativas aparecen en las actas del cabildo chileno, revelando condiciones de sequía continua. Las actas del cabildo de Mendoza, por su parte, denotan igualmente una situación de “aridez extrema”, con excepción de 1790 en que hubo nevazones en la cordillera. Un registro dendrocronológico del *Austrocedrus chilensis* del departamento de Aconcagua refuerza la idea de lluvias escasas de 1770 a 1820 [16].

En 1791, sin revertir la tendencia del RT, Mendoza tuvo un aluvión, extremas lluvias y nevadas en invierno. Los episodios de lluvias, nevazones o aluviones en algunas colonias deben considerarse como variabilidades locales dentro de una tendencia general a la sequedad y al calor. Por ejemplo, el río Paraná, cuya cuenca se remonta hasta Brasil, tuvo bajas históricas, comparado con las crecidas frecuentes de los siglos XVI y XVII. Recordemos que las montantes obligaron a mudar a una ciudad entera – Santa Fe - para escapar de las aguas altas que, decían, se iban devorando a la ciudad, cuadra tras cuadra.

El clima árido de finales del siglo XVIII es puntualizado por episodios anormales que afectaron el suministro de comida en las ciudades: en Mendoza ya no había pesca en las por entonces amplias lagunas de Guanacache. En Córdoba en 1800 se hablaba de pestes y de vientos fuertes con granizo; un clima extremo al que los habitantes estaban desacostumbrados. Y en referencia a estas anomalías, en 1798 en Asunción del Paraguay vientos huracanados y granizadas aterraron a una población que no ha dejado otros relatos similares en las fuentes. En Montevideo a principios del 1800 hubo tormentas intensas referidas como “huracán”. En 1803 plagas de langostas asolaron las pampas argentinas, tal vez un proxy de la sequía que se proyectaba hacia el sur desde el Chaco. A pesar de esto, durante los ENOS de 1804 y 1810, hubo aumento de precipitaciones en las pampas y Buenos Aires tuvo condiciones lluviosas. Chile central y la cordillera de los Andes registraron lluvias y tormentas de nieve.

Esto indicaría que dentro del RT, los fenómenos ENOS introducían una variante que podía aminorar durante un breve periodo la situación de sequía generalizada asociada al calentamiento. Igualmente, los sucesos de clima extremo que hemos encontrado en las fuentes deben verse como evidencias de los efectos del calentamiento atmosférico.

## CONCLUSIONES

Crónicas históricas y registros de catástrofes ambientales en los documentos ofrecen ejemplos de las consecuencias en las sociedades coloniales de las fluctuaciones climáticas globales. En términos generales, sin embargo, los historiadores han sido mayormente reacios a incorporar el clima como un elemento explicativo de numerosos procesos de cambio social y político. Afortunadamente, esa reticencia se va quebrando. Aparecen dentro de la historia ambiental poderosas señales al resto de la comunidad de los científicos sociales de la necesidad de contemplar cómo el clima afectaba la disponibilidad de bienes materiales esenciales como son los alimentos y el combustible (leña). Y, por el mismo motivo, cómo se generaban condiciones de competencia que debían resolverse pacíficamente (a través del comercio y la tecnología), o violentamente (a través de la guerra y la revolución). Aun sin caer en explicaciones fáciles y mecánicas, el ambiente es un escenario que no puede ser considerado como inerte en su relación con los procesos históricos. Incorporarlo como un agente de cambios es una manera de enriquecer nuestro conocimiento del pasado.

Durante el siglo XVIII la historia climática del extremo subtropical de América del Sur revela consecuencias de la tendencia al calentamiento y de la sequedad global que marcó el fin de la PEG. Por ejemplo, el ganado cimarrón en las pampas ya no se podía cazar en las áreas cercanas a los núcleos urbanos como se hacía anteriormente. Los pasos en la cordillera de los Andes entre Chile y Cuyo se abrían más temprano (lo que indica menos nevazones). Además, se registraba la necesidad de asignar los cupos de agua para riego en ciudades como Santiago de Chile. Eso afectó la producción y el comercio, el uso de determinados ambientes y las relaciones con los indígenas.

No solamente en esta parte de América se pueden documentar interrupciones derivadas del RT. Los naufragios en el Caribe permiten reconocer un incremento de los huracanes precisamente a partir de 1770 y esta tendencia causa crisis administrativas y hambrunas en colonias inglesas y francesas. Incluso se ha propuesto que la falta de comestibles provocadas por estos desastres permitió la emergencia política y económica de las Trece Colonias de Norte América y de su influencia en el Caribe. Sabemos que tanto la PEG como el RT y ENOS han sido fenómenos con impactos globales, de modo que es necesario ir integrando fragmentos de información de las diferentes regiones para ir completando la historia climática mundial. Eso arroja luz sobre el pasado, pero también datos que pueden considerarse en las discusiones contemporáneas en referencia a los múltiples impactos del clima en la vida de las sociedades. Aquellas del periodo colonial debieron sortear los inconvenientes a través de diversos procesos de cambio y de adaptación cultural. La lección es que no siempre son procesos calmos. En numerosas oportunidades estos cambios en las condiciones ambientales derivados de fluctuaciones climáticas sostenidas han conllevado guerras y desplazamiento de poblaciones, ampliación o reducción de las redes comerciales, cambios tecnológicos, hambrunas y revoluciones que cambiaron, en última instancia, los sistemas sociales y políticos que permitían dar respuestas a situaciones ambientales que, con las nuevas condiciones climáticas, se comenzaban a volver inviables y cuestionables para dar una respuesta acertada a la relación de una sociedad con su entorno natural.

## REFERENCIAS

- [1] C. N. Caviedes, 1991. Five hundred years of hurricanes in the Caribbean: Their relationship with global climatic variabilities. *Geo. Jou.* 23, 301-310.
- [2] M. Gascón y C. N. Caviedes, 2010. Trazas de la Pequeña Edad Glacial en el extremo sur de Sudamérica (1618-1810). *Actas 6-ICES*, 131-138.
- [3] G. M. L. Wigley, 2000. ENSO, volcanoes and record-breaking temperatures. *Geophys. Re. Lett.* 27, 4101-4104; D. Shindell, D. Rind, N. Balachandran, J. Lean y P. Lonergan, 1999. Solar cycle variability, ozone and climate. *Sc.* 284, 305-308; J. B. Adams, M. E. Mann y C. M. Ammann, 2003. Proxy evidenced for an El Niño-like response to volcanic forcing. *Nat.* 426, 274-278; R. Kerr, 2003. Volcanic Blasts Favor El Niño Warmings. *Sc.* 299, 336-337; G. Miller et al. 2012. Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks. *Geophys. Res. Lett.* 39, L02708, doi:10.1029/2011GL050168.
- [4] J. Luterbacher, R. Rickli, E. Xoplaki, et al., 2001. The late Maunder Minimum (1690-1715), a key period for studying decadal climate change in Europe. *Clim. Chan.* 49, 441-462.
- [5] M. Gascón y C. N. Caviedes, 2012. Clima y Sociedad en Argentina y Chile colonial. *Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura* (en prensa).
- [6] C. N. Caviedes, 2001. *El Niño in History*, Gainesville, Univ. Presses of Florida; y C. N. Caviedes, 2005. *Das Klima macht Geschichte*, Darmstadt, Plenum Verlag.
- [7] P. D. Jones, K. R. Briffa, T. P. Barnett y S.F.B. Tett, 1998. High-resolution Palaeoclimatic Records for the last Millennium: Interpretation, Integration and Comparison with General Circulation Model Control-run Temperatures, *The Holoc.* 8, 455-471.
- [8] J. Gergis y A. M. Fowler, 2009. A history of ENSO events since A.D. 1525: Implications for future climate change. *Clim. Chan.* 92, 343-387.
- [9] M. Gascón, 2011, *Periferias imperiales y fronteras coloniales en Hispanoamérica*, Buenos Aires, Dunken.
- [10] J. R. Deschamps, O. Otero y E. P. Tonni, 2003. Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX, Documento de Trabajo N° 109, Univ. Belgrano, [www.ub.edu.ar/investigaciones/dt\\_nuevos/109\\_deschamps.pdf](http://www.ub.edu.ar/investigaciones/dt_nuevos/109_deschamps.pdf).
- [11] R. B. Cunningham Graham, (1852-1936), *Vanished Arcadia: being some account of the Jesuits in Paraguay 1607-1767*; Project Gutenberg: Library of Congress; [www.archives.org](http://www.archives.org).

- [12] B. Vicuña Mackena, 1877. Ensayo históricos sobre el clima de Chile, Valparaíso, Imprenta del Mercurio, 74.
- [13] Idem, 83 y 84.
- [14] F. G. Arias, 1837. Diario de la expedición reduccional del año de 1780, mandada practicar por orden del Virrey de Buenos-Aires, a cargo de su ministro don Francisco Arias, coronel del regimiento de caballería San Fernando, Buenos Aires, Imprenta del Estado, [www.cervantesvirtual.com](http://www.cervantesvirtual.com).
- [15] A. de Ramón, 2000. Santiago de Chile, Santiago, Sudamericana, 116.
- [16] R. Villalba, 1994. Tree-ring and glacial evidence for the Medieval Warm Epoch and the Little Ice Age in southern South America, *Clim. Chan.* 26, 183-197.

# Estimación de la actividad geomagnética en observatorios permanentes y estaciones base magnéticas

## RESUMEN

Las técnicas para determinar los denominados 5 días más quietos Q en un mes calendario (por Quiet, quietos) provistos por la IAGA (Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía) se encuentran basados en criterios arbitrarios en la determinación de intervalos de perturbación en la conexión Sol-Tierra. En la actualidad los Observatorios Magnéticos Permanentes y Estaciones Base, de registro digital, permiten una evaluación de la selección de días calmos de mejor resolución que los registros clásicos basados en magnetogramas soportados en papel o criterios de evaluación de índices tri-horarios. A este fin se aplica la norma L1 para determinar un índice que llamaremos P1F, sobre los registros digitales diarios cada 1 minuto de la intensidad total F en nT del campo magnético. Como resultado de esta metodología se determinan los niveles de baja actividad en los observatorios de la región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS). Se compara la magnitud del índice P1F diario y se analizan los niveles de mínima actividad. El resultado muestra como ejemplo para el año 2007 la evolución del índice P1F y la cantidad de días calmos en dicho año notablemente superior a los 60 días seleccionados por la IAGA. De esta manera su aplicación en la determinación de la variación solar calma es más precisa. Como extensión de esta metodología se presenta también un análisis de los registros de estaciones base digitales que son utilizadas para la corrección de relevamientos magnéticos para determinar los intervalos de menor actividad y mejorar dicha corrección.

## Palabras claves:

Observatorios Magnéticos, AMAS, índice, variación diurna, días calmos, estaciones base.

Julio César Gianibelli (1),

Nicolás Quaglini (1).

**1-** *Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. Paseo del Bosque s/n, 1900, La Plata – Argentina.*

[jcg@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:jcg@fcaglp.unlp.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

La determinación de los 5 días más quietos en un mes es un criterio arbitrario que en realidad no contempla en la actualidad la información obtenida por las constelaciones de sondas de observación del viento solar y de la magnetosfera, en su incorporación para la detección de intervalos calmos en los registros del Campo Magnético Terrestre (CMT) en la superficie terrestre. Los observatorios permanentes de la red Intermagnet proveen por ejemplo, para el intervalo del ciclo solar 23 y el actual los valores de los elementos geomagnéticos absolutos, determinados en superficie cada 1 min., en T.U. Gianibelli y Quaglini (2008) demostraron que los niveles nocturnos (denominados Niveles de Referencia Nocturno: NRN) de los días Q mostraban una relación fuerte con el ciclo solar para los datos digitales registrados en el Observatorio Magnético de Trew, indicando que los días Q en el máximo del ciclo solar no son Q. La técnica usada consistió determinar la tendencia secular representada por un polinomio de orden 1 y el residuo analizarlo por análisis espectral no lineal. La simulación o reconstrucción del residuo se efectuó con los siguientes periodos detectados de 11.38, 4.88, 1.71, 1.0, 0.73, 0.5 y 0.1 años, con amplitudes de 6.84, 1.41, 1.48, 4.26, 1.32, 1.31, y 0.83 nT (nanoTeslas) para cada periodo respectivamente. Las fases de cada onda resultaron ser de 1°.12, 128°.46, 195°.07, 104°.36, 133°.11, 104°.22, y 33°.55. Estos resultados muestran la importancia de la onda de periodo solar y la onda anual quedando la onda semianual con una pequeña amplitud por ser el intervalo nocturno el analizado exclusivamente. La Figura 1 muestra estos resultados.



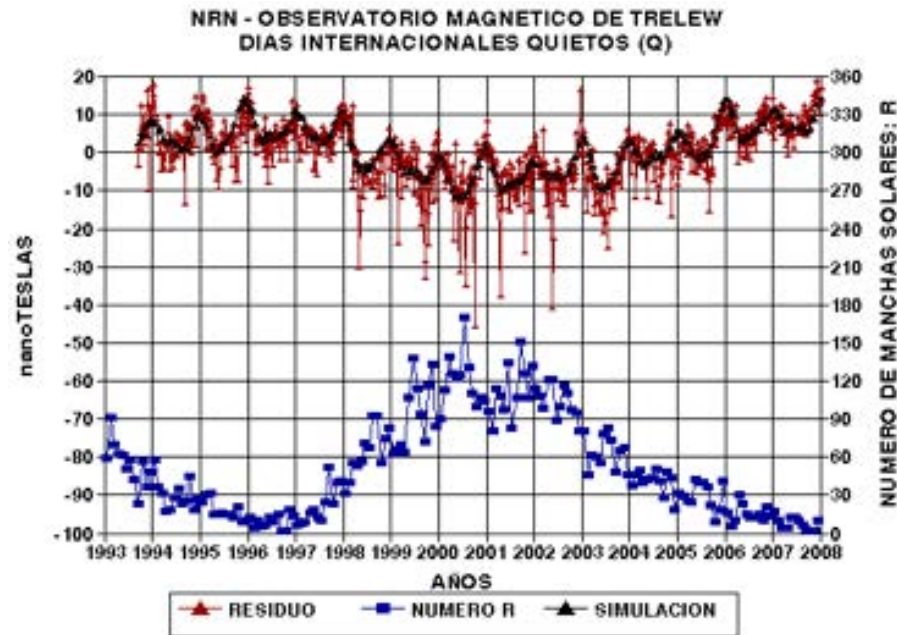


Figura 1.

La disminución del NRN, desde 1998 hasta 2005.8 muestra el efecto de la actividad solar y por ende el efecto de la corriente anillo en el lado nocturno de la tierra. Estos resultados impulsaron a desarrollar un índice de aplicación rápida sobre la intensidad total del Campo Geomagnético registrado en forma digital en Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP), por lo menos cada 1 minuto y para toda la Tierra, denominado P1F (Gianibelli y Quaglino 2009). El Campo Magnético de la Tierra determinado en los OMP, contienen los aportes de las fuentes situadas en el Núcleo externo de la Tierra, en la corteza y en la cavidad magnetosférica, incluyendo los procesos de inducción que esta última produce sobre la Tierra sólida e hidrosfera. A partir de estas determinaciones absolutas, es posible separar los campos producidos en el interior de la Tierra y los producidos en la cavidad magnetosférica, por procesos de movimientos colectivos de partículas, electrones, protones e iones, en diferentes escenarios tales como la ionósfera, plasmaesfera, cola de la magnetósfera, magnetopausa, y casquetes polares (Pröls 2004, Kallenrode 2004), cuyos efectos son determinados por diferentes índices de actividad.

La magnitud de los campos de origen externo frente al campo producido en el núcleo externo de la Tierra (denominado campo principal) y la corteza, es menor que el 5% de la magnitud total observada. El campo principal y su distribución (Gauss, 1839) sobre la superficie de la Tierra puede ser representado por un desarrollo multipolar, siendo el más importante el del orden 1 que representa el dipolo magnético, (Chapman and Bartels, 1940; Langel 1987, Langel 1995; Merrill et. al. 1996). Estos porcentajes permiten estimar para un campo principal de 60000nT en las regiones polares, valores de campo de origen externos de aproximadamente 3000nT mientras que para región Ecuatorial con un campo principal de 30000nT, variaciones del orden de 1500nT. Sin embargo el campo Magnético de la Tierra no se comporta como un dipolo, por el contrario, tiene aportes de orden superior denominado "aportes multipolares" (Lowrie 2011). Los desarrollos hasta el orden 10 representan el IGRF (Internacional Geomagnetic Reference Field) y sus coeficientes son suministrados y actualizados cada 5 años por la IAGA (Internacional Association of Geomagnetism and Aeronomy) que reflejan la evolución de una gran región anómala, denominada Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS), en las cartas isodinas de la Intensidad Total F del CMT con valores menores a los esperados si el campo fuera solo dipolar.

El objetivo de este trabajo es el análisis de la relación del índice P1F determinado en el OMP de Trelew, con parámetros del viento solar, y con el índice determinado en los OMP de la AMAS (Fig 2): Kouru (KOU), Huancayo (HUA), Vassouras (VSS), Hermanus (HER), Las Acacias (LAS) y Trelew (TRW).

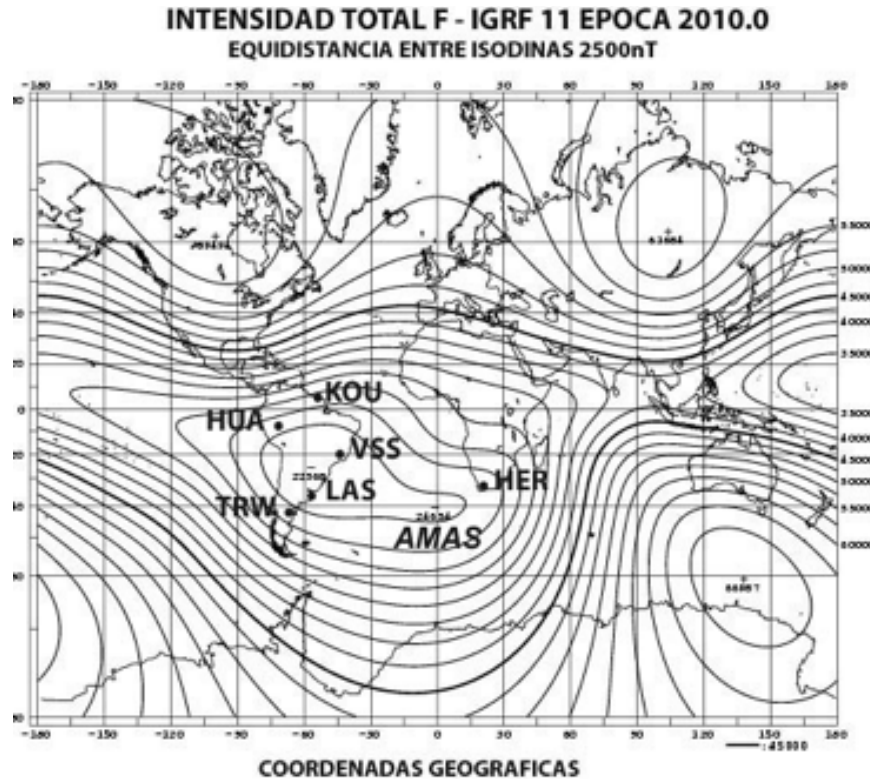


Figura 2.

Asimismo otro objetivo importante es la aplicación de la determinación del índice P1F a Estaciones Base Magnéticas (EBM) utilizadas en los relevamientos magnéticos superficiales, marítimos, aéreos y satelitales para la corrección por variación diurna, con la finalidad de observar la actividad y determinar los días o intervalos calmos.

El índice P1F, a diferencia del índice K que se determina en forma tri-horaria, no depende de una escala cuasi-logarítmica predefinida y de la utilización los registros de los elementos de la Componente Horizontal y la Declinación magnética de OMP que se encuentren entre latitudes comprendidos +70° y -70°, utiliza la intensidad del CMT y mediante la ecuación 1 puede evaluarse desde intervalos horarios, diarios o mayores sobre todo el globo terrestre.

$$P1F_{\text{INTERVALO DE K MUESTRAS}} = \sum_1^K \left| F(t_j) - \langle F_{IH}(t_j) \rangle \right|$$

Ecuación 1.

Donde K es el intervalo de muestras en la que se evalúa el índice el cual para este estudio es de 1440 muestras que corresponden a un día (Gianibelli y Quagliano 2009).

### ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS

Para el análisis de la respuesta del índice P1F respecto de los parámetros solares, se evaluaron la Velocidad (V) e Intensidad Total (B<sub>r</sub>) y componente B<sub>z</sub> con dirección sur (B<sub>z,sur</sub>) del campo magnético interplanetario, determinado por la sonda ACE, ubicada en el punto de libración gravitacional L1 entre la Tierra y el Sol, distante a 1.5x10<sup>6</sup> km de la Tierra. Se conformaron los siguientes valores promedio por rotación solar de 27 días caracterizada por el número de Bartels: V•B<sub>r</sub>; V•B<sub>z,sur</sub> y del índice P1F desde 1998 hasta 2009 como se muestra en la Figura 3.

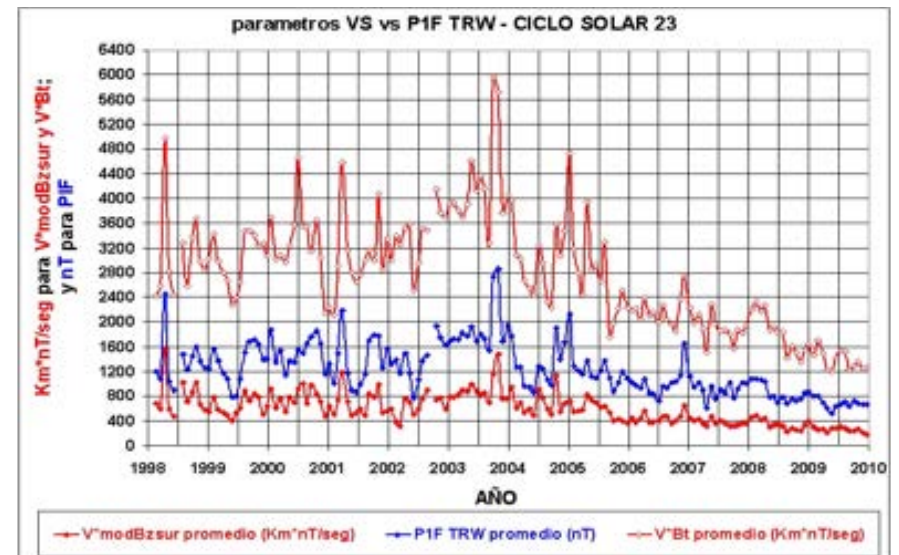


Figura 3.

Por otra parte se determinó el nivel en 700nT para la calificación de calmo para un día cualquiera en el OMP de TRW. Para ello se calculo el indice P1F para los 5 días Q de la IAGA y el valor para todos los días de TRW. La figura 4 muestra la distribución de la cantidad de días para cada intervalo de 100nT en P1F. Establecido este nivel fue posible observar la gran cantidad de días calmos existentes en los años de 2006, 2007 y 2008 (Figura 5). El año 2009 prácticamente fue totalmente calmo según el índice P1F como se muestra en la Figura 3, con una muy baja actividad del viento solar, sin embargo los días Q solo suman 60 para el 2009 según la IAGA. Esta técnica puede ser aplicada a los datos digitales de cualquier observatorio y determinar los niveles de efectos de los sistemas de corrientes equivalentes residentes en la magnetopausa, magnetosfera, cola de la magnetosfera y casquetes polares.



Figura 4.

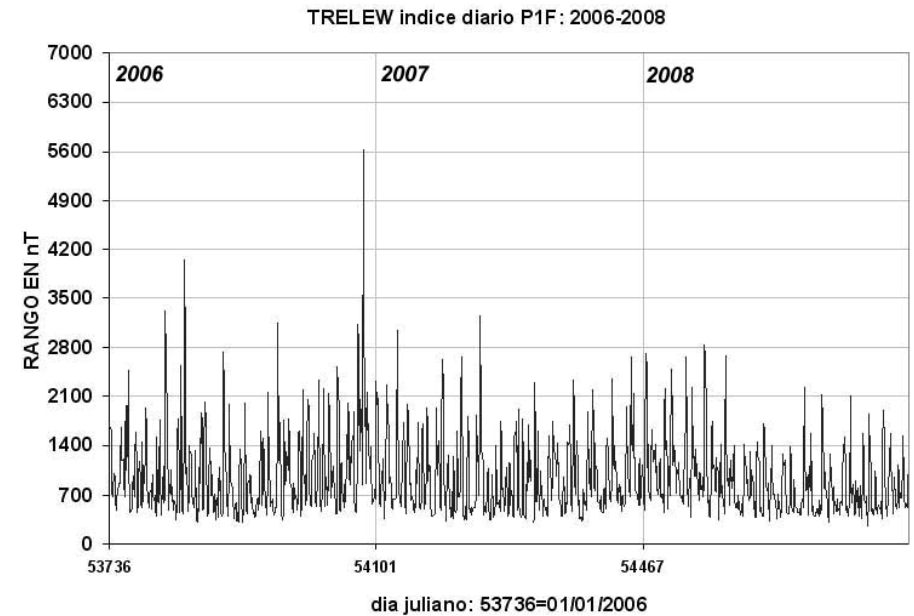


Figura 5.

La ubicación de los Observatorios de la Figura 3, tienen una relación muy importante con respecto a la AMAS, pero también en la clasificación de las regiones o zonas donde se tiene distintas características de los sistemas de corrientes equivalentes de origen externo (Campbell 1997), estos observatorios ocupan las zonas de latitudes ecuatoriales y medias del norte y sur como se observa en la Figura 6.



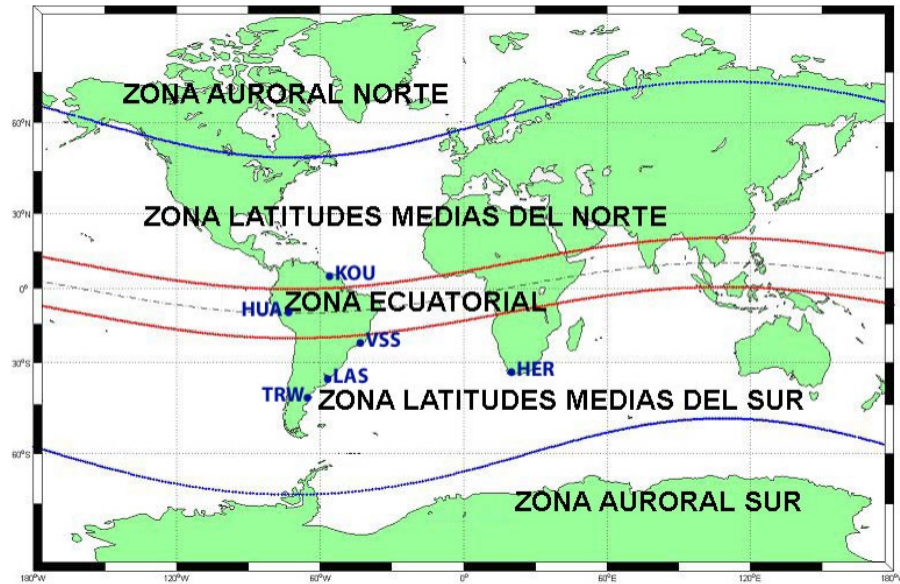


Figura 6.

Se selecciono el año 2008 y se calculó el índice P1F para todos los días de los OMP de KOU, HUA, VSS, HER, LAS y TRW con la finalidad de observar las relaciones de la actividad respecto de la determinada en TRW y hallar funciones de relación. Los resultados muestran que se desprende una linealidad entre todos los observatorios respecto de TRW mostrándose en la Figura 7 con su correspondiente función lineal.

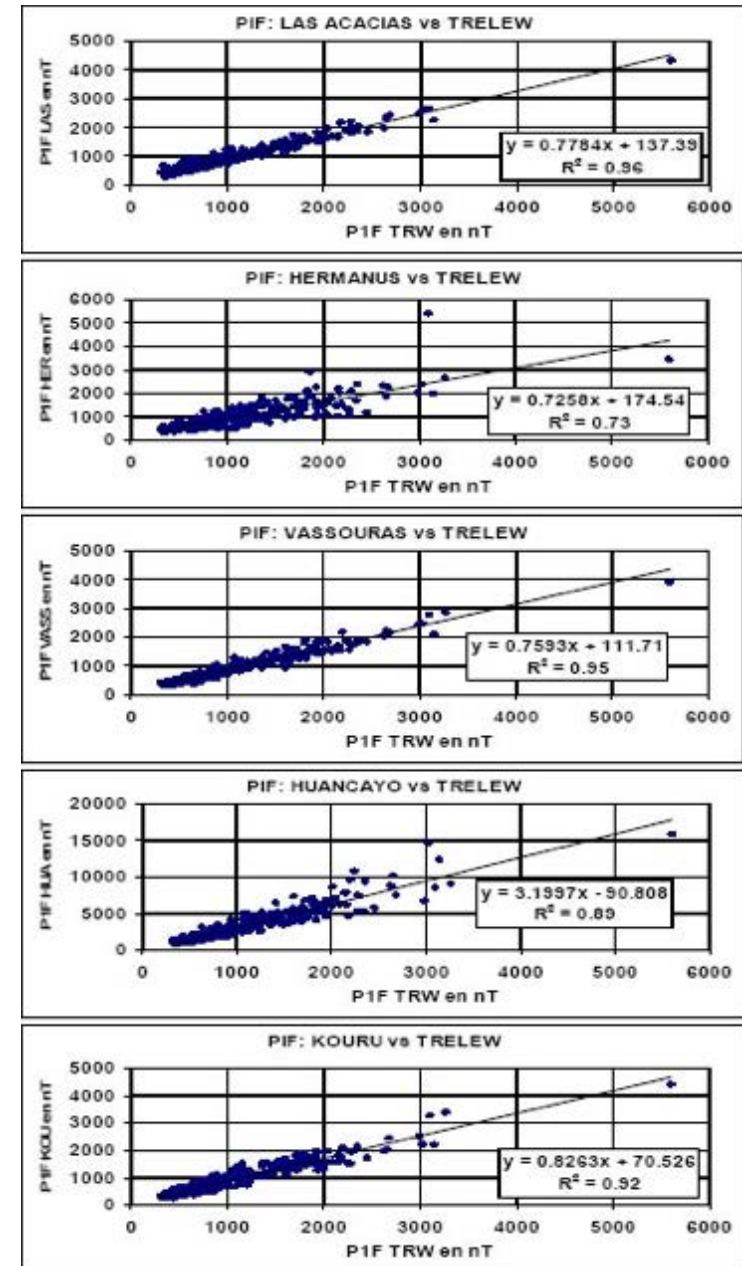


Figura 7.

El cuadrado de los coeficientes de correlación ( $0.96 < R^2 < 0.73$ ) indican una muy buena relación lineal entre la actividad de los OMP. La utilidad del índice P1F para la detección de los días calmos de los Observatorios y también del nivel máximo para dichos días calmos en cada Observatorio, resultó ser de 640nT para KOU y VSS, de 680nT para LAS y HER, de 700nT para TRW y de 2100nT para HUA por estar debajo del Electrochorro Ecuatorial (Campbell 1997).

Estos resultados facilitan la aplicación de la metodología para determinar la actividad magnética en EBM. La EBM instalada en Villaguay, Provincia de Entre Ríos por el Servicio Geológico Minero Argentino permitió analizar comparativamente con el OMP de LAS las variaciones magnéticas registradas que se muestran en la Figura 8.



Figura 8.

Se observa que existen similitudes entre las variaciones relativas de LAS y la EBM de Villaguay. Uno de los aspectos determinantes es el cálculo del índice P1F en los intervalos de registro en días de registro incompleto y día completo (Mayo 16-2009) y observar que existe un comportamiento lineal similar al comparado entre los OMP. El resultado se tiene en la Figura 9.

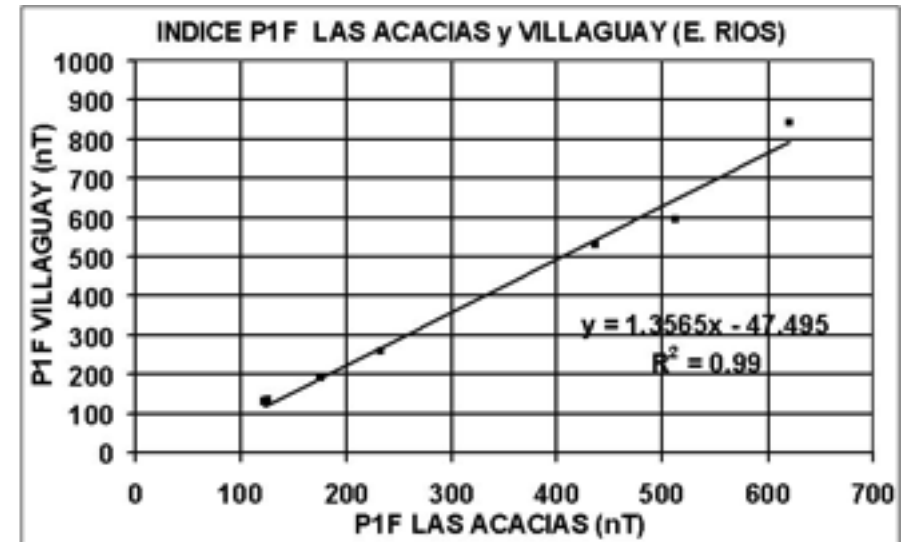


Figura 9.

## CONCLUSIÓN

La determinación de los 5 días Q y su utilidad en los análisis de valores magnéticos absolutos y relativos de OMP y EBM involucra ondas de origen solar y que no permiten análisis comparativos en diferentes épocas de un ciclo solar o entre ciclos solares. Por ende las variaciones diurnas quietas mediante este criterio arbitrario, no permite una adecuada determinación de las amplitudes. El índice P1F puede ser determinado sobre todos los OMP y EBN instalados sobre la superficie terrestre. Finalmente facilita alternativas de selección de días Calmos, determinando escalas lineales de valores en nT sobre la magnitud de la intensidad total F del CMT para la determinación de las variaciones Lunisolares en intervalos realmente calmos.



## REFERENCIAS

- [1] J. C. Gianibelli y N. Quaglino. 2008. Evolución Durante el Ciclo Solar 23 de los Niveles de Menor Actividad de la Variación Diurna para la Corrección de los Relevamientos Magnéticos. Actas del XVII Congreso Geológico Argentino-2008. Tomo III. Pp. 1089-1090.
- [2][11] J. C. Gianibelli y N. Quaglino. 2009. La Actividad del Campo Magnético Terrestre y la Determinación de los Días Calmos. XXIV Reunión Científica de la AAGG 2009 Actas pp. 261-267. <http://www.aagg2009.org/espanol/contents/trabajos>
- [3] G. W. Pröls. 2004. Physics of the Earth's Space. Environment Springer-Berlin pp. 1-533.
- [4] M. B. Kallenrode. 2004. Space Physics 3 rd ED. Springer-Berlin pp. 1-484.
- [5] C. F. Gauss. 1839. General theory of terrestrial magnetism . pp 184-251 in scientific memoirs selected from the transactions of foreign academies and learned societies and from foreign journals , Vol. 2. Taylor R. (editor). Translation into English by Mr. Sabine, revised by Sir John Herschel.
- [6] S. Chapman and J. Bartels. 1940. Geomagnetism Vol I, and Vol II Oxford University Press. London.
- [7] R. A. Langel. 1987. Main Field in Geomagnetism. ED by Jacobs J. A. Academic Press N. Y., VOL I, pp 249-512.
- [8] R. A. Langel, R. T. Baldwin and A. W. Green. 1995. Toward and Improved Distribution of Magnetic Observatories for Modeling of the Main Geomagnetic Field and Its Temporal Change. J. Geomag. Geoelectr., 47, 475-508.
- [9] R. Merrill, M. W. Mc Elhinny and P. L. Mc Fadden . 1996. The Magnetic Field of the Earth, Academic Press.
- [10] W. Lowrie. 2011. A Student's Guide to Geophysical Equations. Cambridge University Press. Cambridge. Pp. 198-226.
- [12][13] W. Campbell. 1997. Introduction to Geomagnetic Fields, Cambridge University Press. Cambridge. Pp 1-337.

# El modelo del campo geomagnético, la anomalía magnética del Atlántico Sur y la actividad solar

**Julio César Gianibelli (1).**

1- *Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata – Argentina.*

[jcg@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:jcg@fcaglp.unlp.edu.ar)

## RESUMEN

Los modelos del Campo Magnético Terrestres se conocen desde 1550 y están basados en un desarrollo en esféricos armónicos que representan los efectos de campos magnéticos multipolares de la dínamo autoexcitada residente en el Núcleo Externo de la Tierra. Una evaluación de la energía de los efectos dipolares muestran su decrecimiento y mientras que los cuadrupolares crecen temporalmente. Los modelos Internacionales del Campo Geomagnético de Referencia (IGRF por International Geomagnetic Reference Field) se determinan a partir del año 1900. Cada 5 años sus coeficientes son recalculados. En el presente trabajo se analiza la intensidad total  $F$  del Campo Geomagnético evaluada en un perfil desde el Polo Norte al Polo Sur Geomagnéticos para el intervalo temporal 1900 a 2010. Dicho perfil atraviesa América y llega hasta la Antártida abarcando 23 observatorios magnéticos. Para cada Observatorio se tiene una serie temporal de valores de  $F$ . Se calcula la variación de  $F$  cada 5 años y luego es analizada por medio de análisis espectral no lineal para determinar los períodos predominantes. Los resultados muestran que se detectaron períodos comprendidos en las bandas de 80 años, 30 años y un aporte del ciclo solar en la banda de los 12 años. Se concluye que las dos primeras bandas corresponden a fenómenos generados en el geodínamo, mientras que la onda solar corresponde a una inducción sobre el geodínamo por los sistemas de corrientes equivalentes residentes en la magnetósfera e ionósfera que se intensifican con el ciclo solar. El comportamiento del perfil polo norte-polo sur de los observatorios permanentes demuestra que en el análisis predictivo hasta el año 2100 de los valores medios anuales estiman un crecimiento de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur.

## Palabras Claves:

Geomagnetismo, IGRF, variaciones, Observatorios, ciclo solar.

## INTRODUCCIÓN

Los Modelos Geomagnéticos Internacionales de Referencia (IGRF por International Geomagnetic Reference Field) del Campo Magnético Terrestre (CMT) consisten en un desarrollo en esféricos armónicos hasta el orden 10 basados principalmente en la información provista por la Red de Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) en la superficie terrestre y que representan el campo generado por el efecto magneto-hidrodinámico de una geodínamo residente en el núcleo externo de la Tierra (Langel, 1987[1]; Barraclough, 1978[2]). Estos modelos son actualizados cada 5 años a partir de 1900.0. Sus coeficientes son provistos por la IAGA (International Association for Geomagnetism and Aeronomy) y la determinación de los elementos geomagnéticos  $D$ ,  $I$ ,  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $H$  y  $F$ , se obtienen on-line conociendo la latitud y longitud geográficas, altura y fecha, del punto geográfico a calcular, por medio de la facilidad web, entre otras, provista por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA): <http://ngdc.noaa.gov/geomagmodels/IGRFWMM.jsp>. La energía de los efectos dipolares y multipolares hasta el orden 10 fueron estudiados por Gianibelli 2006[3]. La Figura 1 muestra las energías de cada orden del desarrollo en esféricos armónicos desde 1900 hasta el 2005. Este modelo muestra que la energía de dipolo tiene decrecimiento menor al crecimiento de los ordenes multipolares 2 a 5. El orden 6 decrece mientras que los ordenes 7 a 10 crecen a partir de 1965. Estos cambios temporales provenientes de un modelo matemático no implican la existencia de "dipolos y multipolos" en alguna región de núcleo externo de la Tierra si no el efecto de cambio de una geodínamo y las propiedades geodinámicas del medio donde reside.

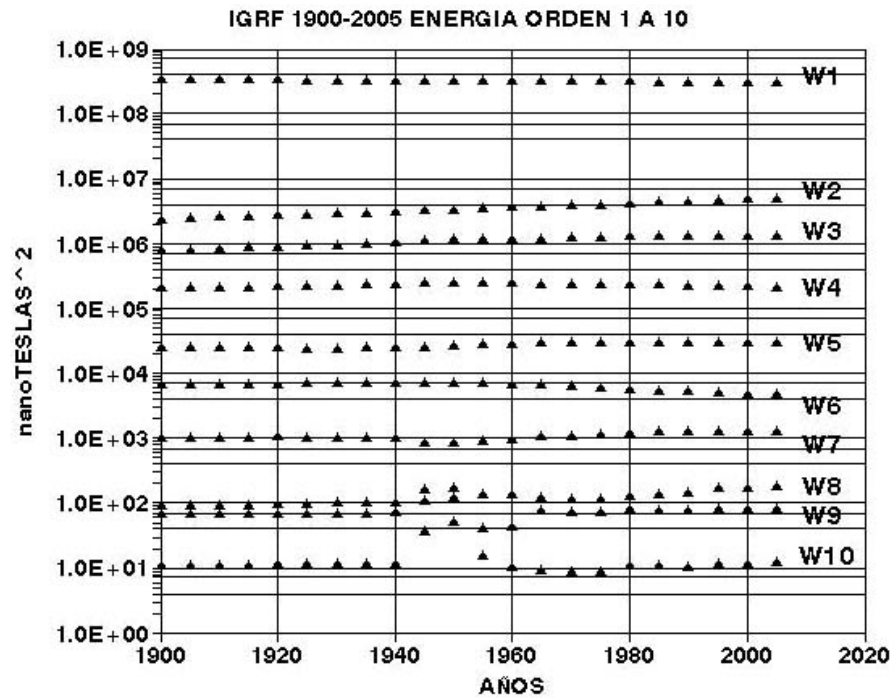


Figura 1.

El objetivo de este trabajo es analizar la variación de la intensidad total F en nT del CMT, desde 1900.0 hasta 2010.0 cada 5 años y observar su estructura espectral. A este respecto se utilizaron los OMP que se encuentran distribuidos desde el Polo Norte al Polo Sur Geomagnéticos a través del Continente Americano atravesando la denominada Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS). En estos OMP se determinó la intensidad total F del campo geomagnético por medio del modelo IGRF-11 desde 1900 hasta el 2010. La Figura 2 muestra la distribución de los OMP, las líneas isodinámicas de F y la AMAS representada en color azul indicando valores mucho menores que los esperados en la región ecuatorial si el campo fuera solamente dipolar.

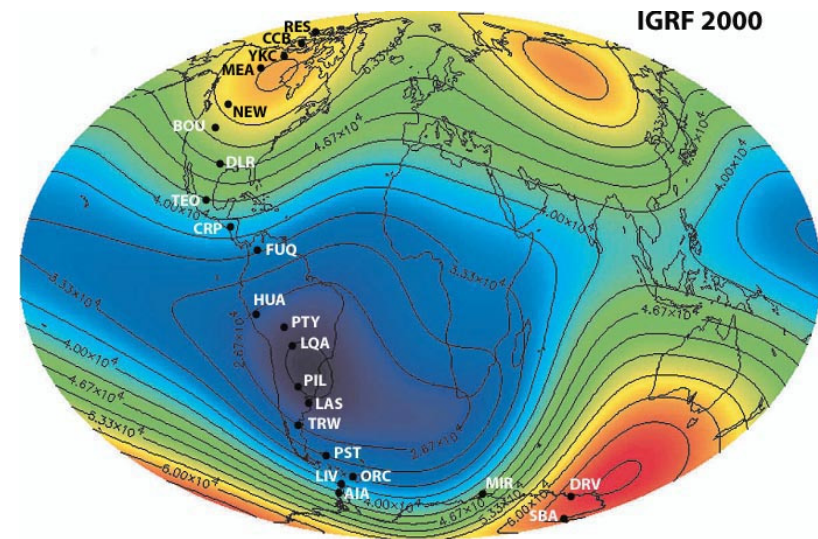


Figura 2.

En la tabla 1 se tienen la nomenclatura y las coordenadas de colatitud norte, longitud este y altura sobre el nivel medio del mar.

NOMBRE	CODIGO	COLATITUD	LONGITUD	ALTURA en m
RESOLUTE BAY	RES	15.317	43.166 W	30
CAMBRIDGE BAY	CBB	20.883	105.033 W	20
YELLOWKNIFE	YKC	27.567	114.483 W	198
MEANOOK	MEA	35.383	113.350 W	700
NEWPORT	NEW	41.733	117.116 W	770
BIULDER	BOU	49.867	105.233 W	1650
DEL RIO	DLR	60.517	100.916 W	355
TEOLOYUCAN	TEO	70.250	99.183 W	2280
CHIRIPA	CRP	80.083	84.916 W	1030
FUQUENE	FUQ	84.033	76.733 W	2543
HUANCAYO	HUA	102.050	75.333 W	3312
PATACAMAYA	PTY	107.250	67.950 W	3789
LA QUIACA	LQA	112.100	65.600 W	3450
PILAR	PIL	121.667	63.883 W	336
LAS ACACIAS	LAS	125.000	57.683 W	20
TRELEW	TRW	133.250	65.316 W	30
PORT STANLEY	PST	141.700	57.883 W	135
ORCADAS DEL SUR	ORC	150.733	44.783 W	30
ISLAS LIVINSTON	LIV	152.667	60.333 W	19
ISLAS ARGENTINAS	AIA	155.250	64.250 W	10
MIRNY	MIR	156.550	93.016 E	20
DUMOND D'URVILLE	DRV	156.667	140.016 E	30
SCOTT BASE	SBA	167.850	166.783 E	10

Tabla 1.

### ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS

El primer resultado es el obtenido por la diferencia de F determinado por el modelo IGRF11 entre el año 2010.0 y el 1900.0 para el perfil seleccionado (Figura 3). Los cambios en este intervalo de tiempo muestran regiones con variaciones importantes.

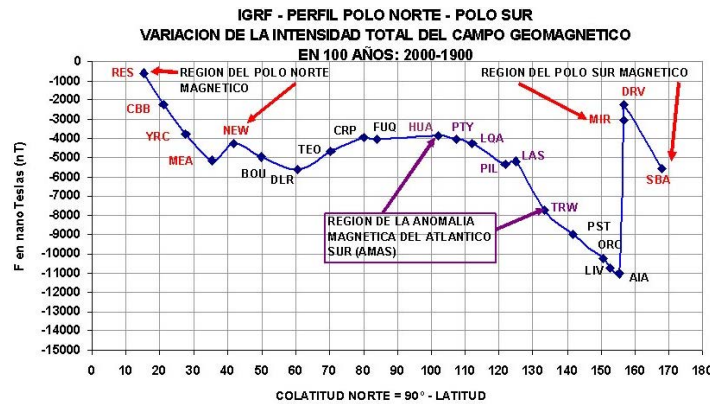


Figura 3.

Estos de cambios en 110 años son el resultado de cambios progresivos de campo generado por el geodinamo y determinados en la superficie terrestre. Para observar la velocidad de cambio cada 5 años se calculo este cambio para cada OMP, a partir de 1900.0 indicando que el intervalo de 5 años se seleccionó para que coincida con la fecha de calculo de los coeficientes del modelo del IGRF (Figura 4).

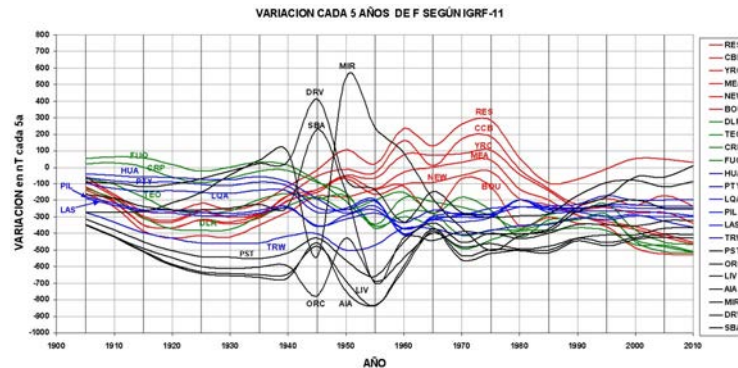


Figura 4.

Estas variaciones quinquenales constituyen para cada OMP una serie temporal compuesta por una tendencia lineal más variaciones inarmónicas. Para su análisis y determinación de su estructura periódica se aplicó el Análisis Espectral por Máxima Entropía (AEME) (Ulrych and Bishop 1975[4], Wu 1977[5]) a cada serie temporal habiendo previamente quitado la tendencia. La figura 5 muestra el diagrama del proceso de cálculo.

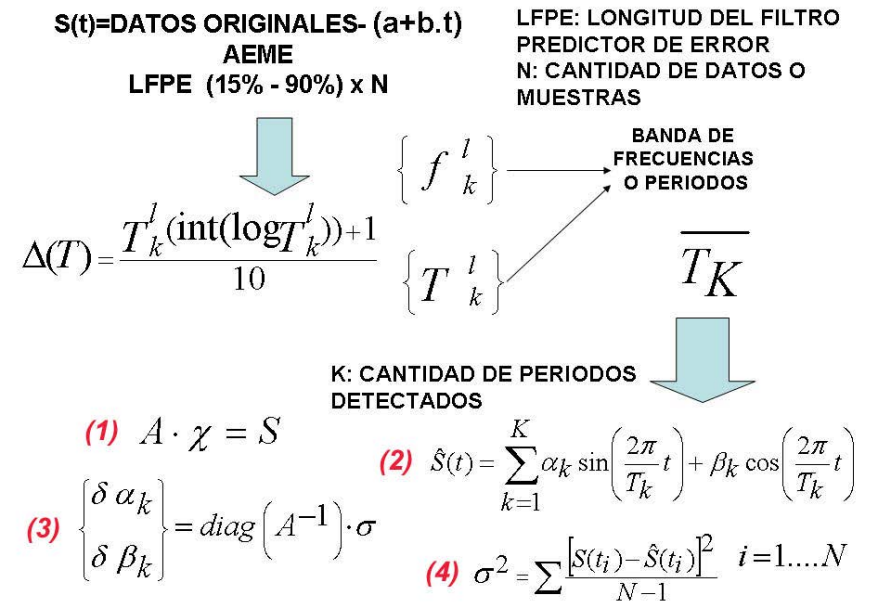


Figura 5.

Donde la Longitud del Filtro Predictor de Error (LFPR) aplicado entre el 15% y el 90% de la cantidad total de muestras o datos (N), es un parámetro importante en la determinación de las bandas de frecuencias o períodos (Ulrych and Bishop 1975[6], Wu 1977)[7]. La determinación de las amplitudes y de las fases y sus errores se efectuó mediante el sistema de mínimos cuadrados donde se resolvió el sistema lineal (Ecuación 1 de la Figura5) habiendo propuesto un sistema aditivo de períodos detectados (Ecuación 2 de la Figura 5). Las Ecuaciones 3 y 4 de la Figura 5 indican los errores de cada componente de la amplitud y el cuadrado del error medio cuadrático del ajuste para el conjunto de N datos. Las Tabla 3A y 3B muestran los resultados.



PERIODOS						PERIODOS						PERIODOS						PERIODOS					
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.		PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.		PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.		PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.	
años	nT.	nT.	rad.	rad.		años	nT.	nT.	rad.	rad.		años	nT.	nT.	rad.	rad.		años	nT.	nT.	rad.	rad.	
RES	70.2	162.9	22.9	2.2	0.1	LQA	91.5	56.6	10.9	0.5	0.1	CRP	98.5	23.9	11.4	0.3	0.2	AIA	89.8	90.6	21.0	1.5	0.2
	32.2	45.3	20.7	0.3	0.2		41.3	32.0	11.0	2.1	0.3		54.5	64.6	10.8	3.4	0.1		30.3	77.7	23.9	6.0	0.3
	24.6	53.5	16.6	1.6	0.3		21.4	17.0	10.2	4.4	0.3		26.3	49.4	9.5	4.8	0.2		20.0	73.6	19.9	6.2	0.3
	12.9	36.0	18.1	3.1	0.5		15.3	35.0	10.2	5.0	0.3		13.8	22.7	12.6	4.1	0.1		14.7	48.4	19.1	6.3	0.4
	10.9	36.2	22.3	4.4	0.3		12.7	29.0	8.1	6.2	0.3		11.3	24.5	10.5	4.8	0.4		10.8	45.0	27.1	0.7	0.1
RMS	53.7nT					RMS	25.8nT					RMS	29.5nT					RMS	61.7nT				
CCB	74.2	193.9	28.1	2.4	0.1	PIL	98.5	43.9	6.7	1.2	0.1	FUQ	67.4	93.7	12.3	4.8	0.1	MIR	70.2	228.0	57.1	3.6	0.1
	27.6	37.1	25.4	3.5	0.3		39.4	16.7	6.4	1.3	0.2		24.5	37.8	14.7	4.3	0.2		35.8	154.8	59.4	4.2	0.1
	17.0	38.3	24.2	5.0	0.6		22.2	13.1	6.2	5.0	0.5		17.5	23.7	14.0	4.5	0.3		24.1	128.7	55.6	5.9	0.4
	11.5	32.5	21.4	0.1	0.6		15.3	29.0	6.3	4.9	0.2		14.9	19.1	13.6	0.2	0.5		17.4	99.6	53.9	1.3	0.3
RMS	65.2nT					RMS	16.6nT					RMS	37.5nT						14.0	123.7	55.8	3.5	0.2
YRC	76.4	190.4	21.6	2.4	0.1	LAS	96.6	42.8	8.1	1.3	0.1	HUA	74.2	68.5	8.6	5.7	0.1	RMS	135.2nT				
	33.7	30.9	21.2	1.1	0.2		30.5	15.3	8.0	0.2	0.3		42.7	36.5	8.8	2.2	0.2		72.1	147.5	27.2	4.5	0.1
	24.8	25.0	16.6	1.5	0.6		18.7	9.2	7.1	1.6	0.8		22.4	20.8	8.9	4.1	0.1		45.7	52.0	29.9	1.3	0.3
RMS	50.6nT						14.9	20.3	7.2	4.7	0.3		14.8	21.5	8.8	4.2	0.1		34.4	66.0	28.8	0.3	0.3
MEA	78.8	187.8	21.3	2.6	0.1		12.2	15.6	9.4	5.4	0.6		12.1	25.5	6.7	4.7	0.2		24.0	82.8	32.1	2.4	0.4
	32.6	30.3	18.9	0.2	0.4	RMS	21.5nT						84.0	65.8	7.9	0.0	0.1		17.8	52.6	29.9	4.3	0.2
	23.4	32.3	22.2	1.0	0.1								41.3	35.2	10.9	2.1	0.3		11.7	50.1	25.8	2.9	0.5
	12.9	22.1	21.3	2.6	1.0	TRW	85.4	52.5	15.8	1.2	0.1	PTY	84.0	65.8	7.9	0.0	0.1		71.1nT				
RMS	51.6nT						31.1	25.0	12.9	0.1	0.4		22.2	16.0	10.5	4.3	0.2		74.2	148.5	35.0	5.0	0.2
NEW	78.8	149.6	20.2	2.7	0.1		19.1	20.5	13.2	6.1	0.7		15.1	31.1	8.3	4.7	0.3		36.6	116.6	37.6	0.5	0.1
	33.9	27.4	17.4	0.2	0.5	RMS	38.7nT						12.4	27.2	11.3	5.6	0.4		24.8	112.3	34.4	2.9	0.3
	22.6	36.3	20.6	0.4	0.2														18.3	100.3	27.7	4.7	0.3
	13.1	24.5	16.9	3.0	0.7	PST	94.8	65.9	13.2	1.6	0.2								14.2	75.6	36.0	5.8	0.5
RMS	50.0nT						30.3	53.2	15.5	6.0	0.3								RMS	87.2nT			
BOU	78.8	150.0	22.7	2.8	0.2		20.8	44.0	16.8	0.4	0.1												
	41.0	37.0	25.0	0.7	0.1		17.4	32.6	15.9	4.4	0.3												
	22.4	35.9	19.6	6.2	0.6		14.6	32.5	13.6	6.2	0.4												
	16.5	41.4	23.4	5.1	0.6	ORC	91.5	77.2	15.5	1.5	0.2												
	12.0	28.9	19.1	1.5	0.5		53.9	49.1	18.9	0.5	0.1												
RMS	57.2nT						30.1	32.8	15.7	0.2	0.4												
DLR	82.6	96.4	15.0	2.9	0.2		18.6	33.7	19.0	3.8	0.1												
	47.0	46.3	14.8	1.4	0.2		14.2	66.7	16.3	4.5	0.2												
	27.4	44.6	17.7	5.2	0.4		11.6	60.0	19.1	5.4	0.3												
	16.8	33.9	17.1	5.2	0.5	RMS	43.8nT																
RMS	41.4nT																						
TEO	96.6	37.0	10.9	3.5	0.1	LIV	89.8	86.2	20.5	1.5	0.2												
	43.1	34.0	12.1	0.9	0.0		30.5	74.7	23.3	6.0	0.3												
	28.6	57.6	11.5	5.8	0.2		20.2	68.2	19.0	6.3	0.3												
	21.4	20.5	11.3	0.5	0.2		14.6	44.4	23.3	6.0	0.5												
	11.5	27.0	11.5	5.6	0.4	RMS	10.8	30.5	27.0	0.7	0.1												
RMS	27.2nT					RMS	61.6nT																

Tabla 3A.

Tabla 3B.

Estos resultados muestran que la banda de  $11.0 \pm 2$  años correspondiente al ciclo de manchas solares se detectó en casi todos los OMP excepto en YRC, FUQ, TRW, PST Y SBA. Por otra parte una onda centrada en  $16.0 \pm 2$  años aparece en gran parte de los OMP y estaría vinculada con la actividad magnética determinada con el índice aa. Una onda de  $18.6 \pm 0.5$  años es detectada en LAS, TRW, ORC y SBA estaría en correspondencia con la onda lunar de periodo similar correspondiente al intervalo de tiempo que posee el nodo ascendente de la Luna. Las ondas mayores de 30 años tendrían origen interno, relacionadas también con posibles fenómenos de inducción tanto en el manto como en el núcleo externo de la Tierra por fuentes de origen externo. Gianibelli y Cabassi (2002)[8] realizaron un análisis sobre la actividad magnética y variaciones en la velocidad de la rotación terrestre utilizando AEME. En este trabajo se presenta una tabla de resultados y la simulación o reconstrucción del índice aa para el intervalo 1844-1995 el cual sigue la marcha del número de manchas solares (Figura 6).



La similitud de las bandas de períodos detectados sobre la actividad magnética sugiere una interacción posible entre las variaciones de los sistemas de corrientes residentes en la Magnetosfera e Ionósfera con los medios de muy alta conductividad residentes en el interior terrestre. Los períodos en las bandas de 15.3 y 17.6 años que aparecen en las variaciones quinquenales de los OMP del perfil también están en el estudio del índice aa.

De la misma forma se puede apreciar con los períodos a las ondas mayores de 30 años. Este análisis comparativo y discusión aporta un elemento más al entendimiento de la geodinámica del interior terrestre.

La simulación o reconstrucción de la variación de la intensidad total F en cada OMP se realizó mediante el modelo matemático dado por la fórmula siguiente:

$$\delta F / \delta T = (A + B \cdot T) + \sum C_k \cdot \exp(i\omega_k T + \phi_k) \text{ , donde } \omega_k = 2\pi / T_k$$

*Ecuación 6.*

donde  $C_k$  es la amplitud,  $T_k$  y  $\phi_k$  son el período y la fase detectados que se encuentran en la tabla 3A y 3B. Por otra parte el término  $A + B \cdot T$  es la tendencia que se quitó previamente.

INDICE aa

PERIODO	AMPLITUD	ERROR	FASE	ERROR
Años	nT	nT	°	°
132,1	2,5	0,3	79,17	4,5
80,3	1,6	0,3	12,91	6,9
45,0	0,7	0,3	338,51	25,1
30,3	1,6	0,3	234,79	2,0
23,5	1,5	0,4	55,37	2,4
21,6	1,4	0,4	50,60	1,8
17,6	0,9	0,3	251,48	10,0
15,3	0,8	0,3	253,84	12,0
12,9	0,9	0,3	78,39	11,5
12,1	1,5	0,3	349,37	10,7
10,9	3,0	0,3	152,68	6,0
10,0	1,0	0,3	194,02	9,9
9,5	0,8	0,3	63,36	7,0

TABLA CON PERIODOS DETECTADOS

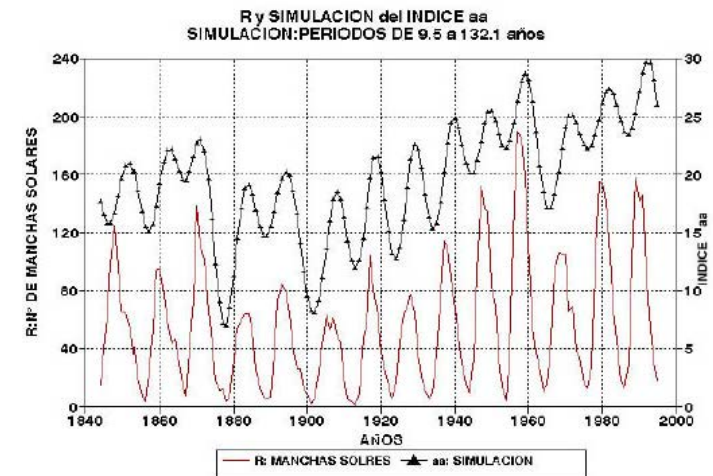


Figura 6.

Las figuras 7 y 8 muestran la reconstrucción de la variación cada 5 años en el intervalo 1900 – 2010 y la predicción hasta el 2100. Se tienen comportamientos notablemente diferenciados para los OMP entre el Polo Geomagnético Norte y el Ecuador Geomagnético (RES a HUA) y desde la región adyacente al sur del Ecuador Geomagnético hasta la región del el polo Sur Geomagnético. (PTY a SBA) (Ver Fig. 2).

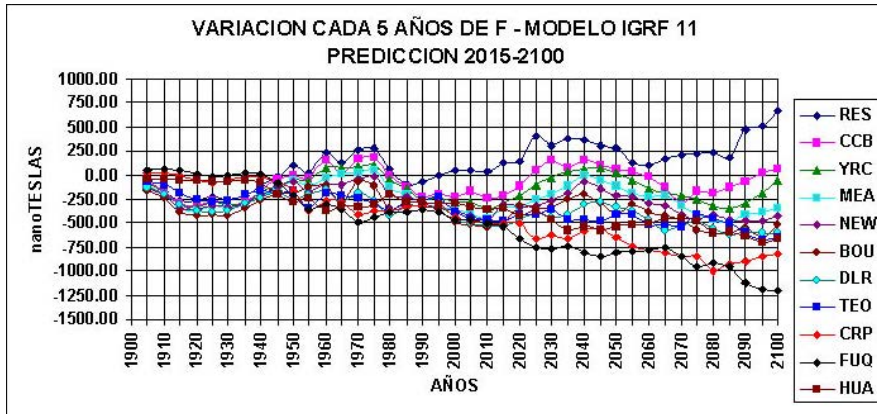


Figura 7.

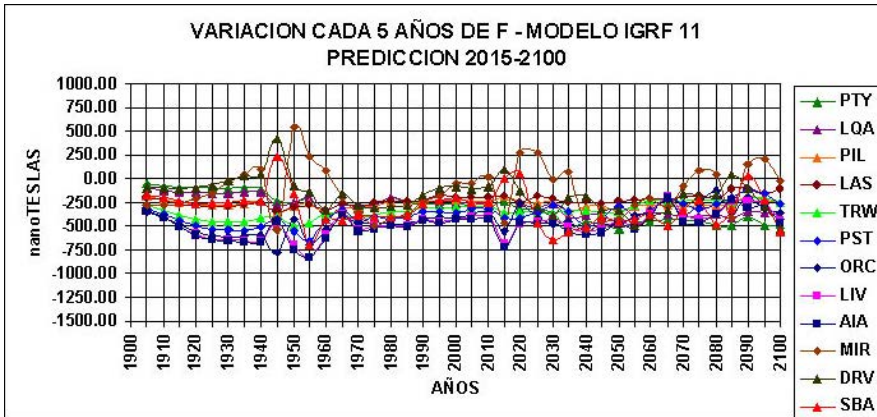


Figura 8.

Los resultados obtenidos en la predicción para el año 2100 en la Figura 7 muestran que para la región del Polo Geomagnético Norte el OMP de RES tiene cambios positivos importantes desde el año 2020, indicando que el valor de CMT en esa región tendrá valores mayores a los de la actualidad. De la misma manera el OMP de FUQ tiene valores de variación que llegan a -1200nT en el año 2100. Los valores de F obtenidos para los OMP del perfil y su proyección con el modelo de variación quinquenal se muestran en las Figuras 9, 10 y 11.

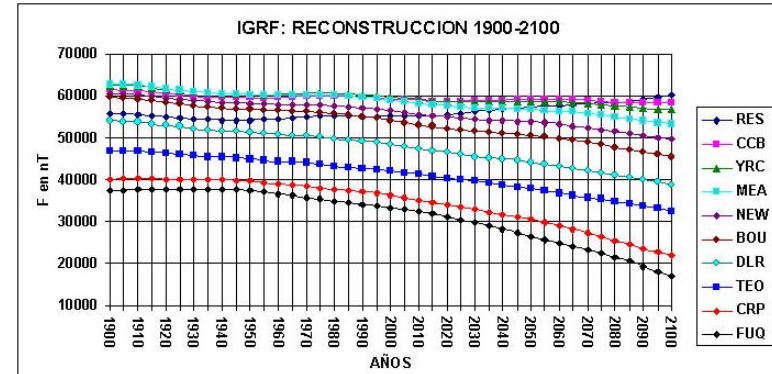


Figura 9.

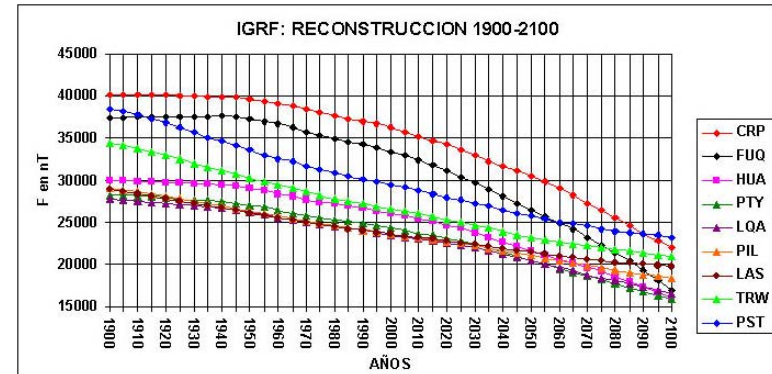


Figura 10.

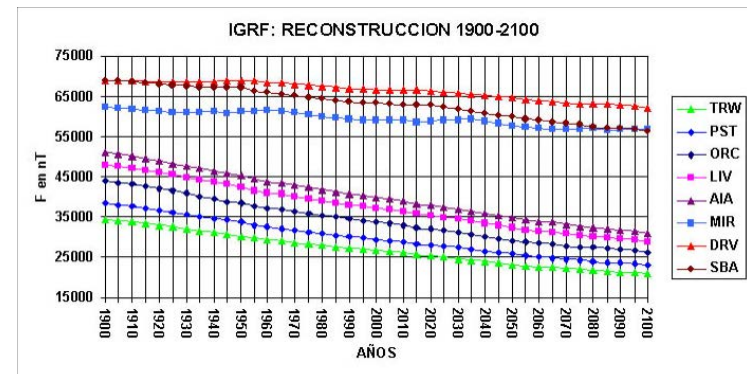


Figura 11.

Esta reconstrucción y pronóstico esta realizada mediante los valores calculados de  $\delta F/\delta T$  utilizando la ecuación 6 mediante el cálculo recurrente siguiente:

$$F(T+5\text{años}) = F(T) + \delta F(T+5\text{años})/\delta T$$

Ecuación 7.

La figura 12 muestra la evolución del perfil de OMP para la años 1900, 2000 y 2100.

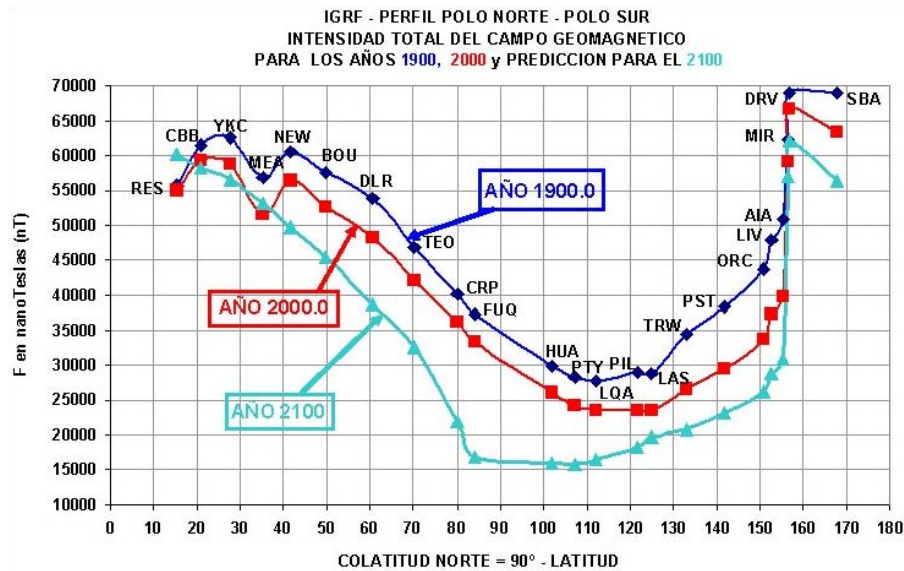


Figura 12.

Se tiene de la Figura 12 que de la información provista por el modelo del IGRF11 entre los años 1900 y 2000 en los OMP de PIL, LAS, TRW, PST, ORC, LIV, y AIA, los dos primeros casi en el centro de la AMAS y los restantes en el límite sur y fuera de la AMAS, se observan cambios mayores que los determinados en DLR, TEO, CRP, FUQ, HUA, PTY, y LQA. En cambio para el pronóstico del año 2100 en comparación al año 2000, los OMP de LQA, PTY, HUA, FUQ, CRP, TEO y DLR son los que presentan cambios mucho mayores que los esperados si el modelo de variación quinquenal fuera solo lineal.

### CONCLUSIONES

El estudio de la variación cada cinco años determinada por el modelo de IGRF11 muestra que existen ondas cuyas fuentes tendrían diferente origen, provenientes de la conexión Sol-Tierra, y otras de la actividad generada en los sistemas de corrientes equivalentes residentes en la Magnetopausa, en la cavidad de la Magnetosfera y en la Ionósfera, como lo muestra el análisis del índice "aa" (Figura 6). En este estudio previo también aparecen largos períodos (de 30 años o más) que estarían relacionados entonces a posibles fenomenologías de inducción, situación -ésta que se contrapone con el paradigma vigente hasta la actualidad en el que se supone que estas ondas de largo período están vinculadas a procesos propios del sistema de difusión del CMT proveniente de una Geodinamo Autosustentada residente en el Núcleo Externo de la Tierra. Los resultados que arroja el modelo IGRF11 corresponden a dicho campo difundido observado y modelado en la superficie de la Tierra y la energía determinada muestra aspectos diferentes de un comportamiento puramente dipolar. Esto queda comprobado con el crecimiento de la AMAS con valores de F que decrecen temporalmente. La AMAS tiene una evolución y movimiento que lo experimentan los OMP por medio de las observaciones absolutas del CMT y que el modelo del IGRF11 también la representa. Un aspecto concluyente es la variación de cambio cada 100 años donde se puede apreciar su expansión y movimiento hacia el observatorio de FUQ como uno de los que tiene mayor tasa de cambio como se muestra en las Figuras 12 y 13.

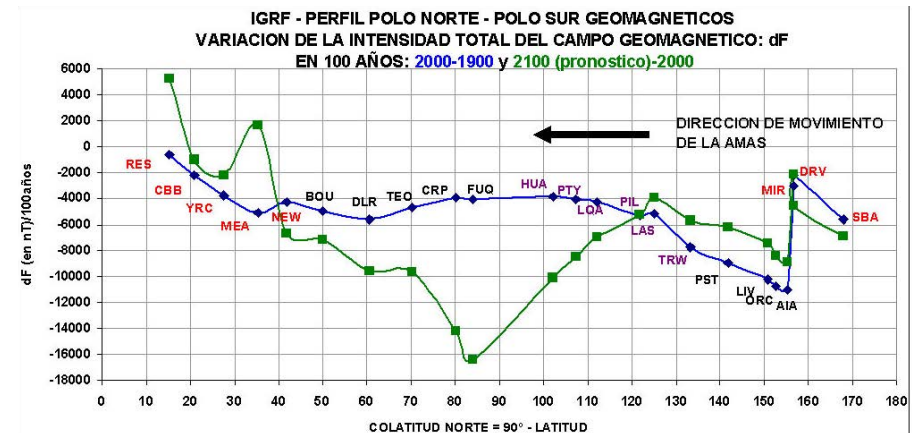


Figura 13.

Otra variable importante en la conclusión y el análisis de esta situación de cambio lento y continuo, es la aceleración pronosticada, en valor medio, que tendría el CMT desde el año 2000 al 2100 en el proceso de difusión. Como se mencionó en la introducción la energía del campo dipolar disminuye continuamente mientras que las componentes no bipolares lo hacen aumentando algunas y otras con cambios por intervalos. En este perfil Polo Norte – Polo Sur Geomagnético existen regiones donde hay aceleraciones positivas y otras negativas, donde la disminución de  $F$  aparecerá en la superficie de la Tierra con cambios importantes en  $nT/año$  en las negativas, mientras que las aceleraciones positivas frenarían la difusión del campo pero en menor intensidad. Esto se muestra en la Figura 14, donde los procesos en los OMP de aceleración es marcada con signo (+) y desaceleración marcada con signo (-), posiblemente debido a las componentes no-dipolares del representado en el desarrollo matemático del modelo IGRF11 por los ordenes mayores que 2.

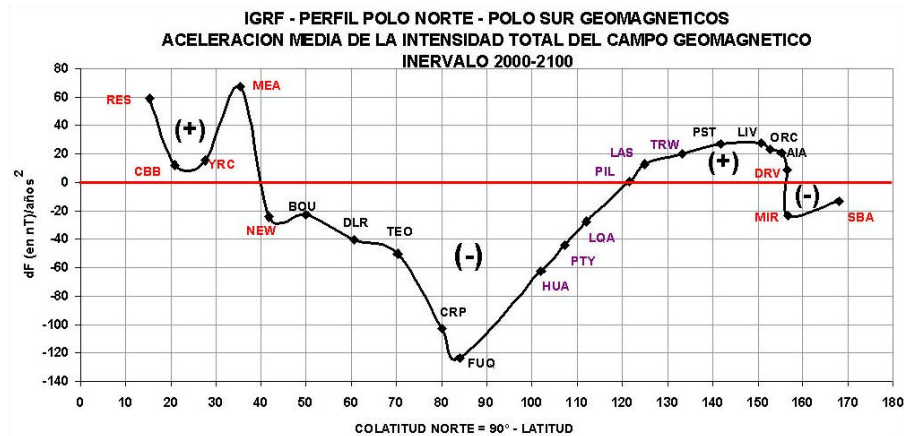


Figura 14.

La metodología de análisis deja la posibilidad de proponer otros modelos matemáticos y analíticos para el análisis de las observaciones en la superficie terrestre y los resultados de estos modelos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [2] Barraclough, D. R. 1978. Spherical Harmonic Models of the Geomagnetic Field. Institute of Geological Sciences. Geomagnetic Bulletin 8. Pp: 1-66.
- [3] Gianibelli J. C. 2006. Predicción Lineal de los Modelos de referencia Geomagnéticos 1900-2005. Geoacta Vol 31. Pp. 57-62.
- [8] Gianibelli J. C. y Cabassi I. R. 2002. Rotación Terrestre y Actividad magnética. VII Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra. Santiago de Chile, Chile. Actas. <http://www.cartografia.cl/download/juliocesar.pdf>
- [1] Langel, R. A. 1987. Main Field in Geomagnetism. ED by Jacobs J. A. Academic Press N. Y., VOL I. Pp 249-512.
- [4] [6] Ulrych, T. J. and T. N. Bishop. 1975. Maximun Spectral Analysis and Auto-regressive Decomposition. Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol 13 N 1. Pp: 183-200.
- [5] [7] Wu N., 1977. The Maximum Entropy Method. Springer. Pp 1 – 327.



# Parque Cretácico huellas de dinosaurios de Malargüe (Mendoza, Argentina): avances en los estudios icnológicos

## RESUMEN

Estudios icnológicos sobre locomoción y comportamiento de dinosaurios se desarrollan en el yacimiento Agua del Choique (Malargüe, provincia de Mendoza, Argentina), hoy constituido en un nuevo parque natural de relevancia científica internacional. El yacimiento se localiza en estratos de la Formación Loncoche (Campaniano Tardío–Maastrichtiano temprano, Cretácico Superior) y comprende más de 300 huellas de dinosaurios producidas, principalmente, por saurópodos titanosaurios, las que han sido asignadas a un nuevo icnotaxón denominado *Titanopodus mendozensis* González Riga y Calvo. Se estima que los productores de estas huellas, herbívoros de 13m de largo, se desplazaban a 4,7–4,9 km/h sobre sustratos fangosos de llanuras deltaicas. Esta velocidad ha sido calculada mediante fórmulas empíricas basadas en similitud dinámica, aplicando comparaciones anatómicas de detalle con el titanosaurio articulado de La Invernada (Formación Allen, provincia de Neuquén), ejemplar de la misma edad y tamaño que el productor de las icnitas *Titanopodus*. La distribución areal de tres pistas, con igual dirección y sentido, y similares condiciones de velocidad de marcha, profundidad y rebabas, constituyen evidencias a favor de desplazamientos grupales, lo que es coherente con comportamientos sociales o gregarios atribuidos a este grupo de dinosaurios.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha dado a conocer un relevante yacimiento de huellas fósiles ubicado en Malargüe, sur de la provincia de Mendoza. El yacimiento, está localizado al oeste de la ciudad de Malargüe y ha motivado la creación del “Parque Municipal Cretácico Huellas de Dinosaurios”, el primero en su tipo para la región de Cuyo. El

yacimiento fue descubierto por B. González Riga y equipo, y posee relevancia internacional, dado el estado de preservación de las huellas fósiles (icnitas) [1,2].

Este hallazgo enriquece el registro icnológico previamente conocido. Se han descrito sitios con icnitas de dinosaurios en Chile [3, 4, 5, 6], Bolivia y Brasil [7, 8, 9]. En Argentina existen dos áreas con huellas fósiles, una ubicada en la provincia del Neuquén, norte de Patagonia, y otra en la provincia de Salta, en el sector oriental de la Puna. En Neuquén los hallazgos se localizan en Picún Leufú [10, 11] y El Chocón [12]. El yacimiento de Malargüe posee significado icnológico, paleobiológico y paleoecológico. Desde el punto icnológico, han sido denominadas *Titanopodus mendozensis* González Riga y Calvo [1] y constituyen un excelente caso de estudio de pistas anchas producidas por saurópodos. Brindan valiosa información sobre el modo de locomoción y los ambientes donde habitaron los últimos saurópodos titanosaurios, antes de la extinción masiva de fines del Cretácico.

En este trabajo se describen y analizan los estudios actualmente en desarrollo sobre la locomoción y comportamiento social de los dinosaurios titanosaurios productores de las icnitas *Titanopodus*.

## MARCO GEOLÓGICO Y PALEOAMBIENTAL

La Cuenca Neuquina se extiende sobre el noroeste de la Patagonia hasta el sur de la provincia de Mendoza (Figura 1). Registra de forma excepcional las faunas de vertebrados y los ambientes del Cretácico Superior mediante dos unidades litoes-

**Bernardo J. González Riga (1, 2),  
Leonardo D. Ortiz David (1, 3),  
Juan P. Coria (3).**

**1-** *Departamento de Paleontología, IANIGLA, CONICET, Centro Científico Tecnológico. Avenida Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, (5500), Mendoza, Argentina.*

**2-** *Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Cuyo.*

**3-** *Instituto Superior San Pedro Nolasco – Universidad del Aconcagua.*

[bgonriga@mendoza-conicet.gov.ar](mailto:bgonriga@mendoza-conicet.gov.ar)



tratigráficas, los grupos Neuquén y Malargüe. El Grupo Neuquén comprende facies continentales de arreglo granodecreciente, principalmente abanicos aluviales, sistemas fluviales entrelazados y meandriformes, y depósitos de barreales depositados entre el Cenomaniano y el Campaniano temprano [13, 14]. Desde la base al techo, comprende las formaciones Candeleros, Huincul, Cerro Lisandro, Los Bastos, Sierra Barrosa, Plottier, Bajo de la Carpa y Anacleto [15].

Suprayace al Grupo Neuquén la Formación Loncoche, base del Grupo Malargüe. La Formación Loncoche, depositada entre el Campaniano tardío y el Maastrichtiano temprano, corresponde a ambientes marinos marginales, principalmente llanuras deltaicas influenciadas por mareas, lagunas y sabkhas costeros. Estos ambientes se relacionan con una ingesión marina proveniente del Atlántico, la cual se extendió sobre el norte de la Patagonia, alcanzado el sur de Mendoza como un angosto estuario [16,17].

Las icnitas que se describen en este trabajo se localizan en la quebrada Agua del Choique, a 14 km al oeste de la ciudad de Malargüe, en el sur de la provincia de provincia de Mendoza (Figura 1A). Se localizan en dos formaciones distintas: Anacleto y Loncoche.

En los estratos cuspidales de la Formación Anacleto (Campaniano temprano) se han descubierto 3 niveles con icnitas de saurópodos [18]. Se vinculan a facies de llanuras de inundación, avenidas mantiformes y sistemas fluviales efímeros.

En contraste, en los niveles medios de la Formación Loncoche (Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano) se localizan 3 niveles con icnitas en facies marino marginales.

La Formación Loncoche está integrada por fangolitas, areniscas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas oolíticas y coquinas con bivalvos y fragmentos de vertebrados. En Agua del Choique predominan las facies deltaicas, dominados por ríos en la base, y por mareas en la sección superior [17]. Detallados análisis paleoambientales, aun en progreso, incluyen estudios sedimentológicos, petrográficos y paleopalínológicos, permitiendo reconstruir la historia ambiental de ese sector. Los primeros análisis palinológicos indican asociaciones dominadas por algas de agua dulce (e.g. *Pediastrum*) en facies pelíticas ubicadas por debajo del nivel de huellas [19], lo que evidencia la presencia de cuerpos de agua dulce bajo influencia mareal [20].

En diversas secciones de esta formación, aflorantes en el Departamento de Malargüe (e.g. Ranquil-Có, Calmu-co, El Zampal) se han hallado diversos tipos de vertebrados, algunos de hábitos terrestres (dinosaurios saurópodos y terópodos), dulceacuícolas (tortugas Chelidae y peces Dipnoi) y marinos (reptiles plesiosarios y peces Rajiformes), indicando la mezcla de elementos esqueléticos en ambientes marino marginales [21, 22]. El principal nivel con icnitas, incluyendo la pista tipo de *Titanopodus*, se localiza en la sección media de Formación Loncoche y corresponden a facies de areniscas tobáceas de color gris amarillento.

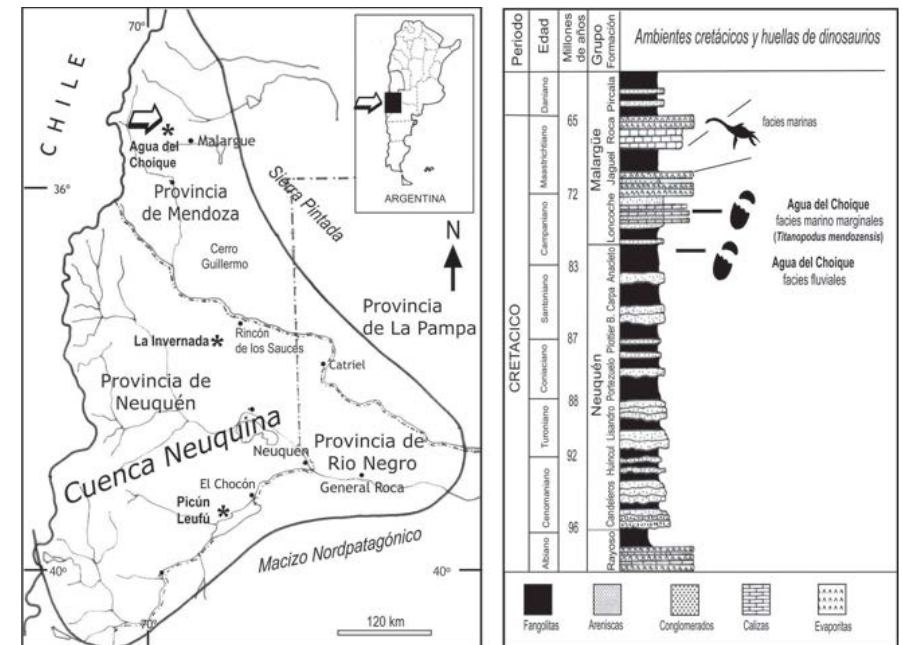


Figura 1. Mapa de la Cuenca Neuquina (Argentina) indicando el sitio icnológico Agua del Choique y columna estratigráfica del Cretácico Superior de Mendoza, indicando el nivel con las icnitas *Titanopodus mendozensis* (Modificado de González Riga 2011).

#### Abreviaturas institucionales

- IANIGLA-PV - Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Colección Paleovertebrados, Argentina.
- MUCPV - Museo de Geología y Paleontología de la Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

## ESTUDIOS ICNOLÓGICOS

### Materiales y métodos

Se midieron y analizaron las pistas AC1, AC3 y AC4 correspondientes a *Titanopodus* (Figura 2). Fueron fotografiadas, mapeadas y algunas de ellas replicadas mediante plastotipos bajo la sigla IANIGLA-PV. Los diferentes parámetros medidos en terreno (e.g. ancho interno y externo de la pista, zancada, largo de las huellas, distancia manopie) sirvieron de base para efectuar análisis sobre la velocidad de desplazamiento e interpretaciones sobre el comportamiento social de los dinosaurios productores.



Figura 2. Icnitas de *Titanopodus mendozensis* en Agua del Choique, sector del nuevo Parque Municipal Cretácico Huellas de Dinosaurios. A, trabajos de preservación in situ y toma de datos. B, mapa de la pista AC-4. (tomado de González Riga y Calvo, 2009).

El primer método para estimar la velocidad en dinosaurios fue propuesto por Alexander en 1976 [23], quien propuso una ecuación basada en la hipótesis de similitud dinámica. Esta hipótesis postula que animales con formas geoméricamente similares, son dinámicamente similares si se mueven con valores iguales de número de Froude.

Este número es un parámetro adimensional usado cuando interactúan fuerzas de inercia y viscosidad. Este parámetro es definido en la locomoción terrestre como  $V^2/GH$ , donde  $V$  es la velocidad,  $G$  es la aceleración de la gravedad y  $H$  es la altura hasta la articulación del fémur. Movimientos similares dinámicamente, es decir con iguales número de Froude, requieren iguales valores de zancada relativa, es decir  $S/H$ . La zancada ( $S$ ) se define como la distancia entre icnitas consecutivas del mismo lado. En base a estos parámetros empíricos, Alexander propuso la ecuación la velocidad de desplazamiento de un animal, como función de la aceleración de la gravedad, la zancada y la altura de la cadera, a saber:

$$V = 0.25G^{0.5} S^{1.67} H^{-1.17} \quad (1)$$

En esta fórmula, los valores de  $S$  y  $H$  se introducen en metros y  $V$  se obtiene en metros por segundo. Si bien se han realizado algunas contribuciones para analizar la validez de este método [24, 25], en líneas generales este enfoque sigue siendo de aplicación y utilidad para estimar las velocidades de los dinosaurios a través de sus icnitas [1]. La zancada es fácilmente medida en las icnitas, pero la estimación de  $H$  es difícil porque presupone conocer con precisión la anatomía del dinosaurio productor.

Originalmente, siguiendo las proporciones del esqueleto del saurópodo diplodócido *Apatosaurus*, Alexander consideró que  $H$  era cuatro veces la longitud de la huella ( $L$ ). Otras investigaciones señalaron que esta relación podría ser incorrecta por dos razones. En primer lugar, la relación  $H/L$  varía entre los diversos taxones; y en segundo lugar porque la relación  $H/L$  ciertamente cambia durante la ontogenia, durante el crecimiento alométrico propio de los vertebrados terrestres [26].

### Análisis y discusión de resultados

Tal como ha sido argumentado, establecer correctamente el parámetro  $H$  es un paso crucial para una estimación precisa de la velocidad de marcha, y para ello es conveniente analizar el registro de huesos fósiles y compararlos con las huellas.

En primer lugar, los productores de las icnitas *Titanopodus* fueron saurópodos de "pista ancha", donde las impresiones de manos y pies se encuentran notablemente separadas de la línea media, tal como se describe en Titanosauriformes [27]. En Argentina, la mayoría de los saurópodos del Campaniano-Maastrichtiano correspon-

den a titanosaurios Aeolosaurini y Saltosaurinae. Los aeolosaurinos incluyen a *Aeolosaurus rionegrinus* Powell de la Formación Angostura Colorada [27]. Los saltosaurines comprenden dos formas provenientes de la Formación Allen: *Bonatitan reigi* Martinelli y Forasiepi [28] y *Rocasaurus muniozi* Salgado y Azpilicueta [29], y una especie de la Formación Lecho: *Saltasaurus loricatus* Bonaparte y Powell [30].

Es importante tener en cuenta que, en los mismos estratos de las icnitas Titanopodus, precisamente en la Formación Allen, equivalente lateral de la Formación Loncoche, se han hallado dos titanosaurios saltosaurinos: *Bonatitan* y *Rocasaurus*. Un tercer taxón, cercano a los saltosaurinos fue descubierto en La Invernada, en el norte de la provincia de Neuquén [31]. Dado que la gran mayoría de los titanosaurios no poseen esqueletos articulados y/o completos, el estudio del titanosaurio de La Invernada, un espécimen excepcionalmente preservado, brinda valiosa información para estimar la relación H/L y obtener un valor más preciso de H (Figura 3).

El titanosaurio de La invernada, conocido como MUCPv-1533, se descubrió a 230 km al sur del área de huellas Titanopodus y conserva en forma completa las extremidades delanteras y traseras [31]. La extremidad anterior de este titanosaurio comprende cinco metacarpos articulados que forman una estructura semi-tubular de orientación vertical, tal como en otros saurópodos. Esta morfología limita el esfuerzo de tensión del antebrazo y facilita la locomoción en estos animales cuadrúpedos graviportales [32].

En el registro icnológico, esta estructura de los metacarpos se refleja en huellas con forma de medialuna, tal como se observa en *Sauropodichnus* de Neuquén [10,11,12]. En las icnitas de *Titanopodus* este contorno semilunar es fuertemente asimétrico y concuerda con la anatomía del titanosaurio MUCPv-1533, donde los metacarpianos I y II son elementos robustos, en comparación con los demás metacarpianos, tal como describió González Riga [2]. Esta asimetría está ausente en *Epachthosaurus*, desde los metacarpianos III y IV son tan robustos como los metacarpianos I y II [33].

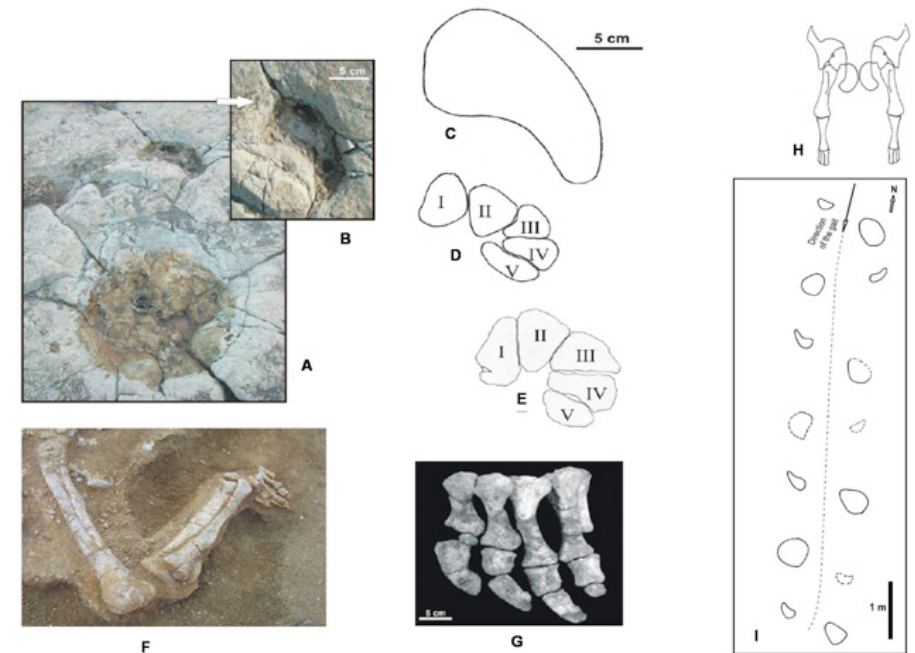


Figura 3. A, B. Huellas izquierdas de mano y pie de *Titanopodus mendozensis*. C. contorno de la huella de la mano de *Titanopodus mendozensis* en comparación con los metacarpos izquierdos articulados del titanosaurio de La Invernada MUCPv-1533 (D) y de *Epachthosaurus* (E). F-G. Extremidad completa y articulada del titanosaurio de La Invernada, provincia de Neuquén. H-I. Reconstrucción de la cintura pectoral y los miembros delanteros de un titanosaurio y pista AC-1 de *Titanopodus mendozensis*. Ilustraciones tomadas de [1, 2, 31].

El pie de MUCPv-1533 es típicamente asimétrico, relativamente corto y ancho (Fig. 3). Los Metatarsianos III y IV son los elementos más largos. Su fórmula falangeal es: 2-2-2-2-0 y los tres primeros dígitos poseen ungueales con forma de "hoz". La asimetría de los pies en los titanosaurios está probablemente relacionada con una reducción progresiva en el tamaño y número de falanges pedales en los dígitos III y IV [31].

En base a este hallazgo, González Riga realizó una reconstrucción del titanosaurio de la invernada (Figura 4.A) asumiendo una postura semi-plantígrada, con un ángulo de inclinación de 50° para el metatarso III, en base a datos tafonómicos obtenidos in

situ [31]. De esta manera, propuso una ecuación general para estimar la altura de la articulación del fémur (H), a saber:

$$H = F - Af + Ke + T + A + Mt. \cos \alpha + PHP \quad (2)$$

Donde F es la longitud del fémur, Af es el distancia entre el extremo proximal del fémur y el eje horizontal de movimiento de la cabeza femoral (~7% de la longitud del fémur), Ke es el espacio para la articulación femoro-tibial (preliminarmente, se asume un valor de 3% de la longitud del fémur), T es la longitud de la tibia, A es la altura del astrágalo, Mt es la longitud del metatarsiano III,  $\alpha$  es la inclinación de los metatarsianos y PHP es la altura de una almohadilla hipotética ubicada en posición ventral debajo de las falanges. En la reconstrucción también se incluye una almohadilla plantar PL (como un talón elástico) que distribuye el peso transmitido a través de la pie. Obviamente, el desarrollo de esta almohadilla plantar puede modificar la reconstrucción de la longitud de la huella del pie en un 5%. Otra característica es la orientación lateral de las falanges ungueales (U), que está presente en la mayoría de los saurópodos (lo que reduciría 4% la longitud del pie) [31].

De esta manera, la reconstrucción de la extremidad posterior de MUCPv-1533 indica una altura de la cadera (H) de 197.2 cm y una longitud del pie de 43 cm (con una variación de  $\pm 2$  cm).

Esto implica que  $H / L = 4,586$ , donde:  
H es  $\sim 4,586 L$  (3)

Utilizando esta la relación (3) en la ecuación general (1) se pudo estimar la velocidad de marcha de los productores de las icnitas Titanopodus. Para longitudes de pies de 46 y 50 cm, y zancadas de 235 y 245 cm, correspondientes a las pistas AC-1 y AC-4 respectivamente, se obtuvieron velocidades de marcha y estimaciones de tamaño relativamente precisas.

La pista AC-1 fue producida por un individuo (adulto 1) que caminaba a 4.9 Km/h hacia el sudoeste (193-224 grados). Por otro lado, la pista AC-4 fue producida por otro espécimen (adulto 2) levemente mayor, el cual caminaba a 4.76 km/h siguiendo una trayectoria sinuosa. La altura de la articulación del fémur se estima en 211 cm y

229 cm para el adulto 1 y el adulto 2, respectivamente. Esto implica ejemplares de 12-13 m de largo (Figura 4.B).

Las velocidades obtenidas muestran que los titanosaurios productores de Titanopodus caminaban relativamente rápido, en comparación con el registro de otros saurópodos. Por ejemplo, los productores de Rotundichnus del Cretácico Inferior de Alemania muestran rangos de 3,1 a 4,5 km/h [34], mientras que los productores de Sauropodichnus del Cretácico Superior de Neuquén (Argentina) sólo alcanzan velocidades de 1,7–2,3 km/h [35]. Además, las deformaciones observadas en algunas icnitas, alargadas y con rebabas pronunciadas, indica que los titanosaurios productores de Titanopodus caminaron en sustratos húmedos y resbaladizos, donde se enterraban 20 a 30 cm.

Finalmente, un aspecto paleobiológico interesante es la orientación de las pistas, la que brinda indicios sobre el desplazamiento grupal de estos dinosaurios. En el sitio, las huellas se extienden en tres sectores. El sector A comprende alrededor de 160 huellas. El sector B, ubicado 234 m al sur del sector A, comprende unas 100 huellas parcialmente cubiertas por sedimento. Finalmente el sector C, localizado 150 m al sur del sector B, incluye más de 50 huellas [1].

En el sector A se reconocen tres pistas paralelas bien preservadas, AC-1, AC-3 y AC-4. Las tres poseen igual dirección y sentido. En particular la pista AC-3 se extiende en forma paralela a AC-4 a lo largo de 50 m, sin superponerse. Dado el menor tamaño de las icnitas (36 cm), AC-3 se atribuye a un ejemplar juvenil.



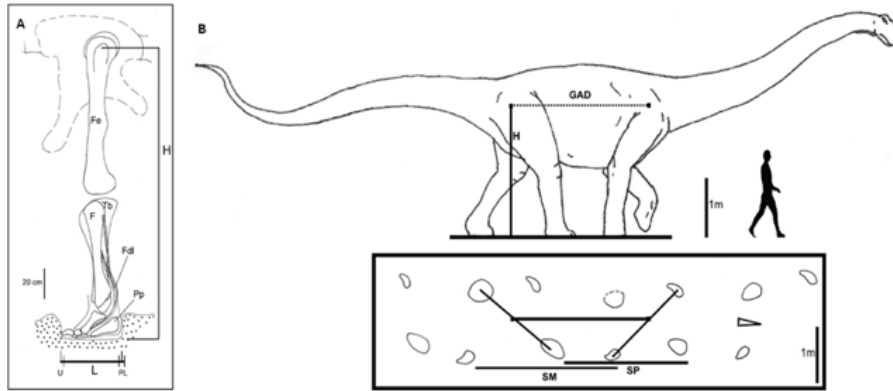


Figura 4. A. Reconstrucción del miembro anterior del productor de las huellas de *Titanopodus mendozensis* (abreviaturas en el texto). B. Reconstrucción del productor de las icnitas de *Titanopodus* y sección de la pista AC-4. SM y SP, zancada de mano y pie. H: altura de la articulación del femur. GAD: distancia glenoacetabular.

La distribución areal de pistas con igual dirección y sentido es sugestiva y podría implicar desplazamientos grupales. No obstante, estas interpretaciones deben cumplir ciertos criterios [36], los que se cumplen en los casos estudiados, a saber: (1) Se observan similares condiciones de profundidad y rebabas entre las huellas, las que se ubican en el mismo estrato, (2) Poseen velocidades similares, sean ejemplares adultos o juveniles, (3) Exhiben un espaciado regular entre las pistas, sin entrecruzamientos y (4) se registran análogos cambios de dirección de marcha, en especial en las pistas AC-4 y AC-3, las que se extienden en forma paralela y muy próximas entre sí. En este contexto, es coherente sostener que al menos 3 ejemplares de titanosaurios se desplazaron en forma grupal, con igual dirección y sentido. Y dos de ellos, adulto y juvenil, caminaron juntos al menos por un tramo de 50 m (Figura 5).

Evidencias icnológicas de este tipo implican desplazamientos grupales, lo que es congruente con el registro de otros yacimientos icnológicos, tal como los de Bolivia [9] y España [37]. Así mismo, otras líneas de evidencias, como la existencia de sitios de nidificación, con puestas de huevos muy próximas entre sí son interpretados como indicadores de comportamientos gregarios [38], lo que sería frecuente en ciertos taxa de saurópodos, particularmente en titanosaurios. Si bien el término gregario debe tomarse con reservas, dado las implicancias comportamentales que denota,

las evidencias icnológicas aquí expuestas evidencian claramente, desplazamientos grupales de diversos especímenes.

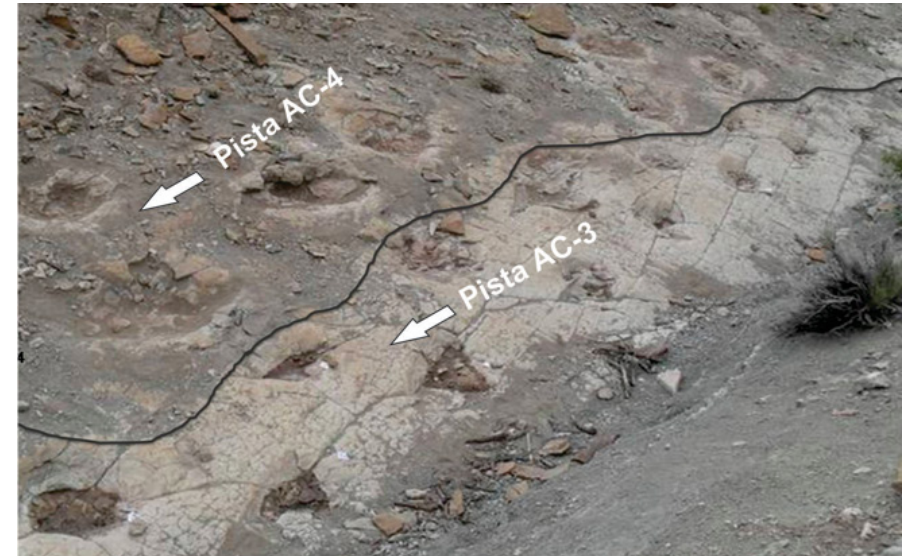


Figura 5. Pistas AC-3 y AC-4 del yacimiento icnológico Agua del Choique, con indicación del sentido de desplazamiento.

## CONCLUSIONES

En niveles medios de la Formación Loncoche (Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano, Cretácico Superior) se localizan 3 niveles con icnitas de dinosaurios, las que corresponden en su gran mayoría a saurópodos titanosaurios de porte medio (12-13m de longitud). En este sector la Formación Loncoche está integrada por fangolitas, areniscas tobáceas, calizas oolíticas y coquinas con bivalvos y fragmentos de vertebrados, depositados en ambientes deltaicos vinculados a una ingresión marina proveniente del Atlántico.

Estimaciones de velocidad de marcha indican que los productores de las huellas se desplazaban a 4,7-4,9 km/h, y dado los atributos tafonómicos, lo hacían sobre sustratos fangosos y saturados, con ciertos deslizamientos de los pies. Esta velocidad ha sido calculada mediante fórmulas empíricas basadas en similitud dinámica, aplicando comparaciones anatómicas de detalle con el titanosaurio articulado de



La Invernada (Formación Allen, provincia de Neuquén). La distribución areal de las pistas, con igual dirección y velocidad, constituyen evidencias a favor de desplazamientos grupales.

La magnitud y estado de preservación del yacimiento, con más de 300 huellas, y su diverso registro, que también incluye restos óseos de peces, plesiosaurios y tortugas, justifica desde el punto de vista científico, patrimonial y educativo, la creación de un área protegida, el Parque Municipal Cretácico Huellas de Dinosaurios, el cual se transforma en un "museo a cielo abierto" para la sociedad.

### AGRADECIMIENTOS

Estudio financiado por los proyectos CONICET PIP 0713/09 y Universidad Nacional de Cuyo (2011-2012). Agradecemos el apoyo del IANIGLA-CONICET y el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de Cuyo, mediante su programa "Taller de Paleontología".

### REFERENCIAS

- [1] González Riga B.J. y Calvo J.O. 2009. A new wide gauge Sauropod track site from the Late Cretaceous of Mendoza, Neuquén Basin, Argentina. *Palaeontology* 52(3): 631–640.
- [2] González Riga B.J. 2011. Speeds and stance of titanosaur sauropods: analysis of Titanopodus tracks from the Late Cretaceous of Mendoza, Argentina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 83(1): 279-290.
- [3] Casamiquela R.M. y Fasola A. 1968. Sobre pisadas de dinosaurios del Cretácico Inferior de Colchagua (Chile). *Departamento de Geología de la Universidad de Chile* 30: 1–24.
- [4] Moreno K. y Pino M. 2002. Huellas de dinosaurios (Theropoda-Ornitopoda-Sauropoda) de la Formación Baños del Flaco, VI Región, Chile: paleoambiente y paleoetología.
- [5] Moreno K., Blanco N. y Tomlinson A. 2004. Nuevas huellas de dinosaurios del Jurásico Superior en el norte de Chile. *Ameghiniana* 41(4): 535–543.
- [6] Moreno K. y Benton M. 2005. Occurrence of sauropod dinosaur tracks in the Upper Jurassic of Chile (redescription of *Iguanodonichnus frenki*). *Journal of South American Earth Sciences* 20(3): 253–257.
- [7] Leonardi G. 1989. Inventory and statistics of the South American dinosaurian Ichnofauna and its Paleobiological interpretation. En: Gillette D and Lockley M (Eds), *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 165–178.
- [8] Meyer C.A., Hippler D. y Lockley M.G. 2001. The Late Cretaceous vertebrate ichnofacies of Bolivia – facts and implications. En: VII International Symposium On Mesozoic Terrestrial Ecosystems. Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial 7: 133–138.
- [9] Lockley M.G., Shulp AS, Meyer, CA, Leonardi G y Kerumba Mamani D. 2002. Titanosaurid trackways from the Upper Cretaceous of Bolivia: evidence for large manus, wide-gauge locomotion and gregarious behavior. *Cretaceous Research* 23: 383–400.
- [10] Calvo J.O. 1991. Huellas de dinosaurios en la Formación Río Limay (Albiano-Cenomaniano?), Picún Leufú, Provincia del Neuquén, República Argentina (Ornithischia- Saurischia: Sauropoda-Theropoda). *Ameghiniana* 28: 241–258.
- [11] Calvo J.O. y Mazzetta G.V. 2004. Nuevos hallazgos de huellas de dinosaurios en la Formación candeleros (albiano - Cenomaniano), Picún leufú, Neuquén, Argentina. *Ameghiniana* 41: 545–554.
- [12] Calvo J.O. 1999. Dinosaurs and other vertebrates of the Ezequiel Ramos Mexía área, Neuquén-Patagonia Argentina. 13-15. En: Tomida Y, Rich T and Vickers-Rich P (Eds), *Proceedings of the Second Gondwanan Dinosaur Symposium*. National Science Museum Monographs 15, p. 13–15.
- [13] Leanza, H.A. y Hugo, C.A. 2001. Cretaceous red beds from southern Neuquén Basin (Argentina): age, distribution and stratigraphic discontinuities. *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial*, 7, 117-122.
- [14] González Riga, B.J. y Astini, R. 2007. Fossil preservation of large titanosaur sauropods in overbank fluvial facies: a case study in the Cretaceous of Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 23: 290-303gr y astini
- [15] Garrido, A. 2010. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 12(2): 121-177.
- [16] González Riga, B.J. y Parras, A.M. 1998. Paleoambiente y Paleontología de la Formación Loncoche (Cretácico Superior) en Ranquil-Có, sur de la provincia de Mendoza, R. Argentina. 7º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía (Bahía Blanca, 4-9 de octubre de 1998); Universidad Nacional del Sur (ISBN 987-9281-15-2), Actas, p. 81.

- [17] Parras A., Casadío S. y Pires M. 1998. Secuencias depositacionales del Grupo Malargüe (límite Cretácico - Paleógeno), sur de la provincia de Mendoza, Argentina. *Publicación Especial de la Asociación Paleontológica Argentina* 5: 181-192.
- [18] González Riga, B.J., Ordoñez, M., Nasif, D. Croce, C. y Crack, J. 2011. First record of dinosaur tracks from the Anacleto Formation in the Mendoza Province, Neuquén Basin, Argentina. *Reunión Anual de comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina (Luján, 23-25 de noviembre) Resúmenes*: 35-36.
- [19] Pramparo, M., Gonzalez Riga, B.J. y Previtera, E. 2008. Paleoenvironmental reconstruction of a Late Cretaceous Dinosaur track site of Argentina: palynological evidences. *12th International Palynological Congress and 8th Organisation of Paleobotany Conference (30 de agosto-5 de septiembre, Bonn, Alemania) Abstract*: 227.
- [20] González Riga, B.J., Prámparo, M. y Calvo, J.O. 2009. A mega track site of Mendoza (Argentina): a case study of Wide-gauge sauropod trackway from the Late Cretaceous. *10th Mesozoic Terrestrial Ecosystems and Biota (Teruel, España, 17-19 de septiembre), Abstract*: 147-149.
- [21] González Riga B.J. 1999. Hallazgo de vertebrados fósiles en la Formación Loncoche, Cretácico Superior de la provincia de Mendoza, Argentina. *Ameghiniana* 36: 401-410.
- [22] Previtera M.E. y González Riga B.J. 2008. Primer hallazgo de vertebrados fósiles en la Formación Loncoche (Cretácico Superior) en el área de Calmu-Co, Mendoza, Argentina. *Ameghiniana* 45: 349-359.
- [23] Alexander R.M. 1976. Estimates of the speed of dinosaurs. *Nature* 261: 129-130.
- [24] Alexander R.M. 1991. Doubts and assumptions in dinosaur mechanics. *Interdiscipl Sci Rev* 16: 175-181.
- [25] Alexander R.M. 2006. Dinosaur biomechanics. *Proc R Soc* 273: 1849-1855.
- [26] Thulborn R.A. 1990. *Dinosaur tracks*. Chapman and Hall, London, 410 p.
- [27] Wilson J.A. y Carrano, M.T. 1999. Titanosaurs and the origin of "wide gauge" trackways: a biomechanical and systematic perspective on sauropod locomotion. *Paleobiology* 25: 252-267.
- [28] Martinelli A. y Forasiepi A.M. 2004. Late Cretaceous vertebrates from Bajo de Santa Rosa (Allen Formation), Río Negro province, Argentina, with the description of a newsauropod dinosaur (Titanosauridae). *Rev Mus Argent Cienc Nat* 6(2): 257-305.
- [29] Salgado L. y Azpilicueta C. 2000. Un nuevo saltosaurino (Sauropoda, Titanosauridae) de la provincia de Río Negro (Formación Allen, Cretácico Superior), Patagonia, Argentina. *Ameghiniana* 37: 259-264.
- [30] Bonaparte J.F. y Powell J.E. 1980. A continental assemblage of tetrapods from the Upper Cretaceous beds of El Brete, northwestern Argentina (Sauropoda, Coelurosauria, Carnosauria, Aves). *Mem Soc Geol Fran* 139: 19-28.
- [31] González Riga B.J., Calvo J.O. y Porfiri J. 2008. An articulated titanosaur from Patagonia (Argentina): new evidences of the pedal evolution. *Palaeoworld* 17: 33-40.
- [32] Bonnan M.F. 2003. The evolution of manus shape in sauropod dinosaurs: implications for functional morphology, forelimb orientation, and phylogeny *Journal of Vertebrate Paleontology* 23: 595-613.
- [33] Martínez R., Giménez O., Rodríguez J., Luna M. y Lamanna M. 2004. An articulated specimen of the basal Titanosaurian (Dinosauria: Saurópoda) *Epachthosaurus sciuttoi* from the Early Late Cretaceous Bajo Barreal Formation of Chubut Province, Argentina. *Journal of Vertebrate Paleontology* 24(1): 107-120.
- [34] Lockley M.G. Wright JI y Thies D. 2004. Some observations on the dinosaur tracks at Münchehagen (Lowe Cretaceous), Germany. *Ichnos* 2: 261-274.
- [35] Mazzetta, G.V. y Blanco, R.E. 2001. Speeds of dinosaurs from the Albian-Cenomanian of Patagonia and sauropod stance and gait. *Acta Palaeontologica Polonica* 46: 235-246.
- [36] Leonardi G. 1989. Inventory and statistics of the South American dinosaurian Ichnofauna and its Paleobiological interpretation. En: Gillette D and Lockley M (Eds), *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 165-178.
- [37] Castanera D., Barco J.L., Díaz-Martínez I., Herrero Gascón J., Pérez-Lorente F. y Canudo J.I. 2011. New evidence of a herd of titanosauriform sauropods from the lower Berriasian of the Iberian range (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310: 227-237.
- [38] Chiappe, L., Schmitt, J., Jackson, F., Garrido, A., Dingus, L. y Grellet-Tinner, G. 2004. Nest Structure for Sauropods: Sedimentary Criteria for Recognition of Dinosaur Nesting Traces *Palaios* 19: 89-95.

# Desarrollo de una Metodología para Establecer Cotas Ortométricas mediante Observaciones de Gravedad, Nivelación Geométrica y Posicionamiento GNSS

Alfredo Héctor Herrada (1),(2) y Silvia Alicia Miranda (1),(3)

1- Instituto Geofísico Sismológico "Fernando S. Volponi". Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan.

2- Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.

3- Dpto. Geofísica y Astronomía. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan.

[aherrada@unsj.edu.ar](mailto:aherrada@unsj.edu.ar)

## RESUMEN

En la presente comunicación se pondera la influencia que ejerce la gravedad en las alturas sobre el nivel del mar determinadas por medio de nivelación geométrica. Para tal fin se desarrollan algunos conceptos teóricos a partir de los cuales es posible establecer una expresión para el cálculo de la corrección ortométrica. Así mismo se calculan cotas ortométricas en puntos seleccionados en los cuales se han establecido alturas mediante nivelación geométrica, valores de gravedad y georeferenciamiento mediante la técnica GPS.

## INTRODUCCIÓN

La cota de un punto sobre la superficie terrestre se define como la distancia existente, sobre la línea vertical, entre éste y una superficie de referencia (datum vertical). Su determinación se realiza mediante un procedimiento conocido como Nivelación. Desde un punto de vista físico, dos puntos de la superficie terrestre se encuentran en la misma superficie de nivel cuando el valor del potencial gravitatorio en dichos puntos es igual, o lo que es lo mismo, tienen el mismo número geopotencial ( $C$ ). El número geopotencial se define como la diferencia de potencial que existe entre la superficie de referencia y el punto considerado.

La diferencia de potencial de un punto respecto al potencial de referencia no se puede medir directamente, se establece a partir de la determinación conjunta de desniveles y valores de gravedad. Como no es posible medir la gravedad en el interior

de la corteza terrestre, será necesario, a su vez, efectuar una hipótesis del comportamiento de la gravedad en la zona existente entre el geoide y la superficie terrestre. Se denomina cota ortométrica a la longitud, medida a lo largo de la línea de la plomada, que existe entre el geoide y el punto considerado. Las cotas ortométricas se determinan mediante nivelación geométrica y su relación con el potencial, siendo las más idóneas para ser utilizadas en levantamientos geodésicos y en cálculos de ingeniería de grandes obras. En nivelaciones de alta precisión, sobre todo si los itinerarios son extensos, la corrección ortométrica es obligatoria. Corrección que se aplica a la diferencia de altitudes medidas en un itinerario de nivelación geométrica para convertirla en diferencia de altitudes ortométricas. Es negativa en ambos hemisferios para itinerarios de nivelación en que aumenta la latitud a lo largo del recorrido y positiva en caso contrario. Los puntos de igual cota ortométrica equidistan de la superficie de nivel de cota cero, pero no están situados en la misma superficie de nivel. No cabe duda de que sería deseable que cada superficie de nivel estuviera afectada de una sola cota. Por ello, va tomando cada vez más incremento la introducción de la llamada cota dinámica.

Las cotas dinámicas están basadas en la constancia de potencial de cada superficie de nivel, es decir, en la equidistancia dinámica entre ellas. Se reemplaza la concepción anterior de separación geométrica entre dos superficies de nivel por el trabajo que desarrollaría la unidad de peso desplazándose de una a otra superficie. Es cons-

tante para todos los puntos de una superficie equipotencial. En este tipo de cotas se adopta como valor para la gravedad media un valor constante. Generalmente el valor empleado es el valor de la gravedad normal del elipsoide de referencia adoptado para una latitud de 45°. Como resultado de su definición, las cotas dinámicas difieren de las cotas geopotenciales solamente en escala y unidad.

El concepto de altura normal, introducida por Modolenski, es similar al de altura ortométrica, con la diferencia que el valor adoptado para la gravedad está basado en el concepto de gravedad normal y no en el de gravedad real. La ventaja que aporta este tipo de altitudes es que, una vez fijado el elipsoide de referencia, permite determinar las altitudes sin ningún tipo de hipótesis. Evidentemente, las altitudes normales, aunque parecidas, no son exactamente igual a las ortométricas.

La altura elipsoidal es la distancia que existe entre el elipsoide y el punto considerado, medida a lo largo de la normal al elipsoide. No tiene, por tanto, significado físico alguno, solamente geométrico.

Este tipo de altitud se relaciona con la altitud ortométrica a través de la ondulación del geoide. Su utilidad reside en que permite relacionar las coordenadas geodésicas con las coordenadas cartesianas geocéntricas y viceversa, lo que es de suma importancia al tratar con coordenadas y vectores obtenidos mediante técnicas de geodesia satelital (Sistema GNSS).

### CONCEPTO DE COTA ORTOMÉTRICA

Considerando un punto P (Figura N°: 1) sobre la superficie terrestre, dicho punto tiene un potencial (geopotencial)  $W_p$  y también un potencial normal o esferopotencial  $U_p$ , siendo en general  $W_p \neq U_p$ . Sin embargo, existe un determinado punto Q en la línea de fuerza por P, tal que  $U_Q = W_p$ , es decir que el potencial normal en Q es igual al geopotencial en P.

$h$  = altura elipsoidal de P.

$H^*$  = altura normal de P (altura elipsoidal  $h_Q$  de Q).

$H$  = altura ortométrica de P.

$\zeta$  = anomalía de altura.

$N$  = ondulación del geoide en P.

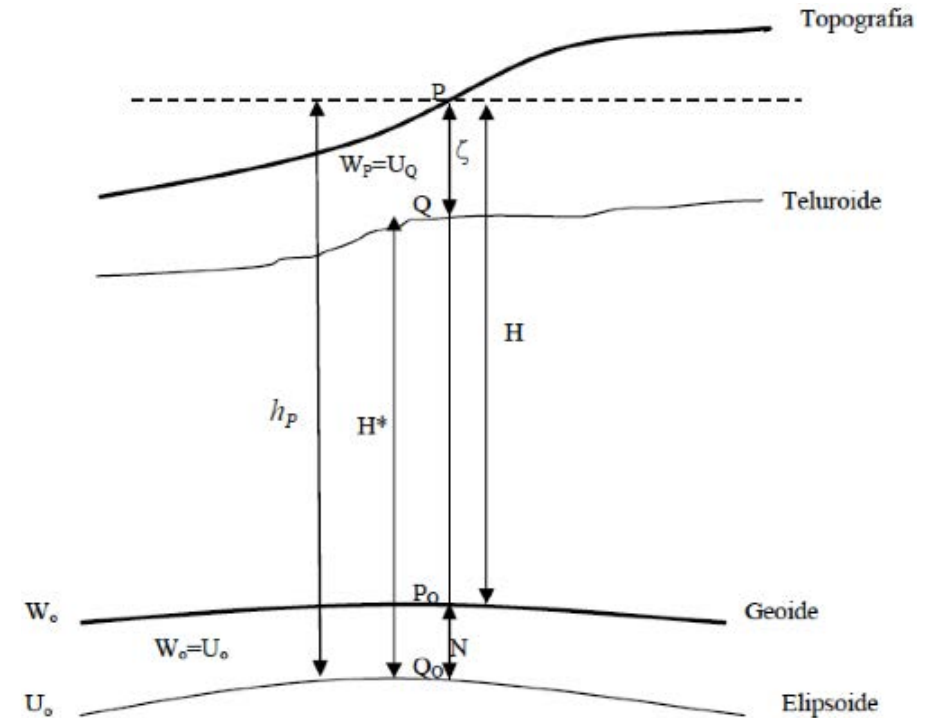


Figura N°: 1

La altura ortométrica de P está dada por:

$$H = \frac{C}{g} \quad (1)$$

donde C, número geopotencial del punto P, viene dado por:

$$C = - \int_0^H g \, dH = W_0 - W_p = U_0 - U_p \quad (2)$$

$U_0$  es el potencial normal en el punto  $Q_0$ , es decir es el esferopotencial en la superficie de referencia (elipsoide de revolución).

También  $U_0 = W_0$ , siendo  $W_0$  el potencial del geoido. La cantidad  $g$  es la gravedad media a lo largo de la línea de fuerza entre  $P_0$  y  $P$ , se computa como:

$$\bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g(z) dz = \frac{1}{H} \int_0^H [g + 0.0848(H - z)] dz = g + 0.0424 H \quad (3)$$

Es decir: 
$$\bar{g} = g + 0.024 H \quad (\text{H en km, g en gal}) \quad (4)$$

$g$  es la gravedad observada en  $P$ . Luego la altura ortométrica está dada por:

$$H = \frac{C}{\bar{g} + 0.0424 H} \quad (\text{C en kgal, g en gal, H en km}) \quad (5)$$

Para calcular el número geopotencial  $C$  en  $P$ , es necesario determinar previamente el valor de  $h_Q$ , altura elipsoidal de  $Q$ , es decir la altura normal  $H^*$  de  $P$ . Para ello, procediendo en forma aproximada de la siguiente manera, se tiene:

$$(\zeta - N)[\text{metros}] = 0.1 \bar{H} [\text{Km}] H[\text{Km}] \quad (6)$$

donde  $\bar{H}$  es la altura promedio, sobre el nivel del mar (en kilómetros) de la zona de trabajo,  $H$  (en kilómetros) es la altura obtenida por medio de nivelación geométrica del punto  $P$ .  $N$  es la ondulación del geoido obtenida como  $N = h - H$  donde  $h$  proviene de una determinación mediante técnicas de geodesia satelital (Sistema GNSS).

Luego: 
$$\zeta = N + 0.1 \bar{H} H \quad (7)$$

Finalmente, de la Figura N°: 1 se tiene:

$$H^* = h_Q = h - \zeta \quad (8)$$

que es un valor aproximado de  $h_Q$ .

Se está ahora en condiciones de calcular las coordenadas cartesianas de  $Q$ .

$$\begin{aligned} X_Q &= (N + h_Q) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y_Q &= (N + h_Q) \cos \varphi \sen \lambda \\ Z_Q &= [N(1 - e^2) + h_Q] \sen \varphi \end{aligned}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sen^2 \varphi)}} \quad (9)$$

$$e^2 = 2f - f^2$$

$$f = \frac{a-b}{a}$$

$\varphi$ ,  $\lambda$  y  $h$  son las coordenadas geodésicas de  $P$ , se obtienen mediante determinaciones G.P.S. A continuación se calculan las coordenadas elipsoidales ( $\mu$ ,  $\beta$ ) de  $Q$ , en función de las coordenadas cartesianas trirectangulares de  $Q$  ( $X_Q$ ,  $Y_Q$ ,  $Z_Q$ ).

$$\sqrt{(\mu^2 + E^2)} \cos \beta \cos \lambda = X_Q \quad (10)$$

$$\sqrt{(\mu^2 + E^2)} \cos \beta \sen \lambda = Y_Q$$

$$\mu \sen \beta = Z_Q$$

donde:

$E^2 = a^2 - b^2$ ,  $a$  y  $b$  semiejes mayor y menor respectivamente del elipsoide de referencia.

Entonces:

$$\mu^2 = (X_Q^2 + Y_Q^2 + Z_Q^2 - E^2) [0.5 + 0.5 (1 + 4E^2 Z_Q^2 / (X_Q^2 + Y_Q^2 + Z_Q^2 - E^2)^{1/2})] \quad (11)$$

$$tg \beta = (Z_Q (\mu^2 + E^2)^{1/2} / (\mu (X_Q^2 + Y_Q^2))^{1/2})$$



El potencial normal  $U_0$  está dado por

$$U_0 = (kM/E) \operatorname{arctg}(E/b) + (1/3)w^2a^2 \quad (12)$$

Considerando como elipsoide de referencia al GRS '80, cuyas constantes son:

$$\begin{aligned} a &= 6378137 \text{ m} \\ b &= 6356752.3141 \text{ m} \\ kM &= 3.986005 \times 10^{20} \text{ cm}^3/\text{s}^2 \\ w &= 0.7292115 \times 10^{-4} \text{ rad/s} \\ E &= 521854.0114 \text{ m} \end{aligned}$$

es posible calcular el potencial normal del elipsoide de referencia:

$$U_0 = 6263686.085 \text{ kgal}$$

El potencial normal en Q,  $U_Q = U(\mu, \beta)$  es:

$$U(\mu, \beta) = \frac{(kM/E) \operatorname{arctg}(E/\mu) + 0.5 w^2 a^2 (q/q_0) (\sin^2 \beta - 1/3) + 0.5 w^2 (\mu^2 + E^2) \cos^2 \beta}{(13)}$$

donde:

$$q = 0.5 [(1 + 3(\mu/E)^2) \operatorname{arctg}(E/\mu) - 3(\mu/E)] \quad (14)$$

$$q = 0.5 [(1 + 3(b/E)^2) \operatorname{arctg}(E/b) - 3(b/E)] \quad (15)$$

Pudiendo ahora determinar C, y finalmente H, con las expresiones correspondientes.

### CÁLCULO DE COTAS ORTOMÉTRICAS

Se evalúan, mediante la metodología expuesta, las cotas ortométricas de 6 puntos georeferenciados mediante la técnica G.P.S., cuya altura sobre el nivel medio del mar se determinó mediante nivelación geométrica y se establecieron valores de gravedad.

Las coordenadas geodésicas, las alturas sobre el nivel medio del mar (en metros) y valores de gravedad observada (en gal) en los puntos objeto de la evaluación, se exponen a continuación en las Tablas N°:1 y 2.

COORDENADAS GEODESICAS (WGS '84)		
$\varphi$	$\lambda$	h
-31°33'13.94929	-68°32'22."59701	671.780 m
-31°32'14.66437	-68°32'11.86364	665.577 m
-31°30'40.19301	-68°32'16.00183	669.683 m
-31°39'55.19731	-68°32'35.85833	620.047 m
-31°33'13.94929	-68°32'02.92706	634.413 m
-31°36'20.84854	-68°31'43.15873	643.430 m

Tabla N°: 1.

H GEOMETRICA	g OBSERVADA	H ORTOMETRICA	$\delta$ (cm)
646.446 m	979.18425 gal	646.498 m	5.2
640.229 m	979.18252 gal	640.282 m	5.3
644.276 m	979.18069 gal	644.328 m	5.2
595.027 m	979.20160 gal	595.076 m	4.9
603.349 m	979.19760 gal	603.398 m	4.9
618.235 m	979.19430 gal	618.492 m	6.2

Tabla N°: 2.

La altura promedio de la zona es  $\bar{H}_{km} = 0.591713$ .

## CONCLUSIONES

Se concluye que las diferencias entre las cotas ortométricas (H) y las alturas obtenidas por nivelación geométrica están en el orden de los 5 cm en la zona estudiada, mientras que la variación en los desniveles considerando la corrección ortométrica es del orden del milímetro.

## REFERENCIAS

- [1] BOMFORD, G (1971): Geodesy. At the Clarendon Press. Oxford.
- [2] HEISKANEN, W; MORITZ, H. (1985): Geodesia Física. Instituto Geográfico y Nacional. Instituto de Astronomía y Geodesia, Madrid
- [3] KLEUSBERG, A; TEUNISSEN, P. (1998): GPS for Geodesy. Editorial Springer. Berlín.
- [4] TORGE, W. (1993): Geodesia. Editorial Diana. Mexico
- [5] VANICEK, Petr; KRAKIWSKY, Edward (1986): Geodesy: The Concepts. University of New Brunswick. Canadá.

# Relación entre sismos y emisión acústica en Cerro Blanco, Argentina

## RESUMEN

La Emisión Acústica (EA) es la liberación de ondas elásticas, de muy alta frecuencia, en el interior de un material, producto de la variación en su campo de tensiones. Esos cambios de tensión que sufre un sólido, producen pequeñas fisuras y las ondas elásticas liberadas pueden ser recogidas como EA. La frecuencia de la EA está comprendida en el rango de los ultrasonidos. El objetivo del estudio de la EA en estructuras geológicas es detectar los cambios de tensión que evidencian el estado en el que se encuentra la estructura y así lograr un mejor entendimiento de su comportamiento, relacionando las variaciones en el registro diario de la EA con la actividad sísmica de la zona. En este caso, la EA se registra en forma continua, obteniéndose los valores de los parámetros de la señal de EA y también su valor RMS (valor cuadrático medio).

En este trabajo se continúa con el análisis de los datos generados en la Estación de EA instalada en el Cerro Blanco (CB), ubicado en la provincia de San Juan, Argentina. La estación de EA en el CB es la segunda ubicada en la cordillera de Los Andes, habiendo comenzado el registro de datos en el año 2007. El período estudiado es desde enero de 2005 a septiembre de 2011. Para la toma de datos se emplean dos sensores piezoeléctricos, cuyas frecuencias de resonancia son de 25 kHz y 150 kHz. Se concluye que hay una correlación positiva entre los sismos y la emisión acústica. Se analiza también la recurrencia de sismos, teniendo en cuenta su magnitud y la profundidad de su foco.

C. Hucailuk (1),  
M. Armeite (1),  
D. Filipussi (1, 2, 3),  
M. I. López Pumarega (1),

J. Ruzzante (1, 2),  
M.A. Sabio Montero (4),  
B. Veca (5).

1- ICES ("International Center for Earth Sciences"), Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina.

2- U.T.N., Facultad Regional Delta, Buenos Aires, Argentina.

3- UNSAM, Universidad Nacional de Gral. San Martín, Buenos Aires, Argentina.

4- Instituto de Materiales y Suelos, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina.

5- ICES Mendoza.

[hucailuk@cnea.gov.ar](mailto:hucailuk@cnea.gov.ar)

## INTRODUCCIÓN

### Emisión Acústica

Se denomina Emisión Acústica (EA), al proceso de generación de ondas elásticas dentro de un material como resultado de un cambio en el campo de tensiones internas cuando éste sufre algún tipo de sollicitación externa. Ésta puede ser detectada por sensores piezoeléctricos distribuidos en la estructura, dando cuenta de la presencia y aumento de las fisuras [1]. El rango de aplicación de la EA está generalmente entre los 20 kHz y 1 MHz [2].

La aplicación de la EA a formaciones geológicas se investiga desde hace varios años con el objeto de estudiar su aplicación como posible técnica precursora de sismos y erupciones volcánicas [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en esta Estación de EA ubicada en la Cordillera de Los Andes, la cual se encuentra instalada en el Cerro Blanco (CB), dentro de un pequeño habitáculo para albergar el equipamiento de EA. El equipo posee dos canales de EA, utilizando sensores sintonizados con frecuencias de resonancia de 25 kHz y 150 kHz respectivamente, colocados sobre barras de vidrio de 60 cm aproximadamente, que actuando como guías de onda están sólidamente insertadas en el afloramiento rocoso (ver figura 1) [1].



*Figura 1. Sensores instalados en la roca.*

La señal es luego amplificada y procesada electrónicamente. Teniendo en cuenta una tensión eléctrica de referencia, llamada "umbral", se definen los siguientes parámetros que caracterizan a la señal de EA: Amplitud (A), Duración (D), Tiempo de Subida o "Rise Time" (RT) y Número de Cuentas o "Ring Down" (RD). También se determina el valor RMS (valor cuadrático medio de la señal), el cual es el que tiene relevancia en el presente trabajo.

En un trabajo anterior se definieron los términos más frecuentemente utilizados en esta investigación como sismo, foco o hipocentro, epicentro y magnitud [12].

### **Cerro Blanco**

El CB se encuentra ubicado en la provincia de San Juan, entre el kilómetro 32 y 35 de la Ruta Provincial N°12, a  $31^{\circ}30'$  latitud Sur y  $68^{\circ}50'$  longitud Oeste. Dista a unos 32 km de la Ciudad de San Juan, capital de la provincia [13]. Esta región está sujeta a esfuerzos originados en la subducción subhorizontal de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La roca que constituye el CB, ha sido considerada por diversos autores, de composición dacita. El estudio de la roca no ha revelado la presencia de cuarzo. La clasificación de la roca como andesita debe ser aclarada por cuanto esta última, tiene un mayor contenido de feldespato potásico [14].

En la figura 2 se muestra una fotografía del afloramiento ígneo llamado CB.



*Figura 2. Fotografía del CB, provincia de San Juan.*

## DESARROLLO

Por medio de dos sensores piezoeléctricos es tomada la señal, el canal 1 registra la baja frecuencia (25 kHz) y el 2, la alta frecuencia (150 kHz). A través de su valor cuadrático medio (RMS) se registra la EA. Estos datos son tomados cada 30 segundos, y luego son promediados en 24 horas, ya que diariamente se cuenta con un total de 2880 muestras.

Si bien el sistema de EA fue instalado en noviembre de 2006, no siempre se pudieron registrar los datos, ya que en varias ocasiones hubo necesidad de hacer ajustes en el sistema, se interrumpió la adquisición de datos por cortes en la tensión eléctrica, o por dificultades de funcionamiento de la PC, que requirieron volver a configurar todo el sistema. Se aclara que debido a que el canal 2 presentó valores, aproximadamente constantes durante todo el período considerado, se presume su funcionamiento incorrecto o poco fiable, de modo que sólo se realiza el análisis de los datos del canal 1 (baja frecuencia) [12].

El trabajo realizado consistió en analizar la ubicación (latitud y longitud) de los sismos con su profundidad a través de un gráfico tridimensional, especificando aquellos que fueron anticipados con EA elevada ("detectados con EA") y los que no se pudieron relacionar con aumentos de EA ("no detectados con EA"). El criterio determinado para afirmar que un sismo ha sido "detectado con EA" consiste en que el promedio diario del valor RMS de EA sea un valor superior a 0,2 V, por lo menos un día antes de que ocurriera el mismo. Este número fue seleccionado como "umbral" dado que la mayor parte del tiempo, sin actividad sísmica, no era superada. En el gráfico mencionado se trabajó con todos los sismos juntos. Una vez observado dos grupos bien determinados se trató el problema con aquellos sismos de poca profundidad (entre 0 y 40 km) y los de mayor profundidad (70 km en adelante) de manera separada como se verá posteriormente. Se realizaron, para todos los casos, gráficos de Magnitud vs. Profundidad; Latitud vs. Profundidad y Longitud vs. Profundidad. Además se graficó, para cada mes, el promedio diario del RMS y se lo analizó, relacionándolo con las fechas en que hubiera sismos; para ello se utilizó la información sísmica de la provincia de San Juan, provista por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) [15].

En trabajos anteriores se presentó el seguimiento, estudio y análisis de los datos de EA en el CB hasta abril de 2011 y su correlación con los datos sísmicos provistos por el INPRES [2, 12, 16, 17]. Previamente, se habían realizado análisis estadísticos de los distintos parámetros característicos de las señales de EA y los tiempos de arribo que fueron analizados con diferentes distribuciones [2].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para estudiar las características específicas de los sismos en la provincia de San Juan se eligió el período comprendido entre enero de 2005 a septiembre de 2011, si bien los datos de EA comenzaron a registrarse en enero de 2007 ya que recién a partir de ese año se pudieron considerar confiables.

Los extremos de la provincia, teniendo en cuenta la latitud y la longitud, son:

- Límite norte: 28°23' latitud Sur.
- Extremo sur: 32°37' latitud Sur.
- Límite oriental: 66°43' longitud Oeste.
- Extremo occidental: 70°35' longitud Oeste.

En la figura 3, que incluye toda la provincia de San Juan, se representa la ubicación del epicentro de los sismos en el lapso mencionado anteriormente. Se observa en dicha figura la gran actividad sísmica que presenta la zona del CB. Se puede decir que la ubicación geográfica del CB podría corresponder al "centro de masa" de esa distribución de puntos.



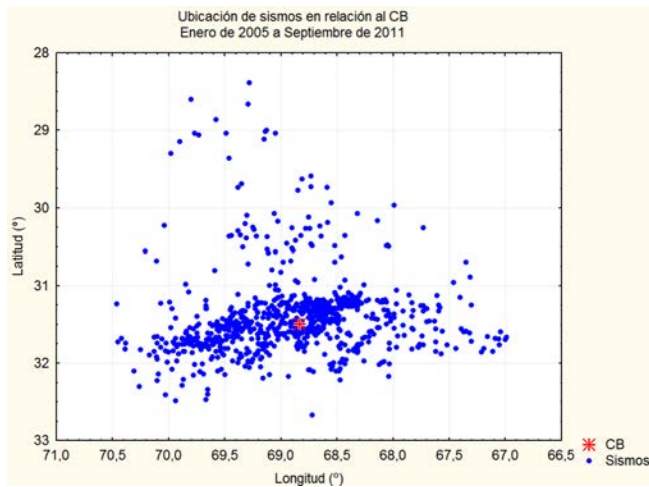


Figura 3. Gráfico de la ubicación de sismos (epicentro) en la provincia de San Juan en el período 2005-2011.

En la figura 4, se representa la magnitud de los sismos con su secuencia de ocurrencia entre los años 2005 y 2011, con un total de 857 sismos.

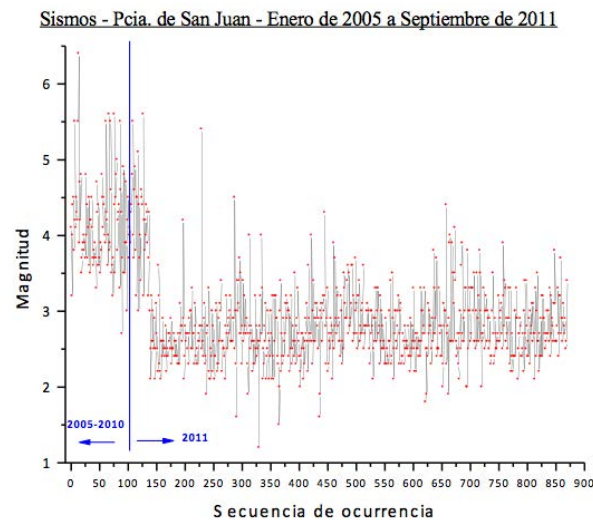


Figura 4. Gráfico de Magnitud vs. Secuencia de ocurrencia, provincia de San Juan, enero de 2005 a septiembre de 2011.

En la figura 5, se presenta un gráfico de la profundidad de los sismos en relación a su secuencia de ocurrencia. En éste se puede ver que ocurren mayor cantidad de sismos a profundidades superiores a los 70 km que aquellos que son más superficiales.

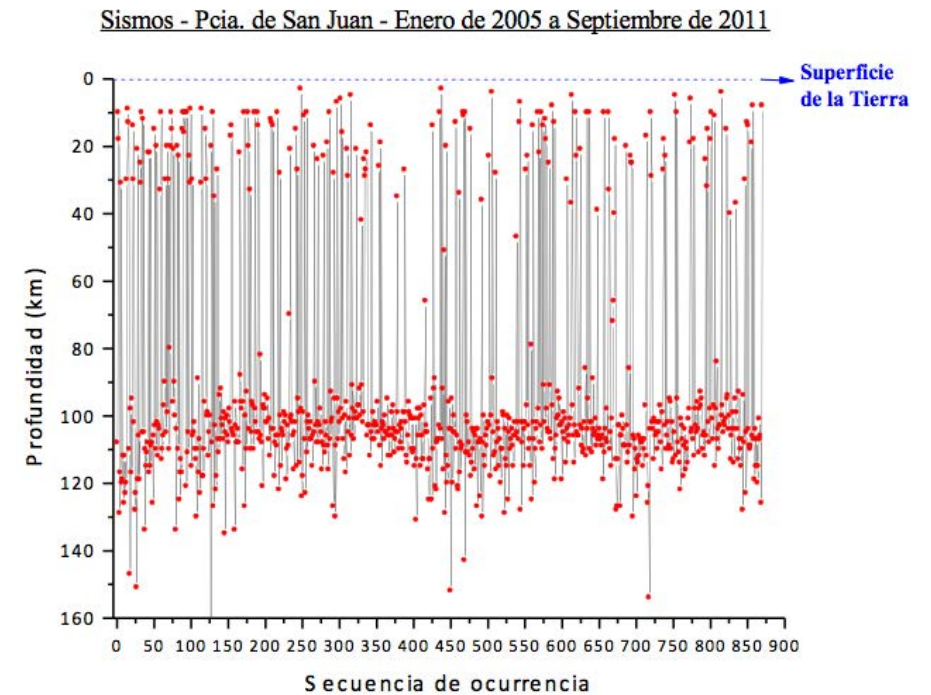


Figura 5. Profundidad de los sismos en relación a la secuencia de ocurrencia.

De este gráfico también se observa una muy importante cantidad de sismos de elevada profundidad. Luego se analizó la secuencia de ocurrencia, paso a paso, y se calculó el valor medio de la cantidad de sismos sucesivos a gran profundidad (mayor que 70 km) previos a uno a baja profundidad (menor que 70 km). El mismo análisis se hizo para la secuencia de sismos más superficiales. Así se pudo determinar que, en promedio, luego de 4,2 sismos a gran profundidad se produjeron 1,4 sismos a baja profundidad.

Como ya se indicó, la EA fue analizada por medio del promedio diario de su valor RMS, es decir, que la actividad acústica se reduce a un punto por día.

En la figura 6, a modo de ejemplo, se representa la evolución del valor RMS promedio por día, a lo largo de un mes, en este caso para abril de 2011. Los sismos ocurridos en ese período están indicados, aclarándose las coordenadas del epicentro, su profundidad, su magnitud (escala Richter) y con una flecha se señala su fecha de ocurrencia.

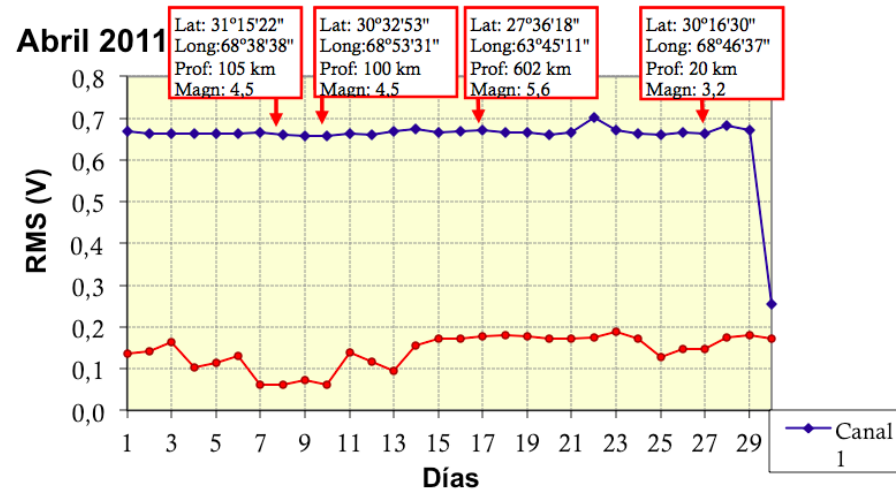


Figura 6. Evolución del RMS diario a lo largo de abril de 2011 y su relación con los sismos ocurridos.

Es posible ver que, en este período, los sismos señalados en color rojo, son catalogados como "detectados con EA", ya que la EA se encuentra alta y por encima del valor umbral.

En el sismo ocurrido el día 17 de abril se indica que su profundidad ha sido de 602 km y de 5,6 de magnitud en escala Richter, se trata de un sismo profundo, inusual en esta zona, que por lo general, son de magnitudes elevadas y se producen en la parte superior del manto terrestre, no como sismos tectónicos, sino como producto de cambios de estado de la materia y/o reacciones químicas, que es lo que se debe esperar a esas profundidades, temperaturas y presiones [18].

En la figura 7, se observa que los 6 primeros días del mes de junio de 2011 no se pudieron obtener datos ya que el sistema de EA de la estación del CB presentó fallas. Al finalizar el mes, ocurrieron cuatro sismos, los cuales se indican con color verde, ya

que se catalogan como "no detectados con EA" debido a que la EA se encontraba por debajo de la línea umbral.

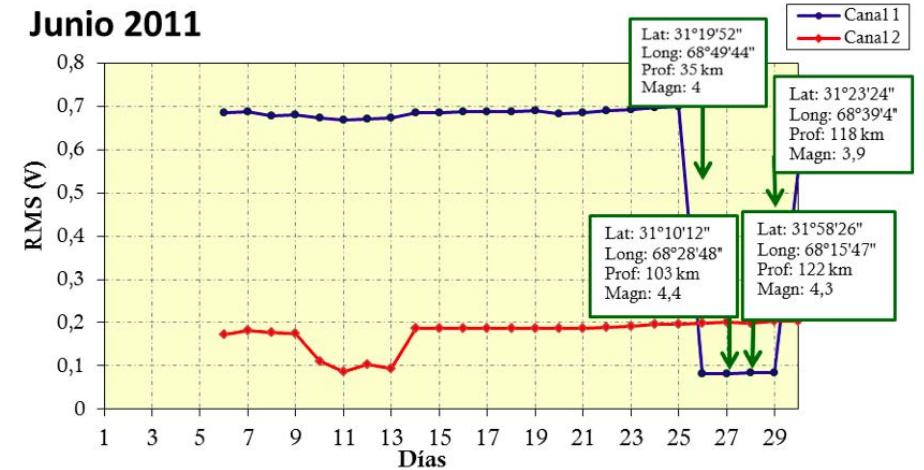


Figura 7. Evolución diaria del RMS, en la que se observa falta de datos en los primeros días del mes y la relación de sismos ocurridos al finalizar el mismo.

En el gráfico tridimensional de la figura 8, se indica la latitud, longitud y profundidad de los sismos producidos en San Juan desde 2007 hasta 2011, distinguiendo aquellos que han podido ser relacionados con las señales de EA ("detectados con EA") y los que no ("no detectados con EA"). En dicha figura es posible ver la distribución, en dos grupos diferenciados por su profundidad.

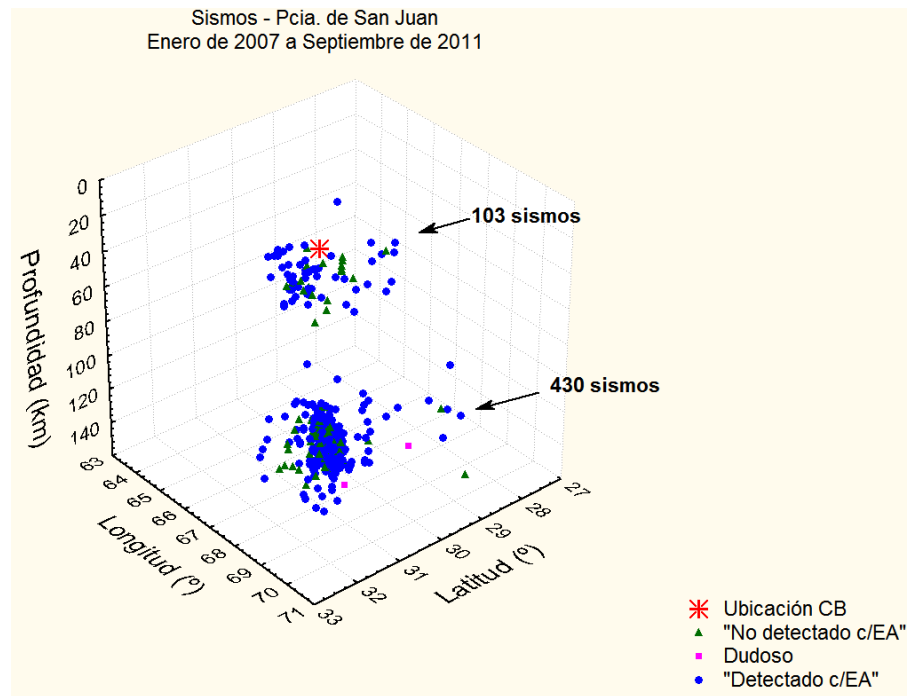


Figura 8. Ubicación de sismos en relación a la latitud, longitud y profundidad a la que se produjeron, relacionándolos con la EA, enero de 2007 a septiembre de 2011.

En la figura 9, se representa la magnitud de los sismos en función de su profundidad. Se observa que tanto en el grupo de sismos de baja como en el de mucha profundidad, hay sismos "detectados con EA", es decir que pareciera, que en el caso del CB, la profundidad no es importante para la producción de alta actividad de EA. Del gráfico también se puede ver que, los sismos "detectados con EA" corresponden tanto a aquellos de alta como de baja magnitud. Además se presume que la separación media entre los dos grupos de puntos, del orden de 90 km, puede deberse al espesor de la placa tectónica en esa zona.

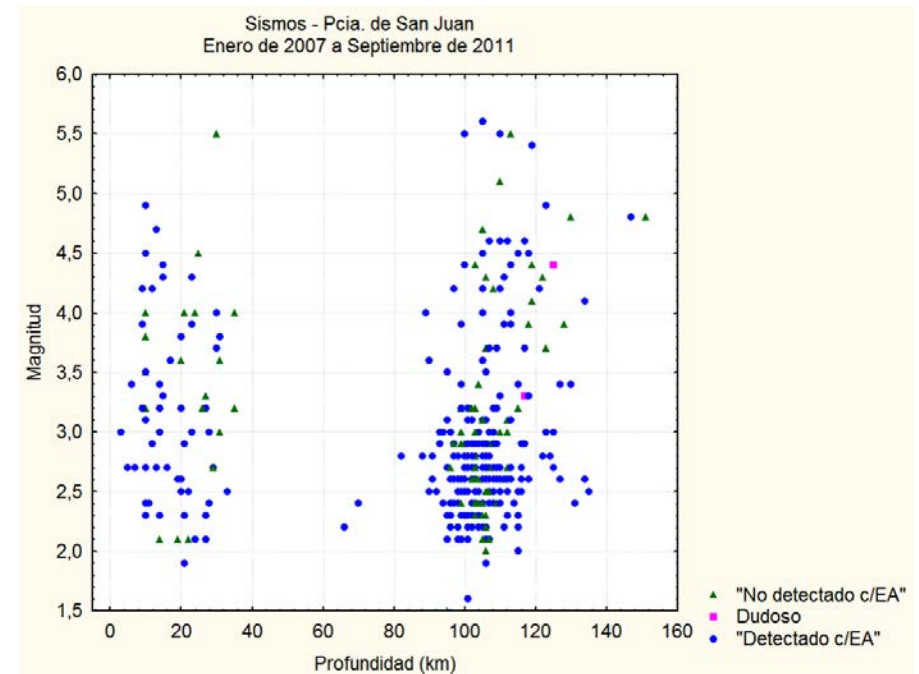


Figura 9. Gráfico de Magnitud vs. Profundidad de los sismos ocurridos, enero de 2007 hasta septiembre de 2011.

En la tabla I, se detalla la ocurrencia de sismos desde el año 2007 hasta la actualidad y su "detección" o no con EA. Es notable el aumento de la cantidad de sismos durante el presente año.

Año	2007	2008	2009	2010	2011	Total
<b>Cant. de sismos</b>	20	28	24	31	754	857
<b>"Detectado c/EA"</b>	4	6	9	22	383	424
<b>"No detectado c/EA"</b>	10	1	5	3	90	109
<b>Sin datos de EA</b>	6	21	10	6	281	324

Tabla I. Sismos reportados por el INPRES en la provincia de San Juan y su relación con la EA, en el período 2007-2011.

Analizando esta información junto con la información suministrada por el INPRES, acerca de todos los sismos que ocurrieron en la provincia de San Juan, se concluye que el aumento del RMS de EA podría correlacionarse en forma anticipada, con la producción de muchos de los sismos con epicentro cercano al CB. Se verificó que durante estos 5 años citados, sobre un total de 533 sismos ocurridos en períodos con registro de EA, 424 se “detectaron con EA”. En porcentaje esto implica que, de 100 sismos ocurridos, 79,5 fueron “anticipados” por el aumento de la actividad de EA.

## CONCLUSIONES

Se continuó con el avance en el estudio y análisis de la EA registrada en el CB hasta septiembre de 2011, correlacionando la actividad de EA registrada con la información sísmica en la provincia de San Juan.

En el lapso de los 5 años analizados, la zona del CB presenta gran actividad sísmica con crecimiento considerable en el último año.

Los sismos “detectados con EA” corresponden a aquellos con origen tanto a alta como baja profundidad y son independientes de su magnitud.

Se vio que hay una importante repetición de sismos a profundidades superiores a los 80 km antes de que se produzca otro más superficial. En el período de 5 años estudiados se puede decir que, en promedio, luego de 4,2 sismos de gran profundidad se producen 1,4 sismos de baja profundidad.

Se evaluó que en la provincia de San Juan, durante el período 2007-2011, fueron “anticipados con EA”, el 79,5 % de los sismos ocurridos durante el registro simultáneo de la EA.

## REFERENCIAS

- [1] M. A. Sabio Montero, S. Isaacson, M. I. López Pumarega, M. Armeite, G. Paparo, G. P. Gregori, J. E. Ruzzante, M. P. Gómez: “Estudio de la Emisión Acústica en el Cerro Blanco, San Juan, Argentina”, 5-7 de noviembre de 2008, “VI Congreso Iberoamericano de Acústica – FIA 2008, Buenos Aires, Argentina”. Actas: ISBN 978-987-24713-1-6.
- [2] S. Isaacson, M. A. Sabio Montero, M. I. López Pumarega, M. Armeite, G. Paparo, J. E. Ruzzante, M. P. Gómez: “Análisis de Autosimilaridad de los Tiempos de Arribo de la Emisión Acústica en el Cerro Blanco, San Juan, Argentina”, 14-17 abril 2009, Actas XXIV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas AAGG, Primer Taller de Trabajo de Estaciones Continuas GNSS de América y el Caribe, Mendoza, Argentina, pp. 241-248. ISBN 978-987-25291-1-6.
- [3] G. Giovanni, G. Paparo, U. Coppa, I. Marson: “Acoustic Emission (AE) in geophysics”, 2001, in Actas E-GLEA2, Segundo Encuentro Latinoamericano de Emisión Acústica, Primero Iberoamericano, edited by M. I. López Pumarega and J. E. Ruzzante, Grupo Latinoamericano de Emisión Acústica, pp.57-78.
- [4] G. Giovanni, G. Paparo, U. Coppa, I. Marson: “Acoustic Emission in geophysics: a reminder about the methods of analysis”, 2002, Boll. Geofis.Teor. Appl., 43, (1-2), pp. 157-172.
- [5] G. Giovanni, G. Paparo, M. Poscolieri, A. Zanini: “Acoustic Emission and released seismic energy”, 2005, Natural Hazards Earth System Sci., 5, pp. 777-782.
- [6] G. Paparo, G. P. Gregori, F. Angelucci, A. Taloni, U. Coppa, S. Inguaggiato: “Acoustic Emissions in Volcanoes: The Case Histories of Vesuvius and Stromboli”, 2008, The 8th World Multi-Conference on Systemcs, Cybernetic and Informatics, SCL, Orlando, EEUU.
- [7] J. E. Ruzzante, G. Paparo, R. Piotrkowski, M. Armeite, M. I. López Pumarega: “Proyecto Peteroa, primera estación de Emisión Acústica en un volcán de Los Andes”, 2005, Revista Española de Física, Vol. 1 (19), No. 1, pp. 12-18. Disponible en: [www.ucm.es/info/revistaibfísica/peteroa.pdf](http://www.ucm.es/info/revistaibfísica/peteroa.pdf)
- [8] J. E. Ruzzante, M. I. López Pumarega, R. Piotrkowski, G. P. Gregori, I. Marson, G. Paparo, M. Poscolieri, A. C. Catellani, M. Armeite: “Earth Tides and Degassing on the Peteroa Volcano (Argentina) as Revealed by Acoustic Emission (AE) Timeseries”, 24-28 November 2008, “EGU Topical Conference Series, 4th Alexander von Humboldt International Conference, The Andes: Challenge for Geosciences”, Santiago, Chile.
- [9] J. E. Ruzzante: “Emisión Acústica y sus Aplicaciones en Geofísica”, 12-14 de agosto de 2008, Simposio Internacional, La Geofísica y sus Aportes en la Reducción de Riesgos de Desastres Naturales, Arequipa, Perú.
- [10] M. Armeite, D. Filipussi, M. P. Gómez, S. Isaacson, M. I. López Pumarega, N. Núñez, R. Piotrkowski, J. E. Ruzzante, D. Torres: “Emisión Acústica: un proceso vigente a distintas escalas y con muchas aplicaciones”, Diciembre 2009, Revista Abendi, Año VI, N° 35, pp. 58-59.

- [11] J. E. Ruzzante, M. I. López Pumarega: Acoustic Emission, Vol. 1, "Microseismic Learning how to listen to the Earth", chapter 2, 2008. ISBN 978-987-05-4116-5.
- [12] C. Hucailuk, M. Armeite, D. Filipussi, M.I. López Pumarega, J.E. Ruzzante, M.A. Sabio Montero, B. Veca: "Avances en el Estudio de la Emisión Acústica en el Cerro Blanco", 7º Encuentro del Grupo Latinoamericano de Emisión Acústica, E-GLEA7, 1ª ed., 25-27 agosto 2011, Mendoza, Argentina. ISBN 978-950-42-0137-3.
- [13] M. A. Sabio Montero, J. E. Ruzzante, G. Paparo, M. Armeite, M. I. López Pumarega, E. De Paula: "Estación de Emisión Acústica en el Cerro Blanco", 2008, Actas 2º Encuentro del International Center for Earth Sciences, E-ICES 2, CD Rom, Buenos Aires, Argentina.
- [14] F. Ruiz, A. Introcaso, A. Gallego, A. Laplagne: "Variaciones de gravedad en el valle de Tulum, San Juan: Aportes a la caracterización sismotectónica de la región", 2008, Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, GEOACTA 33, pp. 104-109. ISSN: 1852-7744.
- [15] Instituto Nacional de Prevención Sísmica. <http://www.inpres.gov.ar/>
- [16] J. E. Ruzzante, M. Armeite, M. I. López Pumarega, G. Paparo, S. Isaacson, B. Veca, M. A. Sabio Montero: "Evolución de la Emisión Acústica generada en el Cerro Blanco", 4-8 de octubre de 2010, "Sexto Encuentro Internacional del ICES, E-ICES 6", Acta de Resúmenes, Malargüe, Mendoza, Argentina, pp. 63-64. ISBN: 978-987-1323-18-0.
- [17] M. A. Sabio Montero, S. Isaacson, M. I. López Pumarega, M. Armeite, G. Paparo, G. P. Gregori, J. E. Ruzzante, M. P. Gómez: "Second Acoustic Emission Station at the Andes Mountains, San Juan, Argentina", 24-28 November 2008, EGU Topical Conference Series, 4th Alexander von Humboldt International Conference, The Andes: Challenge for Geosciences, Santiago, Chile.
- [18] Lic. Carlos Navarro, INPRES, comunicación personal.



# Del viejo al nuevo mundo: Evidencia arqueológica del uso de plantas a través del registro de Cueva de Luna, Malargüe, Mendoza, Argentina

Llano Carina (1)

1- ICB-UNCuyo Malargüe, Mendoza, Argentina.

llano.carina@gmail.com

## RESUMEN

El sur de Mendoza funcionó como un área de frontera entre indígenas y españoles/hispano-criollos. Como consecuencia del contacto entre ellos, se generaron profundas transformaciones en sus formas de organización económica, social y política. En este sentido la excavación del sitio arqueológico Cueva de Luna podría echar luz sobre algunas consideraciones acerca del contacto hispano-indígena, donde el análisis arqueobotánico es fundamental para dilucidar aspectos de las poblaciones indígenas locales, las cuales incorporaron rápidamente en sus dietas productos europeos. El objetivo de este trabajo es describir el registro arqueobotánico y comprender el uso de las plantas por parte de las poblaciones que habitaron el sur de la provincia. El sitio arqueológico Cueva de Luna ubicado en el Valle del río Grande presenta ocupaciones desde ca. 3800 años a.p. En términos generales, el registro arqueobotánico evidencia taxa silvestres autóctonos, entre los que abundan el algarrobo (*Prosopis* sp.), el molle (*Schinus polygamus*), el solupe (*Ephedra*) y la jarilla (*Larrea nitida*). Los restos arqueológicos recuperados son principalmente semillas y endocarpos de consistencia leñosa y en estado de preservación seco. Se registró también la presencia de especies domesticadas de origen americano tales como el poroto (*Phaseolus vulgaris*). Además, se reconocieron taxa de origen euroasiáticos siendo éstas el trigo (*Triticum* sp.) y la nuez (*Juglans* sp.). El registro de Cueva de Luna es interesante al respecto porque podría corresponder al siglo XIX, siendo una ocupación de pehuenches, probablemente los últimos, a quienes les sucedieron los puesteros actuales. Estos resultados podrán ser útiles como base para futuros trabajos en relación a los cambios y continuidades en el uso de los recursos vegetales.

**Palabras Claves:** Arqueobotánica – contacto Hispano-Indígena – Trigo – Algarrobo

## INTRODUCCIÓN

Recientes estudios arqueobotánicos llevados a cabo en el sur de Mendoza–Argentina evidencian que el uso de plantas silvestres, particularmente el algarrobo y el molle, fueron importantes en la subsistencia de las poblaciones de cazadores-recolectores [1]. No obstante, el contacto entre el viejo y el nuevo mundo permitió el intercambio de especies de plantas domesticadas [2]. La evidencia arqueológica más confiable que confirma tanto el uso de especies silvestres como especies domesticadas del Cercano y Medio Oriente, proviene del sitio arqueológico Cueva de Luna, ubicado en la cuenca media del río Grande, Mendoza-Argentina [1, 3].

Al iniciarse los trabajos en el área, se contaba con escasa información sobre el poblamiento humano previo al siglo XIX. Las publicaciones de Gambier referidas a la excavación en la Gruta del Manzano [4, 5, 6] constituían, junto a los trabajos de Schobinger y Gradín sobre el arte rupestre de la región [7, 8], los únicos antecedentes de estudios arqueológicos con carácter sistemático. Posteriormente, las investigaciones de Durán [9, 10, 11] tanto arqueológicas como de recopilación de la documentación histórica [3], evidenciaron que en el valle del río Grande se establecieron redes de intercambio que vinculaban los distintos grupos indígenas con la sociedad hispano-criolla [11].

Si bien se cuenta con el análisis arqueofaunístico del sitio [12] y algunas menciones puntuales sobre la recuperación de especies vegetales, el objetivo de este trabajo es presentar el registro arqueobotánico enmarcado en la secuencia temporal propuesta por Durán [11] con especial énfasis en distinguir dentro de los diferentes componentes, los cambios y/o continuidades en el uso de los recursos vegetales.

La mencionada secuencia temporal se resume en la tabla 1, la cual fue inferida en base a fechados radiocarbónicos, indicadores cronológicos o de cambios tecnológicos, permitiéndole al autor establecer una secuencia de 5 componentes [11].

Capas	Componentes	Cronología	Evidencia Arqueológica
I	1	Siglo XX	Grupos de pastores que utilizan la cueva en forma esporádica
II	2	Siglos XVIII-XIX	Ocupación Pehuenche. El registro evidencia una fuerte vinculación interétnica tal como cerámica pintada de origen trasandino, huesos de ganado europeo, semillas de trigo
II	3	?	Ocupaciones de cazadores-recolectores próximas al contacto español
II	4	1490 a.p. (PL-321 LATYR)	Ocupaciones de cazadores-recolectores. Se recuperó material lítico, cerámico y vegetal
II	5	3830 a.p. (LP-341 LATYR)	Ocupaciones esporádicas de cazadores-recolectores. Se recuperó un artefacto formatizado. Lascas de retoque. Vegetales

Tabla 1 – Cronología de los componentes diferenciados por Durán [11] en el sitio Cueva de Luna.

### Contexto ambiental y Disposición espacial del sitio Cueva de Luna (CL)

En términos generales la región se localiza en el curso medio del valle del río Grande, en el centro oeste del departamento de Malargüe. Según diferentes autores el sector donde se emplaza el sitio arqueológico puede ser considerado una extensión de la Patagonia Argentina [13, 14, 15, 16, entre otros]. Debido a que el macizo cordillerano es de menor altura que en el resto de la provincia, el clima está regido por el Anticiclón del Pacífico [17]. El clima es templado a fresco, con una temperatura promedio anual de 12°C. Las precipitaciones muestran un promedio de ca. 300 mm anuales, con una distribución estacional equilibrada. Si bien es predominante la acción del anticiclón del Pacífico, con sus nevadas y lluvias invernales, también llegan al sector lluvias estivales producidas por los avances de las masas de aire húmedo provenientes del Atlántico [11].

Fitogeográficamente, la vegetación corresponde a la provincia patagónica [15]. En una escala más acotada, siguiendo las descripciones de Roig y colegas [18], la flora se encuentra signada por la presencia de estepas arbustivas de *Larrea* con *Grindelia chilensis* y *Retamilla* patagónica. En aéreas de inundación, cercanas a los sitios se encuentran totorales (*Typha subulata*), carrizales (*Phragmites australis*) y cortaderas (*Cortaderia rudiusscula*). Las características climáticas y geomorfológicas determinan la presencia de un ecotono en la flora según la altura y las diferentes condiciones de temperatura y humedad. En consecuencia, la vegetación muestra una alta adaptación a la defensa contra la sequía, el viento y la herbivoría, siendo abundantes las especies en cojín, hemisféricas y compactas. La descripción del microambiente se resume en la tabla 2 [19].

<b>Dominio</b>	<b>Dimensiones</b>
<b>Rasgos del terreno</b>	El sitio arqueológico se emplaza en una formación basáltica que, al erosionarse, ha originado una serie de barrancas con oquedades y cuevas mayores [11].
<b>Suelos</b>	Los suelos, en general, son pedregoso-arenosos, pobres en materiales finos y en materia orgánica.
<b>Tipos de Vegetación</b>	La vegetación del área de estudio corresponde a estepas sammófilas, halófilas y vegetación de vegas.
<b>Clima</b>	Dominio climático árido [20]. Las masas de aire provenientes del Anticiclón del Pacífico, descargan copiosas nevadas durante el invierno en cordillera y lluvias más débiles en verano en las mesetas orientales
<b>Uso del suelo</b>	La flora y fauna actual son un reflejo empobrecido, dada la explotación ganadera por más de 200 años y de la actividad petrolera por más de 50 años. Esta situación ha provocado una disminución de la población animal autóctona y también una retracción o desaparición de algunas especies.

Tabla 2 - Resumen de los distintos dominios del microambiente adyacentes al sitio arqueológico.

El sitio arqueológico Cueva de Luna (CL) es una cueva que se encuentra ubicada en el margen derecha del río Grande ( $36^{\circ} 05' 56''S - 69^{\circ} 43' 19''O$ ) a 1300 msnm (Figura 1). Unos 1500 metros al norte de la confluencia del arroyo El Manzano.

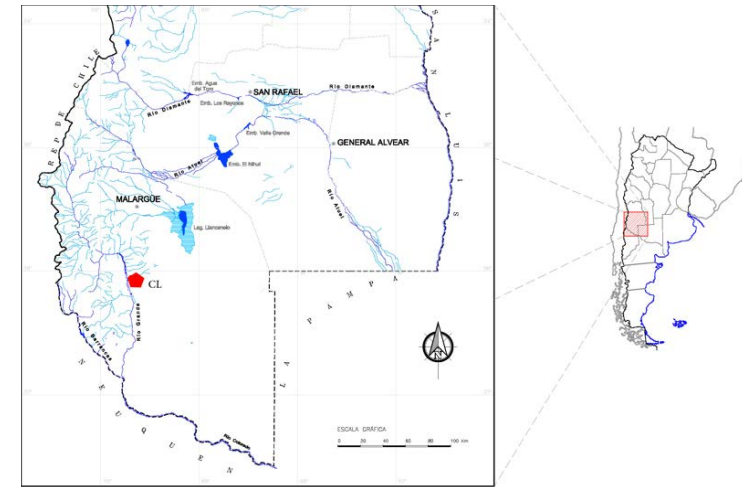


Figura 1 – Localización del sitio arqueológico CL.

Las dimensiones de la cueva son 9 m de frente por 8,5 m de profundidad, con una orientación SO - NE. La cuadrícula excavada atraviesa la cueva de norte a sur en la parte media cubriendo un área de 3,5 m<sup>2</sup>. La excavación alcanzó los 60 cm de profundidad desde la superficie (Figura 2).

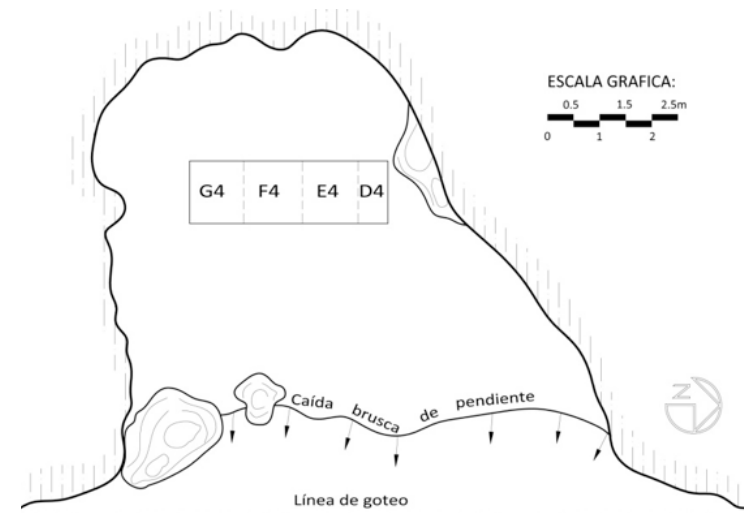


Figura 2 – Planta del sitio Cueva de Luna (Redibujado de Durán [11])

En la columna estratigráfica se distinguen 3 capas naturales (Figura 3), las cuales se describen a continuación. La Capa I, es la primera desde la superficie y tiene espesores variables que van desde 2 cm en la cuadrícula D4, hasta 20 cm en G4.

La Capa II, en términos de Durán, es la más importante porque contiene la mayor parte de los restos arqueológicos [11]. Esta unidad estratigráfica es muy homogénea y está compuesta por limo-arena de color pardo grisáceo. Se diferenció una concentración de gramíneas y ramas entremezcladas que podría haber sido una "camada o lecho" [11]. La Capa III se trata de un sedimento limoso, de color pardo rojizo, que comienza a aparecer a partir de los 50 a 55 cm. Los escasos restos hallados se ubican en las grietas y parecen haber sido arrastrados por la acción de agentes perturbadores [11].

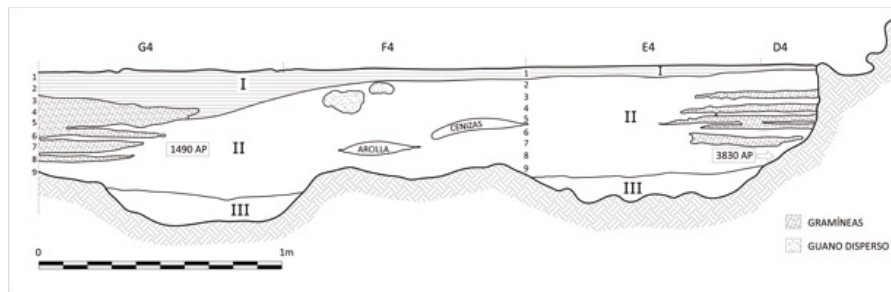


Figura 3 – Estratigrafía del sitio Cueva de Luna. Redibujado de Durán [11:60].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis arqueobotánico se procesó el material proveniente de la extracción en zaranda llevada a cabo durante la excavación del año 1996. La preservación del material recuperado se encontraba en estado seco y entero. La identificación se realizó íntegramente bajo microscopio estereoscópico (Nikon SMZ800). En el acápite de resultados se presenta la descripción de la familia, género y especie en los casos en que se llegó a dicha determinación y solo se incluyen como resultados cuantitativos los datos de frecuencia, ya que la densidad y ubicuidad no pueden ser medidas por desconocer el volumen de sedimento excavado. Por último, el material analizado se encuentra depositado en el Departamento de Antropología (MHNSR). Para todos los casos, los macrorrestos fueron guardados en envases de tipo ependorff indicando: sitio, capa, cuadrícula y número de los diferentes niveles de ocupación.

## RESULTADOS

### Especies Identificadas – Análisis de Zaranda - Muestra arqueológica

Los resultados de la extracción de zaranda se presentan por cuadrícula. En la cuadrícula D4 (Tabla 3) se determinaron distintos taxa correspondientes a las siguientes familias: Anacardiaceae, Zygophyllaceae, Fabaceae, Poaceae, Ephedraceae, Cactaceae.

Capas	Componente	Cuadrícula D4		
		Nivel	Taxa	Frecuencia
I	1	1 y 2	<i>Schinus polygamus</i>	6
			<i>Larrea nitida</i>	14
			<i>Prosopis sp.</i>	12
			<i>Triticum aestivum/durum</i>	1
II	2	3	<i>Schinus polygamus</i>	2
			<i>Prosopis sp.</i>	3
			<i>Triticum aestivum/durum</i>	1
	3	4	<i>Schinus polygamus</i>	2
			<i>Prosopis sp.</i>	19
			<i>Triticum aestivum/durum</i>	14
			<i>Larrea nitida</i>	2
			<i>Ephedra sp.</i>	10
	4	5 y 6	Poaceae	-
			<i>Schinus polygamus</i>	1
			<i>Maihuenia poepiggi</i>	2
	5	7-8 y 9	<i>Prosopis sp.</i>	7
<i>Schinus polygamus</i>			1	

Tabla 3 – Macrorrestos recuperados del sitio Cueva de Luna – Cuadrícula D4.

En la cuadrícula E4 (Tabla 4) se determinaron distintos taxa correspondientes a las siguientes familias: Anacardiaceae, Zygophyllaceae, Fabaceae, Poaceae, Ephedraceae, Juglandaceae.

Capas	Componente	Cuadrícula E4		
		Nivel	Taxa	Frecuencia
I	1	1 y 2	<i>Prosopis sp.</i>	7
			<i>Triticum aestivum/durum</i>	1
II	2	3 y 4	<i>Triticum aestivum/durum</i>	63
			<i>Schinus polygamus</i>	7
			<i>Prosopis sp.</i>	24
			<i>Larrea nitida</i>	1
			<i>Phaseolus vulgaris</i>	1
			<i>Ephedra sp.</i>	1
			<i>Juglans aff. regia</i>	1
			Indet	3
	3	5	Poaceae	-
			<i>Prosopis sp.</i>	7
			<i>Triticum aestivum/durum</i>	56
	4	6-7 y 8	<i>Prosopis sp.</i>	9

Tabla 4- Macrorrestos recuperados del sitio Cueva de Luna – Cuadrícula E4.

En la cuadrícula F4 (Tabla 5) se determinaron distintos taxa correspondientes a las siguientes familias: Anacardiaceae, Zygophyllaceae, Fabaceae.

Capas	Componente	Cuadrícula F4		
		Nivel	Taxa	Frecuencia
I	1	1 y sector SO 2	<i>Larrea nitida</i>	3
			<i>Prosopis sp.</i>	2
			<i>Schinus polygamus</i>	4
II	2	2-3 y 4	<i>Larrea nitida</i>	3
			<i>Prosopis sp.</i>	6
			<i>Schinus polygamus</i>	1
	3	5	s/c	-
	4	6-7 y 8	s/c	-
5	9	s/c	-	

Tabla 5 - Macrorrestos recuperados del sitio Cueva de Luna – Cuadrícula F4.

En la cuadrícula G4 (Tabla 6) se determinaron distintos taxa correspondientes a las siguientes familias: Anacardiaceae, Zygophyllaceae, Fabaceae, Ephedraceae, Poaceae.

Capas	Componente	Cuadrícula G4		
		Nivel	Taxa	Frecuencia
I	1	1 y 2-3 y 4 (SO y NO) 5 (SO)	<i>Prosopis sp.</i>	2
			<i>Schinus polygamus</i>	12
			<i>Larrea nitida</i>	19
			<i>Ephedra sp.</i>	2
			Indet	1
			II	2
			Indet	1
	3	5	Poaceae	-
	4	6-7 y 8	<i>Prosopis sp.</i>	1
			<i>Larrea nitida</i>	1
			<i>Schinus polygamus</i>	2
			<i>Ephedra sp.</i>	1
	5	9	s/c	-

Tabla 6 - Macrorrestos recuperados del sitio Cueva de Luna – Cuadrícula G4.

En la figura 4 se presentan los datos de las especies recuperadas por componente, en la que se observa que en el componente más temprano (3800 años a.p.) sólo dos son las especies presentes, siendo éstas *Schinus polygamus* y *Prosopis sp.* El componente datado en 1400 años a.p. presenta un evidente predominio de *Prosopis* que luego, en los componentes más tardíos, disminuye notablemente, incorporándose un conjunto de plantas tanto silvestres como domesticadas americanas e introducidas (Figura 4).



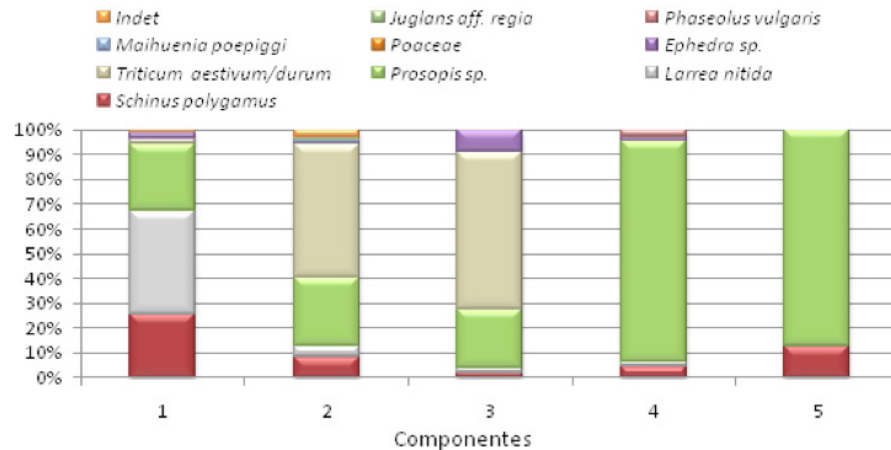


Figura 4 – Frecuencia relativa de los macrorrestos recuperados de CL.

Las características que definieron las identificaciones se describen a continuación agrupando las 4 cuadrículas analizadas. Se ordenaron por familia, género y especie en los casos que se llegó a ese nivel.

### I. Familia Anacardiaceae

*Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera

Procedencia: Cuadrícula D4 niveles 1 a 9. Cuadrícula E4 niveles 3 y 4. Cuadrícula F4 niveles 1 a 4. Cuadrícula G4 niveles 1 a 8 (Ver tablas 3-6).

Descripción: 43 endocarpos enteros. Las medidas varían entre 5-6,5 mm de longitud x 6-8 mm de latitud. La forma principalmente es oval. En todos los ejemplares se observaron saliencias meridionales. La totalidad de la muestra se encuentra en estado de preservación seco.

### II. Familia Zygophyllaceae

*Larrea nitida* Cav.

Procedencia: Cuadrícula D4 niveles 1, 2 y 4. Cuadrícula E4 niveles 3 y 4. Cuadrícula F4 niveles 1 y 2. Cuadrícula G4 niveles 1 a 8 (Ver tablas 3-6).

Descripción: 42 mericarpos. La parte vegetal recuperada se corresponde con los frutos de la especie *Larrea nitida*, los cuales cuando el fruto está completo es esférico con pubescencia corta, de color blanco-grisácea y separable en 5 mericarpos. De la totalidad de mericarpos solo se encontraron 2 frutos completos, los 32 restantes se encontraban desprendidos.

### III. Familia Fabaceae

*Prosopis* sp.

Procedencia: Cuadrícula D4 niveles 1 a 9. Cuadrícula E4 niveles 1 a 8. Cuadrícula F4 niveles 1 a 4. Cuadrícula G4 niveles 1 a 8 (Ver tablas 3-6).

Descripción: 140 endocarpos enteros y 2 semillas completas. Las medidas de los endocarpos varían entre 8 y 11 mm de longitud x 7,5 y 8 mm de latitud. El estado de preservación es seco y la forma es romboidal. En algunos casos la forma es redondeada. Las medidas de las semillas varían entre 3,5-5 mm de longitud x 3-4 mm de latitud. La forma de ambas es oval, con el extremo chalazal redondeado y el extremo hilar subagudo. La línea fisural tiene forma de herradura.

*Prosopis strombulifera* (Lam.) Benth

Procedencia: Cuadrícula D4 nivel 4 (Ver tabla 3).

Descripción: 1 vaina. La medida es de 5,5 cm de longitud x 0,9 cm de latitud. Las características de la parte vegetal encontrada son de color amarillo, formando un espiral apretado de 9 espiras.

*Phaseolus vulgaris* L.

Procedencia: Cuadrícula E4 nivel 3 y 4 (Ver tabla 4).

Descripción: los cotiledones recuperados presentaron forma arriñonada. Las medidas son 6 mm de longitud y 11 mm de ancho. Teniendo en cuenta los caracteres morfológicos externos los dos macrorrestos se identificaron como *Phaseolus vulgaris*.

### IV. Familia Poaceae

*Triticum aestivum/durum*

Procedencia: Cuadrícula D4 niveles 1 a 4. Cuadrícula E4 niveles 1 a 5 (Ver tablas 3 y 4).

Descripción: 136 granos enteros. La parte vegetal recuperada en la zaranda se corresponde con cariopsis elipsoide, de color blanquecino, cuyas medidas son de 5,5 a 8,5 mm de largo. La diferenciación morfológica entre las dos especies no es suficientemente significativa para una diferenciación botánica objetiva, pero esta identificación remite directamente a la presencia de trigos desnudos.

### V. Familia Juglandaceae

*Juglans aff. regia* Linn.

Procedencia: Cuadrícula E4 nivel 4 (Ver tabla 4).

Descripción: el único macrorresto recuperado corresponde a la mitad de un endocarpo de nuez. La identificación se realizó sobre la base del tamaño, la forma, la

consistencia leñosa del delgado endocarpo y principalmente por los surcos presentados en la cara interna y externa del macrorresto. La medida del largo fue de 3,5 centímetros.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El registro del sitio arqueológico Cueva de Luna presenta ocupaciones desde ca. 3800 años a.p. Sobre la base de la documentación del área se ha considerado que estas sociedades ocuparon estos ambientes en forma alternativa, dentro de un circuito de explotación plurianual de un área muy extensa, que pudo abarcar también los ambientes transcorderanos e incluso la costa pacífica [21]. Luego de estas ocupaciones y por un lapso de más de 3000 años, se produce un vacío de información arqueológica, que ha intentado explicarse de distintas formas, prevaleciendo aquellas propuestas que postulan cambios ambientales como causales de ese fenómeno [22]. A partir de los 1500 años a.p. se cuenta nuevamente con información arqueológica, la cual muestra sistemas de subsistencia y patrones de ocupación del espacio posiblemente semejantes a las de los sistemas que los precedieron.

El registro arqueobotánico evidencia taxones silvestres autóctonos, entre los que abundan el algarrobo (*Prosopis* sp.), el molle (*Schinus polygamus*), el solupe (*Ephedra*) y la jarilla (*Larrea nitida*). Los restos arqueológicos recuperados son principalmente semillas y endocarpos de consistencia leñosa y en estado de preservación seco. Se registró también la presencia de especies domesticadas de origen americano tales como el poroto (*Phaseolus vulgaris*). Cabe resaltar que es evidente la diferencia reflejada por una menor abundancia de esta especie domesticada respecto a las especies autóctonas. Además, se reconocieron taxas de origen euroasiático siendo éstas el trigo y la nuez. Estos restos arqueológicos se restringen a las cuadrículas D4 y E4, en los niveles superiores del depósito, en concordancia con la cronoestratigrafía del sitio. Con respecto al componente 3 cabe mencionar que según la secuencia propuesta por Durán [11] la evidencia de este componente no tiene asignación cronológica. No obstante, Neme y colegas [12] proponen que el componente 3 sea adscripto a ocupaciones de cazadores-recolectores previas al contacto, debido a que desde el registro zooarqueológico no encontraron ninguna evidencia atribuible a un momento poshispánico [12].

En referencia a la situación anteriormente planteada, se cuenta con documentación histórica de que el trigo no fue introducido de manera directa por los españoles [2]. La difusión del mismo provendría del intercambio entre los españoles establecidos en Chile durante el gobierno de Valdivia [23]. Esta situación no es inusual para el área si se considera la existencia de rutas de comercio de bienes, documentadas también en las crónicas de Bibar [24] las cuales mencionan intercambios pacíficos con las etnias trasandinas. Estos eventos demuestran la difusión de cultivos del viejo mundo precedentes a la presencia efectiva de los españoles en algunas regiones de Mendoza. Una situación análoga se ve reflejada también en los valles calchaquíes [2]. De este modo, el componente 3, el cual registra una abundante cantidad de macrorrestos de este taxón (n=67) podría tratarse de ocupaciones de cazadores-recolectores previas al contacto, pero con claras pruebas de intercambio de bienes. Tomando el componente 2, los resultados arqueobotánicos son congruentes con lo postulado por otros autores [11, 12], tratándose de grupos Pehuenches en la región.

Los Pehuenches fueron clave en la introducción y manejo de especies del Viejo Mundo en la región, donde las poblaciones actuales rurales (representada por los puesteros) posean probablemente vínculos de filiación y ancestría con los mismos. El aporte del presente trabajo lleva a considerar que, a pesar de estar ante la presencia de especies domesticadas del Cercano y Medio Oriente y que fueron introducidas por los conquistadores españoles al continente americano, a nivel regional fueron los grupos locales los encargados de su introducción e incorporación a prácticas locales. Por lo tanto, su presencia podría ser considerada como un enriquecimiento en la cantidad de taxa vegetales conocidos y probablemente consumidos. En consecuencia, la presencia del trigo y la nuez no desplazarían a los recursos locales, sino que parece incorporarse a las especies consumidas como un componente más, señalando -más que una ruptura o quiebre abrupto- una combinación entre lo foráneo con lo local.

Otra línea de análisis potencial a ser desarrollada sería evaluar las posibles transformaciones causadas por la incorporación de las prácticas agroganaderas hispano-mediterráneas, las cuales conllevan inevitablemente tanto a una modificación de la estructura de los ecosistemas como así también a un proceso de cambio cultural, el cual no implica necesariamente pérdida de saberes locales.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Victor Durán, Veronica Lema y Juliana Sterli por las sugerencias y comentarios que contribuyeron con el presente trabajo. Al Museo de Historia Natural de San Rafael (Departamento de Antropología) por la posibilidad que me dieron de realizar mis estudios. El trabajo se llevó a cabo con el apoyo económico de ANPCyT y CONICET.

## REFERENCIAS

- [1] Llano, C. 2011. Aprovechamiento de los recursos vegetales entre las sociedades cazadores-recolectores del sur de Mendoza. Tesis doctoral inédita. Universidad Nacional de Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche.
- [2] Capparelli, A., Lema, V., Giovannetti, M. y Raffino, R. 2005. The introduction of Old World crops (wheat, barley and peach) in Andean Argentina during the 16th century A.D.: archaeobotanical and ethnohistorical evidence. *Vegetation History and Archaeobotany*
- [3] Durán, V. 1999. Los Pehuenches Malargüinos. Una aproximación histórica y su contrastación arqueológica. *Revista de Estudios regionales* N° 19:119-161. Mendoza.
- [4] Gambier, M. 1980. Excavaciones en la Gruta de El Manzano, Río Grande-Mendoza. *Boletín del Museo de Ciencias Naturales y Antropológicas Juan Cornelio Moyano* 1: 45-55. Mendoza.
- [5] Gambier, M. 1985. La Cultura de Los Morrillos. San Juan, Instituto de Investigaciones Arqueológicas y Museo.
- [6] Gambier, M. 1987. Excavaciones arqueológicas en la Gruta de El manzano, Malargüe, Mendoza. *Comunicaciones de las Primeras Jornadas de Arqueología de la Patagonia*. 123-124. Trelew, Chubut.
- [7] Schobinger, J. 1978. Nuevos lugares con arte rupestre en el extremo sur de la Provincia de Mendoza. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XII*: 175-182.
- [8] Schobinger, J. y C. Gradín 1985. Cazadores de la Patagonia y Agricultores Andinos. *Arte Rupestre de la Argentina*. Encuentro Ediciones. Madrid.
- [9] Durán, V. 1991-1992. Las poblaciones indígenas del sur mendocino durante los siglos XVI y XVII. *Anales de Arqueología y Etnología* 46/47. Mendoza.
- [10] Durán, V. 1993-1994. La Araucanización de las Poblaciones Indígenas del sur mendocino (XVIII y XIX). *Anales de Arqueología y Etnología* 48/49
- [11] Durán, V. 2004. Poblaciones Indígenas de Malargüe. Su arqueología e historia. Centro Interdisciplinario de Estudios Regionales, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. Segunda reimpresión.
- [12] Neme G., Durán V. y Gil A: 1995. El registro arqueofaunístico del sitio Cueva de Luna, Malargüe-Mendoza. *Hombre y Desierto* N°9 (II): 363-370. Universidad de Antofagasta. Chile.
- [13] Polanski, J. 1954 Rasgos geomorfológicos del territorio de la provincia de Mendoza. Ministerio Economía, Instituto de investigaciones económicas y tecnológicas. *Cuadernos de investigaciones y estudios* 4:4-10, Mendoza.
- [14] Roig, F. 1972. Geología, Geomorfología, Climatología, Fitogeografía y Zoo-geografía de la Provincia de Mendoza. Instituto de Investigaciones de las zonas áridas y semiáridas. Reedición especial del suplemento del vol XIII del Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica de Mendoza. Pp 49:80.
- [15] Cabrera, A. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*, II (1) Ed Acme. Buenos Aires.
- [16] González Díaz, E. y Fauqué L. 1993. Geomorfología. En: V. Ramos (Ed.) *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*. Relatorio del XII Congreso Geológico Argentino I: 161-172. Mendoza.
- [17] Capitanelli, R. 1972. Geomorfología y Clima de la provincia de Mendoza. *Geología, Geomorfología, Climatología, Fitogeografía y Zoología de la Provincia de Mendoza*, reedición especial del suplemento del vol. XIII del boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Ministerio de Mendoza: 15-48.
- [18] Roig, F. A., E. Martínez Carretero y E. Méndez. 2000. Mapa de vegetación de la Provincia de Mendoza. En: Abraham, E. M. y F. Rodríguez Martínez (eds.) *Argentina Recursos y problemas ambientales de la zona árida*. Primera parte, Tomo II, Atlas básico. Programa de Cooperación para la Investigación, Junta de Gobierno de Andalucía -Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina.
- [19] Martin, G. 1995. *Ethnobotany*. Londres: Chapman and Hall.
- [20] Capitanelli, R. 2005. *Climatología de Mendoza*. Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras. Mendoza. Argentina.
- [21] Durán, V. 2002. Nuevas consideraciones sobre la problemática arqueológica del Valle del Río Grande (Malargüe, Mendoza). *Entre Montañas y Desiertos: Arqueología del Sur de Mendoza*. Editado por Gil, Adolfo y Neme, Gustavo. Sociedad Argentina de Antropología. Pp 85-118. Buenos Aires

- [22] Gil, A., Neme, G., y Zárate, M. 2005. Mid-Holocene Paleoenvironments and the archaeological record of southern Mendoza, Argentina Quaternary International 132: 81-94.
- [23] Báez JR 1948. La primera colonia agrohispana en cuyo (siglo XVI). Revista Argentina de Agronomía 15:19-32
- [24] Bibar, G. 1966 (1558). Crónica y Relación copiosa y verdadera de los Reinos de Chile MDLVIII. Fondo Histórico y Bibliográfico "José T. Medina".

# Recuperación de un espacio periurbano ribereño: reserva natural Lagunas de Las Perlas. Neuquén

M<sup>a</sup> de la Paloma Martínez Fernández

1- Facultad de Turismo. Universidad Nacional del Comahue.

mfpaloma@gmail.com

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue definir pautas de ordenamiento ambiental para un espacio ribereño degradado y elaborar un plan de gestión para su restauración y desarrollo.

El área se localiza sobre el río Limay, al SW de la ciudad de Neuquén, Patagonia Argentina. Gran parte de su superficie ha sido utilizada para la extracción de áridos, lo que generó un paisaje de amplias lagunas que junto con otros conflictos asociados a la minería y al descontrol del área provocan una progresiva disminución de la calidad ambiental e inestabilidad ecológica.

La propuesta de gestión para la restauración del área propone acciones para mitigar y /o revertir los procesos de degradación, a partir de la valorización del potencial del área para la conservación y la recreación. La formación de un ambiente de humedales antes inexistente, atrajo a una importante cantidad y variedad de aves, algunas de ellas migratorias, que no gozan de ningún sistema de protección. Por otra parte, se considera que la recreación en contacto con el medio natural es compatible y aún favorece la conservación, ya que no sólo satisface una necesidad psicofísica, fundamental en el ámbito urbano, sino que también favorece la interpretación de los procesos naturales. La metodología aplicada permitió definir el enfoque del tratamiento adecuado para el sitio, estableciendo la vocación del suelo y el grado de compatibilidad entre actividades. Esto generó la propuesta de creación de la "Reserva Natural Recreativa Lagunas de las Perlas" dedicada a la conservación del ambiente ribereño con especial dedicación a la educación ambiental y recreación de bajo impacto. Dicha reserva se organiza bajo una zonificación que distribuye las actividades y usos del suelo de acuerdo a la vocación, aptitudes y fragilidad del mismo.

La propuesta introduce una figura hasta ahora inexistente en esta localidad, que es la de reserva natural urbana, la cuál permitiría dar respuesta a la actual carencia de espacios verdes y revalorizar el paisaje ribereño con su riqueza ambiental, potencial paisajístico y valor singular como oasis en la Patagonia extra andina.

## INTRODUCCIÓN

En la localidad de Neuquén se manifiestan conflictos ambientales propios de una ciudad joven, con escasa experiencia en gestión ambiental y producto de un proceso de apropiación del espacio espontáneo y sin planificación. No obstante, existe un ámbito de gran belleza que necesita redefinir su incorporación al paisaje urbano: los espacios ribereños. Estos sitios cumplen una función primordial en el norte de la Patagonia extraandina, donde la aridez remarca el valor de estos verdaderos oasis de cultivo, asentamiento humano y provisión de agua.

Sin embargo, a pesar de que el proceso fluvial interactúa activamente con el hábitat del hombre, el espacio ribereño no está integrado funcionalmente al medio urbano. En muchos sectores de la ciudad el espacio costero se observa abandonado y degradado por la realización de actividades sin control.

El área trabajada en este proyecto se ubica en el barrio Valentina Sur, al suroeste de la ciudad, sobre la ribera del río Limay, y se trata de un espacio costero natural tradicionalmente usado en forma espontánea para la recreación, aunque no cuenta con ningún tipo de equipamiento. Parte del área fue utilizada para la extracción de gravas y arenas, y también es vía de paso hacia el barrio "Las Perlas", localizado en la margen derecha del río y perteneciente al ejido de Cipolletti ( Río Negro).



La degradación en el área de las Lagunas de la Perlas se evidencia por el aprovechamiento abusivo de los recursos naturales por parte de la minería de superficie, y por superposición y desorden de actividades, todo lo cual genera una progresiva disminución de la calidad ambiental y una inestabilidad ecológica que pone en riesgo al ambiente ribereño como zona de vida.

Motiva el interés por recuperar este espacio el hecho de que presenta un interesante potencial natural recreativo, con la posibilidad de preservar un ecosistema de humedales antes inexistente y cercano a zonas urbanizadas.

## METODOLOGÍA

Se trata de una investigación aplicada, en la que se utilizaron procedimientos predominantemente cualitativos. La metodología <sup>1</sup> aplicada para desarrollar el diagnóstico y arribar a los objetivos propuestos aborda las siguientes variables de análisis:

- Aspectos socioeconómicos y poblacionales de la ciudad de Neuquén.
- Características ambientales generales y específicas del área de estudio.
- Actividades actuales en el área y sus efectos.

### Pasos metodológicos

- Diagnóstico del problema.
- Estudio de posibilidades de actuación.
- Análisis del medio en el espacio alterado.
- Definición de actividades potenciales.
- Evaluación de la capacidad de carga.
- Fase de diseño: modelo del espacio restaurado.
- Propuesta de actuaciones para alcanzar la imagen objetivo.
- Acciones de conservación y mantenimiento.

## NEUQUÉN Y SUS ESPACIOS PERIURBANOS

Neuquén está ubicada en la confluencia de dos grandes ríos: el Limay y el Neuquén, cuya unión forma el Negro, que drena hacia el océano Atlántico. La presencia de estos ríos dentro de un ambiente mesetiforme cuyo clima es de marcada aridez y vien-

tos persistentes, configura un verdadero oasis que fue polo de desarrollo regional desde 1910, a partir de obras que permitieron desarrollar la actividad frutihortícola bajo riego en el llamado Alto Valle de los ríos Negro y Neuquén.

Desde principios de la década del 70, el importante caudal de estos ríos fue también aprovechado para la generación de energía hidroeléctrica, y posteriormente cobró fuerza en la zona el desarrollo de la actividad petrolífera, lo que generó un impacto directo en la dinámica demográfica de la región.

Neuquén capital concentra funciones políticas, administrativas, económicas y culturales. Actualmente posee 233.00 habitantes (censo 2010). La población total de la provincia es de 550.344 habitantes y sólo el departamento Confluencia, donde se encuentra Neuquén, concentra el 65,9 % (362.673 habitantes).

Sin embargo, el acelerado crecimiento poblacional no fue acompañado por pautas territoriales adecuadas. Junto a un marco legal poco claro y a veces inexistente, se propició una expansión urbana que no respetó condicionantes naturales y, por otra parte, dejó vía libre a la realización de actividades incompatibles con el medio, generándose una larga serie de problemáticas ambientales ligadas a la ocupación de terrenos no aptos para urbanizar.

La ciudad se extiende en sentido este – oeste, en un desarrollo naturalmente limitado por los ríos y la meseta. Pero espacialmente presenta un hábitat discontinuo, de configuración irregular y sin una debida definición del uso del suelo. Esto último se manifiesta de manera notable en los espacios periurbanos, los que revisten importancia para la recreación por ofrecer superficies amplias y con mayor grado de naturalidad. Las funciones de estos espacios son diversas, como pulmones, protectores de suelos y ambientes naturales, paisajísticas, recreativas y educativas (RENATUR, 1994).

Neuquén los posee en dos ambientes bien diferenciados: la meseta y la ribera de los ríos. En ambos casos existe una permanente presión urbana que ocasiona la creciente pérdida de calidad ambiental. A menudo estos sitios, aun aquellos ya puestos en valor, se encuentran abandonados, carecen de infraestructura y presentan problemas como focos de basura, incendios ocasionales, aguas contaminadas y desagües clandestinos. Esta situación se también se observa en el área de las lagunas de Las

<sup>1</sup> Basada en GOMEZ OREA, 1999. *Gestión de la restauración de espacios degradados*, CEPADE, Madrid

Perlas, actualmente no incluida dentro de los espacios oficialmente considerados para el uso recreativo, a pesar de poseer mayor aptitud que otros ya valorizados. La discontinuidad espacial en las riberas, por apropiaciones privadas hasta el río, y la ausencia de un uso armónico genera un ambiente de calidad deficiente, donde queda de manifiesto que Neuquén le da la espalda a los ríos que la abrazan.

### Condiciones naturales

En el área de la confluencia, el ambiente geomórfico más importante por sus recursos hídricos y edáficos es el piso del valle. En su historia geológica intervienen las terrazas fluviales y la planicie de inundación actual.

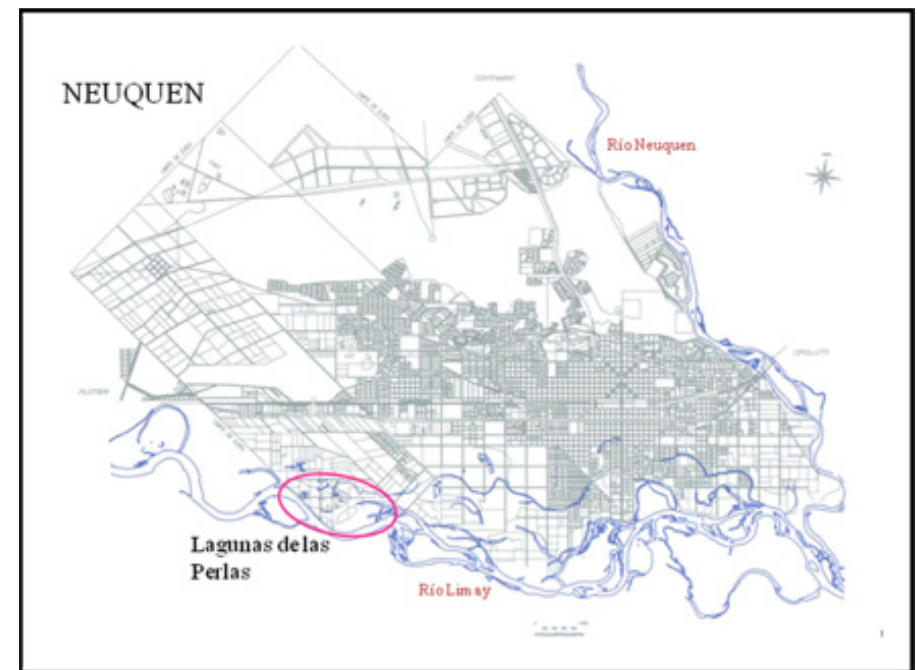
**Planicie de inundación:** es el área más próxima al río y donde se encuentran las lagunas de Las Perlas. Su altura oscila entre los 262 y 265 m s.n.m, y sufre inundaciones periódicas de diversa magnitud, por el manejo de las represas del Limay. Los suelos están compuestos por depósitos aluviales (arenas y grava), de variada granulometría y sin cementar. Su composición es predominantemente volcánica. Estos materiales provienen de la acción de transporte del mismo río y adquieren un gran desarrollo en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén, pudiendo alcanzar una potencia de 3 a 5m.

**Terrazas fluviales:** franja de terreno relativamente horizontal y de topografía más elevada. Poseen buen desarrollo de suelos. Fueron formadas en la época postglaciaria, debido a que el agua de fusión llegaba altamente cargada de derrubios, y los valles se llenaron de material aluvial. Al restablecerse las condiciones normales, los materiales fueron aterrizados por descensos progresivos del nivel de base regional. Están compuestas por rodados fluviales en mátriz arenosa. En ellas existen evidencias de antiguos cauces abandonados y meandros.

Actualmente la acción erosiva del río se manifiesta por predominio de erosión lateral sobre profundización. En el área de la confluencia, el curso del río es meandriforme. Los suelos están sujetos a frecuentes y recurrentes cambios en los cursos de los ríos. Albardones, llanuras aluviales, antiguos cauces y depresiones formadas dentro de la planicie de inundación, provocan variaciones en la granulometría y en los valores de retención de la humedad, permeabilidad y drenaje. Existen procesos de salinización causados por el riego excesivo de los suelos, lo cual eleva la napa freática y con ella las sales disueltas que ascienden por capilaridad y forman depósitos salinos.

El sector ribereño de Valentina sur es un espacio marginal destinado hasta el momento para la explotación de áridos, actividad iniciada hace más de 20 años en propiedad privada. Sin embargo, la presencia de terrenos provinciales sin uso al este de dichos predios, incentivó la expansión ilegal del área de extracción.

El área de las lagunas tiene una superficie de 54 ha y es accesible desde la ruta nacional 22 (eje E – O de circulación de la ciudad) y por el acceso al puente al barrio Las Perlas (figura 1).



Fuente: Dirección de Planeamiento urbano -Municipalidad de Neuquén

Figura 1 – Plano de la ciudad de Neuquén y ubicación del área de trabajo.

Por sus características y dominio, puede dividirse en tres sectores:

1. **Privado.** Se encuentra en el extremo oeste. Allí se ubican la base de operaciones de la empresa minera y canteras de extracción de áridos. Pertenecen a un particular que concede los terrenos a dos empresas. Las tierras se observan en un estado caótico, ya que las depresiones ocupadas por lagunas alternan con montículos de material diverso, escombros, basurales, zonas de depósito de maquinaria y áreas de pastizal donde incluso pastan caballos.
2. **Provincial oeste. Lagunas.** Este sector sufre un impacto menor. Se destaca el paisaje de amplias lagunas separadas por estrechas franjas de tierra y sectores de densa arboleda. Aquí se ha realizado extracción de áridos sin autorización. En fotografías aéreas de distintos años se puede observar la rápida evolución del paisaje, debido al aumento de la superficie de estos cuerpos de agua.
3. **Provincial este.** El sector oriental conserva en buena parte las características del ambiente natural ribereño y no sufrió actividad minera. Allí solo acceden pobladores de la zona y recreacionistas ocasionales que utilizan el área para esparcimiento.

Las características ecológicas de la mayoría de los enclaves donde se realizan extracciones de áridos son de gran valor, pues los depósitos se suelen encontrar asociados a los sistemas fluviales actuales. Las graveras degradan profundamente el sitio afectado y la restauración o rehabilitación del espacio afectado resulta difícil, cara y poco eficaz si no se prevé desde las fases previas a la explotación.

## PLANTEO DEL PROBLEMA

En el área de Las Perlas se realiza una explotación del tipo "bajo lámina de agua". Son graveras en las que el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie, o a una cierta profundidad cuando el paquete productivo es de gran potencia, y suelen explotarse total o parcialmente bajo una lámina de agua. Los equipos de extracción que se utilizan son dragalinas, cucharas de arrastre y retroexcavadoras. Prácticamente todos los terrenos afectados se abandonan como lagunas.

Por el acondicionamiento y construcción de accesos, el efecto directo más evidente es la eliminación o reducción de la cobertura vegetal, la modificación de características y procesos del suelo, y cambio de morfología de la zona.

El uso de maquinaria incrementa el nivel de ruidos, disminuye la calidad de la atmósfera (emisión de partículas, gases) y aumenta la compactación del suelo. Esto a su vez puede tener consecuencias sobre la fauna y flora, pérdida de hábitats, alteraciones en la red de drenaje superficial y modificación del paisaje.

Sobre el agua subterránea se dan modificaciones del nivel piezométrico y la circulación del agua, y alteración de la calidad del agua (la excavación destruye el filtro natural entre fuentes de contaminación y el pozo), e incluso contaminación de la laguna y agua subterránea por vertido de residuos.



Figura 2 – Lagunas generadas por actividad minera.

## Conflictos ambientales

Dos actividades generan o han generado procesos de degradación ambiental: la extracción de áridos y la recreación espontánea.

Los procesos de degradación detectados son: formación de lagunas, deterioro y pérdida de la vegetación, vertido de residuos y uso recreativo no controlado (figura 3).

## POSIBILIDADES DE ACTUACION Y ENFOQUE DEL TRATAMIENTO

Restaurar o recuperar un espacio degradado significa buscar el uso más adecuado a sus características y siempre en concordancia con las expectativas de la población de su área de influencia. Lagunas de las Perlas se encuentra en un lugar estratégico en cuanto a la circulación de personas, y no cuenta con espacios de esparcimiento. Conserva atributos del ambiente ribereño en buen estado, si bien ha sufrido modificaciones y procesos de degradación. Su calidad paisajística es elevada y la población ya lo ha visualizado como área propicia para la recreación.

En el planteo del problema, quedó claro que el estado actual del espacio es producto de dos actividades diferentes: la minera y la recreativa.

Sin embargo, existe una diferencia entre ellas, dado que mientras la extracción de áridos debe cesar, la recreación debe reorientarse y extenderse a todo el espacio.

El diseño del espacio futuro partiría de una modificación radical del uso del área de las lagunas, y se destaca el potencial de éstas para su incorporación a actividades relacionadas con el ocio y el esparcimiento ligados a la conservación de los recursos naturales. Este es un ejemplo interesante de cómo un impacto alto sobre el sistema ambiental de la ribera puede dar lugar al desarrollo de otro ecosistema igualmente rico. Las actividades recreativas desarrolladas hasta el momento no han ocasionado impactos irreversibles, y es deseable que continúen y se incrementen, aunque con pautas claras en cuanto a la integración al medio. En el caso de la caza y pesca, por la frágil situación socioeconómica de los pobladores del área, muchas veces se practica con fines de subsistencia.

PROCESOS DE DEGRADACION	MANIFESTACION	CAUSAS	EFFECTOS	GRAVEDAD	AGENTES	PERCEPCION
Formación de lagunas	Amplias lagunas de ampliación y profundización progresiva. Disminución superficie del terreno.	Dragado bajo nivel freático. Extracción de áridos sin límites o controles.	Alteración del paisaje. Pérdida de vegetación. Socavamiento de márgenes y accesos. Alteración napas freáticas.	Alta	Operadores de la cantera. Órgano municipal de control.	Órgano municipal. Pobladores. Valentina sur.
Deterioro y eliminación de vegetación	Rotura ramas. Raíces expuestas. Pérdida de vegetación arbórea, arbustiva y herbácea. Suelo desnudo.	Dragado y acopio de materiales. Tránsito de camiones y maquinaria pesada.	Pérdida de diversidad en el ecosistema ribereño. Colonización por sp más rústicas. Perturbación de hábitat faunístico. Aceleración de procesos de erosión del suelo. Disminución calidad del paisaje.	Alta	Trabajadores de las graveras y obreros del puente. Órgano municipal de control.	Recreacionistas. Aun no se percibe como problema a nivel institucional.
Vertido de residuos	Basura dispersa: latas, papeles, plásticos, vidrios. Residuos de construcción de puente: escombros, metales, piezas mecánicas. Turbidez en el agua. Evidencias de sustancias oleosas. Autos, neumáticos.	Vertido de sustancias contaminantes (aceites, hidrocarburos) y escombros en aguas y suelo. Falta de control sobre accionar de operarios. Falta de contenedores y cestos para residuos.	Contaminación suelo y aguas. Eutrofización. Posible contaminación de acuífero que abastece al barrio. Afectación de fauna acuática y terrestre.	Media	Operadores gravera. Operarios del puente. Pobladores cercanos.	Usuarios del área. Habitantes de Valentina sur. Órgano municipal.
Usos recreativo sin control	Proliferación de sendas. Basura. Restos de fogones. Caza y pesca ilegal.	Ocupación de espacios no acondicionados a tal fin. Caza y pesca sin permiso reglamentario. Falta de equipamiento mínimo necesario. Falta de educación amb.	Situaciones de riesgo para bañistas. Contaminación visual. Riesgo de incendios. Degradación de la vegetación. Pérdida de sp faunísticas.	Baja	Recreacionistas. Pobladores. Valentina sur.	Usuarios. Municipalidad.

Figura 3 - Procesos de degradación en Lagunas de Las Perlas (Fuente: Elaboración propia).

El área además presenta aptitudes ambientales y condiciones favorables para la creación de un área de protección del ecosistema ribereño: una reserva ornitológica abierta a la comunidad, donde se conjuguen la conservación y la educación ambiental con actividades recreativas de bajo impacto.

El perfil que se propone para las Lagunas de las Perlas no exige una elevada inversión y es probable que la concesión a privados de ciertos espacios (provisión de servicios, alquiler de elementos varios, mantenimiento) pueda ser otra fuente de ingresos para el mantenimiento del área. Las universidades y ONG existentes en la zona también deberían jugar un papel activo a la hora de proteger y adecuar estos espacios naturales, y serían un importante nexo entre los entes administrativos y la población. Sobre estas bases, el enfoque del tratamiento a adoptar será:

- La recuperación del ambiente ribereño para los fines señalados, en sectores donde existe desmonte, deterioro de vegetación y hábitat faunístico o riesgos de contaminación.
- Restitución en el sector de las lagunas, dado que éstas no existían y es imposible devolverle al paisaje su estado original; por ello se pretende recuperar la calidad ambiental del espacio y utilizar la presencia de estos cuerpos de agua

para integrarlos al paisaje ribereño desde una nueva dimensión y con todo el potencial que poseen, en un marco de sustentabilidad.

### Unidades ambientales

El análisis de las características del medio natural permitió dividir el espacio trabajado en cinco unidades ambientales. Dichas entidades constituirán las unidades de análisis para definir las zonas y actividades adecuadas a las mismas, así como las correspondientes acciones de restauración necesarias para el aprovechamiento futuro.

#### Unidad nº 1 – Canteras activas

Ubicada en el sector más occidental y en la entrada al área, presenta un llamativo desorden en cuanto a los usos del suelo y el estado ambiental. En ella confluyen los accesos a la balsa, al nuevo puente, posee las bases de las empresas mineras y canteras en funcionamiento. Por ello presenta una gran superficie de suelo desnudo, circulación caótica, sectores donde ha desaparecido la vegetación y algunas lagunas o ripieras. Pueden observarse animales pastando y basurales clandestinos. Posee algunas agrupaciones pequeñas de sauces y vegetación arbustiva en el fondo de ripieras de escasa profundidad.

#### Unidad nº 2 – Lagunas

Este sector está apartado del intenso tránsito del sector anterior, por lo que posee mejor calidad ambiental, fuera de las depresiones originadas por la extracción de áridos y las zonas de acopio. La unidad está ocupada casi en su totalidad por cuerpos de agua lagunares. La cobertura arbórea es importante, aunque el aumento de la superficie de las lagunas ha reducido la cobertura vegetal a un 25 % de la original. Es el área de mayor fragilidad ambiental y posee una creciente población de avifauna

#### Unidad nº 3 – Pradera central

Sector central separado del anterior por un drenaje. Es un área más elevada y de mayor estabilidad. Predomina la vegetación arbustiva y herbácea, probablemente por un antiguo incendio. Posee algunos ejemplares arbóreos aislados. Su fisonomía es muy homogénea.

#### Unidad nº 4 – Bosque ribereño

Este sector posee una densa cobertura arbórea y arbustiva, y se caracteriza por estar cruzado por varios bracitos o drenajes. Su extremo oriental se separa de una pequeña isla por un brazo de aguas tranquilas. Posee cierto grado de fragilidad ambiental e inestabilidad por las posibles inundaciones.

#### Unidad nº 5 – Pantano y bosque en galería

Esta franja posee características singulares, ya que corre a lo largo de un estrecho canal que separa el área de estudio de la zona agrícola del barrio Valentina sur. Este relicto de brazo del río posee una corriente muy tranquila, lo que le da características pantanosas, con gran crecimiento de vegetación acuática y presencia de aves diversas.

La propuesta de distribución de usos y actividades definidas para el área, en función de estas unidades es la siguiente:

Equipamiento y servicios	Actividades Científico - culturales	Actividades recreativas
Miradores Cartelería Centro de interpretación ambiental Estacionamiento Instalaciones deportivas Cafetería, sanitarios	Regeneración y protección de ecosistemas  Aulas de naturaleza Observación de paisaje Caza fotográfica Caminatas interpretativas	Pesca deportiva Ciclismo / senderismo Canotaje /botes Baños, tomar sol Pic nic

Figura 4 – Usos y actividades.

Las actividades se dividen en recreativas, de servicios y de conservación. Por las características del área, son de bajo impacto y buscan una integración con la naturaleza, por lo cuál el grado de incompatibilidad con las destinadas a interpretación ambiental y conservación es bajo. En algunos casos puntuales habrá que tener cuidado frente a una posible disfuncionalidad (cuando una actividad reduce la calidad de los factores que determinan la otra), que en general es posible de solucionar mediando un adecuado control y zonificación. Existen casos donde la estacionalidad de una de



las dos actividades hace que la incompatibilidad se reduzca a una época del año, y que luego la otra pueda extender incluso su espacio soporte (ej. Aulas de naturaleza frente a baños en el río).

### Capacidad de carga del medio

Una vez definidas las actividades para el área es importante establecer la capacidad de carga de las unidades ambientales para cada una de ellas, a fin de realizar una adecuada zonificación del espacio y distribución de usos y equipamiento. La valoración se realizó de modo empírico, a partir del estudio de las condiciones del medio natural y de los requerimientos de las actividades propuestas.

ACTIVIDADES	UNIDADES AMBIENTALES				
	1	2	3	4	5
Aulas de naturaleza	-	V	-	Csl	V
Regeneración y protec. Ecosistemas	Ccl	V	Csl	V	V
Centro Interpretación ambiental	Csl	Ccl	Csl	Csl	-
Mirador /carteleria	Csl	Csl	Csl	Csl	Csl
Pesca	V	Ccl	Ccl	Ccl	I
Observación paisaje	V	V	V	V	V
Estacionamiento	Csl	I	Ccl	I	I
Pic nic	I	I	Csl	Ccl	I
Ciclismo/senderismo	-	Ccl	Csl	Ccl	Ccl
Canotaje/botes	Ccl	Ccl	Ccl	Csl	Ccl
Baños	I	I	I	Csl	I
Instalaciones deport.	I	I	Csl	I	I
Cafetería, sanitarios	Csl	I	I	I	I

- V vocacional  
 Csl compatible sin limitaciones  
 Ccl compatible con limitaciones  
 I incompatible  
 - no aplicable

Figura 5 – Capacidad de carga de las unidades ambientales según actividades (Fuente: elaboración propia).

Entre las unidades ambientales, puede observarse que la 2 posee vocación para actividades de bajo impacto, con equipamiento mínimo, tendientes a la protección y el disfrute de la naturaleza. La 1 posee condiciones para admitir concentración de servicios, equipamiento y accesos viales. La 3 no presenta restricciones para actividades extensivas y diversas, con equipamiento y servicios mínimos. La 4 y 5 presentan una mayor fragilidad y son ideales para actividades de esparcimiento y observación en relación con el medio acuático.

### PROPUESTA

El área posee no sólo un buen potencial para los usos propuestos, sino que intrínsecamente posee condiciones naturales propicias para la creación de una reserva de avifauna con usos recreativos permitidos: diversidad de ambientes (cuerpos de agua de distinta profundidad, orillas con y sin vegetación, lagunas de forma irregular, distintos estratos de vegetación), protección contra vientos y está suficientemente separada de la influencia urbana.

Por otra parte, con este espacio se incorpora una oferta de atractivos y actividades que no existe en otros parques urbanos o periurbanos de Neuquén y alrededores.

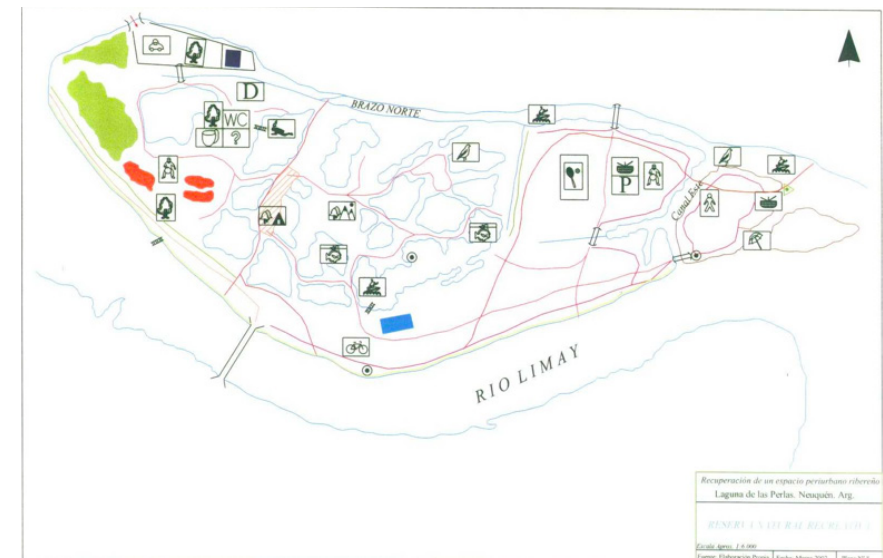


Figura 6 – Proyecto "Reserva Natural Recreativa Lagunas de las Perlas".

### Zonificación

En base al análisis de la información precedente y del plano de unidades ambientales cotejado con las tablas de capacidad de acogida y compatibilidad entre las actividades propuestas, se arriba a las siguientes categorías de ordenación para el área :

#### I. Zona de servicios y uso recreativo intensivo (17 ha)

Concentra los servicios de mayor complejidad e impacto sobre el terreno, ya que es el área más modificada y no posee valores de conservación.

Incluye espacios aptos para estacionamiento de vehículos, cafetería, sanitarios y otros edificios necesarios para ubicación de herramientas e implementos para el mantenimiento y trabajo en la reserva. Las lagunas remanentes y otras depresiones permiten crear espacios ajardinados ornamentales, zonas de cultivo con fines didácticos y la realización de actividades recreativas como pesca, buceo, remo, y patines. Recientes disposiciones de la comuna de Neuquén indican que para la extracción de áridos es necesario concesionar otras áreas menos frágiles. En el caso de los predios privados en el área, es una posibilidad ofrecer al dueño que participe en el desarrollo de este espacio de recreación y conservación de la naturaleza. Sin embargo, todo indica que la figura más propicia para el aprovechamiento de este espacio como bien público es la expropiación, máxime encontrándose dentro de la línea de ribera.

#### Propuestas y Organización espacial

La organización de este sector requiere un intenso trabajo de restauración previa. Siendo un área de mayor tránsito y que conserva poco de la naturaleza autóctona, se constituirá como área de amortiguación del núcleo de las lagunas. Está limitada por el camino de acceso al nuevo puente, que la recorre por el sur y sube por medio de una rampa hacia el puente. Este acceso deberá forestarse con especies que permitan crear una pantalla ante los ruidos y gases de escape de los automotores.

La mayor parte de la superficie requiere de un tratamiento del suelo y revegetación. El uso de especies autóctonas y adecuadas a las condiciones ambientales evitará el exceso de cortes de mantenimiento y logrará una fisonomía más natural. El sector donde se ubicaban las maquinarias de dragado y cobertizos de la empresa se destinará a estacionamiento.

El sector central, al este de la laguna grande, cuya cota es más elevada, es propicio para instalar la cafetería y área de juegos infantiles.

Sobre el acceso al puente existen pozos que no han alcanzado mucha profundidad. Se ha observado que se colmatan durante las crecidas del río y en períodos de bajante poseen una densa vegetación herbácea y arbustiva. Estas depresiones pueden ser rellenadas y los terrenos aprovecharse para llevar a cabo un programa de cultivos de frutales o jardinería con fines didácticos. Esto ofrece la posibilidad de extender el aporte educativo de la reserva, ya que estas prácticas podrían vincularse a las medidas de fomento rural en los barrios de la periferia de Neuquén. También podría ser el paso inicial a futuras acciones conjuntas con los agricultores de Valentina Sur, para que éstos se capaciten y complementen la oferta turístico – recreativa con actividades agroturísticas.

#### II. Zona de conservación y eco recreación ( 25 ha)

Comprende el área de las lagunas y humedal del brazo norte. Allí se propicia la regeneración, acondicionamiento y conservación de los ecosistemas acuáticos a fin de preservar el hábitat de la avifauna. Este lugar será aprovechado como aula de naturaleza, a través de actividades dirigidas de observación, interpretación ambiental y eco-recreación. En sectores definidos se propician actividades recreativas de bajo impacto, como caminatas, ciclismo y canotaje.

#### Propuestas y Organización espacial

Se puede acceder a esta zona por la senda que llega por el oeste entre las lagunas. El cierre o separación del sector está favorecido por la disposición de los drenajes y vegetación, y se deberá intensificar con una adecuada forestación que actúe como pantalla.

Desde la zona I se arriba al centro distribuidor, explanada donde se instalará el centro de interpretación. Poseerá ventanales y en su interior albergará paneles de interpretación donde se explique el origen de las lagunas, su importancia actual y las características de la biodiversidad del área. La cartelería deberá permitir a los visitantes recorrer el área por sus propios medios, para lo cual también se dispondrá de folletería con planos del área, su zonificación, recomendaciones para el cuidado del ambiente y la seguridad personal, y actividades permitidas. El centro también ofrecerá visitas guiadas para grupos de estudiantes y observación de aves.

El material interpretativo debería estar elaborado por profesionales de la Universidad, de la Dirección de Medio ambiente provincial y Calidad ambiental del Municipio.

El equipamiento del área es el mínimo necesario para brindar condiciones de seguridad (tanto para la fauna como para el visitante), información y señalización, y áreas de descanso.

Las lagunas ubicadas al sur serán las destinadas a actividades recreativas de bajo impacto: aprendizaje de pesca con mosca (Fly casting) y paseos en bote. En las lagunas del norte se conservará el hábitat faunístico exclusivamente, y sólo podrán ser aprovechadas como aulas de naturaleza. En los bordes de las lagunas habrá cartelera para la identificación de las aves.

En los senderos internos se colocarán carteles de señalización con indicación de actividades y normas para el recorrido.

La zona del canal norte podrá ser recorrida con botes, y en sus márgenes se podrá realizar senderismo y ciclismo.

El perímetro de la zona podrá ser recorrido a lo largo de una bicisenda. Esta deberá ubicarse sobre el albardón del río que es la zona más elevada de la ribera. También sobre la costa se ubicará un mirador.

### III. Zona de recreación extensiva (12 ha)

En esta zona se propicia la recreación concentrada y una mayor diversidad de actividades: pic nic, ciclismo, baños, canotaje, canchas de tenis y voley. Los servicios son de mediana complejidad, como proveeduría y sanitarios químicos.

#### Propuestas y Organización espacial

A la zona se accede en forma peatonal desde la anterior y por un paso que atraviesa el brazo norte. Al noreste del mismo se realizará un estacionamiento de media hectárea. En el límite oriental de la pradera se ubicará el sector de proveeduría y sanitarios químicos, junto a las canchas de tenis y voley, y juegos infantiles.

En los alrededores se ubicarán en forma dispersa mesas y bancos de madera. El extremo E que da frente a la isla será el área para baños en el río. Al norte de la playa se encontrará el sector de alquiler de botes. Estará prohibido el acceso con embarcaciones a motor o jet ski en cualquiera de los brazos internos. Este tipo de embarcación, así como las de remo o vela, no deben incursionar en el área reservada a bañistas en temporada estival, según lo establecido por el artículo 10 de la ordenanza n° 8937 / 2000.

Este sector requerirá el servicio de guardavidas (según reglamentación del municipio) y personal de vigilancia y control.

Esa zona también será circundada por la bicisenda, que también puede ser utilizada como circuito aeróbico.

#### Programa de acciones para la restauración

Para poder llevar a cabo este proyecto en el área se plantean dos instancias:

- a. Restauración de los espacios con procesos de degradación.
- b. Ordenación espacial y planificación para el aprovechamiento sustentable.

A continuación se detallan las medidas necesarias para corregir los efectos de procesos de degradación, compensar impactos irreversibles y acondicionar el espacio en función de su estado ambiental y de los objetivos propuestos en el diseño de la imagen final. Un grupo de medidas son de aplicación al conjunto del espacio tratado. El resto está detallado para cada categoría de ordenación.

#### Acciones generales

Con el cese de la actividad minera, el espacio estará en condiciones para ser tratado a fin de alcanzar el objetivo propuesto para su aprovechamiento. Debe recordarse que el objetivo del presente proyecto es tanto recuperar un ambiente degradado por una actividad de alto impacto como aprovechar las condiciones naturales y ventajas del área. Las primeras acciones de recuperación deben avocarse a la limpieza general del área, a fin de retirar todo excedente del uso minero y también de las áreas donde se concentran las aves: pastizales, juncales, orillas y aguas someras, todas zonas donde se han acumulado desperdicios arrojados por pobladores y recreacionistas ocasionales.

Es necesario realizar análisis del suelo en distintos puntos del área, para conocer el tipo de Ph y otras características definitorias importantes para poder elegir las especies más adecuadas para la revegetación.

También se requieren análisis de las aguas de las lagunas, para detectar posibles problemas de contaminación, sobre todo en los cuerpos de agua cercanos a la construcción del puente y donde se realice un mayor uso recreativo.

A partir de estos estudios de base, se llevarán a cabo las acciones para la recuperación ambiental y de acondicionamiento para el uso propuesto.

#### **Acciones específicas**

##### **Espacio general**

- Defensa costera.
- Preparación del sustrato edáfico .

##### **I. Zona de servicios y uso recreativo intensivo**

- Relleno de huecos y modelado topográfico.
- Forestación/ Revegetación.
- Equipamiento / Infraestructura.

##### **II. Zona de conservación y eco recreación**

- Revegetación.
- Estabilización de bordes y remodelación.
- Protección y recuperación de la vegetación.
- Restauración y acondicionamiento de lagunas.
- Equipamiento / infraestructura.

##### **III. Zona de recreación extensiva**

- Accesibilidad.
- Equipamiento.
- Acondicionamiento playa.
- Protección de la vegetación.

#### **CONCLUSIONES**

El estudio integral de las características y entorno de este espacio permitió detectar un potencial natural de relevante interés ecológico, así como para su aprovechamiento y disfrute por parte de la comunidad local.

El trabajo pretende ofrecer un modelo de restauración de un espacio periurbano en un momento en que los conflictos ambientales en nuestra región están ligados a una crisis social y económica que afecta a todos los sectores de la población. A pesar de ello, se estima como invaluable el aporte de los recursos humanos en conocimiento, voluntad de trabajo, imaginación, solidaridad, participación, entre otros valores, para trabajar en pro de un medio ambiente mejor. Casi siempre la planificación ambiental (estudios, medidas de recuperación y corrección de impactos) es una de las primeras áreas que se paralizan ante la falta de recursos económicos. Pero hoy más que nunca es necesario tener la claridad conceptual suficiente para saber que un medio ambiente sano trasciende lo estético. Preservar la calidad ambiental del entorno natural de una ciudad en desarrollo también significa proteger los recursos agroecológicos que permiten sostener actividades agrarias que dependen de un delicado equilibrio ambiental; significa mantener la calidad de los recursos hídricos, del aire, y satisfacer las necesidades de la inevitable expansión urbana con el crecimiento sociodemográfico que conlleva.

Efectivamente, la calidad de vida urbana no es tal si le da la espalda al medio ambiente. Espacios cada vez más artificializados deben recuperar el verde, el agua, lo autóctono del paisaje, para evitar una alienación irreparable.

El desarrollo ideal de una ciudad debería acompañarse de acciones que eviten o atenuen la desaparición de espacios naturales valiosos. La recreación y sus distintas facetas abren la puerta hacia la posibilidad de establecer vínculos entre la naturaleza y los hombres. Vínculos que contribuyen a satisfacer necesidades materiales, sociales y espirituales. Allí donde el hombre tiene la posibilidad de vivenciar un contacto más cercano con la naturaleza, es posible conciliar la conservación del medio ambiente con la puesta en valor para el uso recreativo. Propiciar este acercamiento logra un noble y doble propósito: evitar la pérdida de ecosistemas e incorporar nuevos actores sociales preocupados por la conservación a partir del conocimiento y disfrute consciente que posibilita valorar la naturaleza desde otra dimensión.

## REFERENCIAS

- 1. Acerbo, P, 2000. Aves del río Neuquén, AIC, Cipolletti.
- 2. AIC, 1995. Confluencias, Revista de la Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, Año 1, nº 2, Cipolletti.
- 3. Anguita et al, 1988. Contribución al ordenamiento territorial de la ciudad de Neuquén, Boletín Geográfico nº 16, Depto de Geografía, Facultad de Humanidades, UNCo, Neuquén.
- 4. Asti Vera, A, 1968. Metodología de la investigación, Kapelusz, BsAs.
- 5. Buchinger, M, 1976. Recursos naturales, Cesarini, Buenos Aires.
- 6. Castells, M, 1974. La cuestión urbana, Siglo XXI, Madrid.
- 7. Cappato, J, 2001. Los humedales de Argentina y sudamérica necesitan más protección, Fundación Proteger, Grupo de Humedales UICN, Sta. Fe (Arg), www.eres.org.uy
- 8. Convención sobre los humedales, 2001. Fondo humedales para el futuro, www.ramsar.org.
- 9. De Jong et al, 1985. Términos de referencia para el mejoramiento ambiental de asentamientos humanos en oasis de riego, Boletín Geográfico nº 15, Dpto de Geografía, Facultad de Humanidades, UNCo, Neuquén, 1985.
- 10. Dimitri & Parodi, 1999. Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería, Tomo 1, 3ª edición, Acme, Buenos Aires.
- 11. Dpto. de Geografía, 1986. Cartas de oferta del medio para la expansión urbana. Ciudad de Neuquén, Facultad de Humanidades, UNCo, Neuquén.
- 12. Duvigneaud, 1978. La síntesis ecológica, Alhambra, Madrid.
- 13. Dir. pcial de TurismoPT, 2001. Guía de inversores, Gobierno de la provincia de Neuquén, Neuquén.
- 14. ENDEMAS, 2000. La margen sur de los ríos Limay y Negro, inédito, Cipolletti.
- 15. Gómez Orea, D, 1994. Ordenación del territorio. Una aproximación desde el medio físico, ITGE, Ed.Agrícola Española S.A, Madrid.
- 16. Gómez Orea, D, 1992. Planificación rural, Ed. Agrícola Española, Madrid.
- 17. Gómez Orea, D & Villarino, T, 1999. Gestión de la restauración de espacios degradados I y II, CEPADE, Fundación general UPM, Madrid.
- 18. Güidi, G, 1996. Aspectos jurídico – institucionales y operativos del turismo patagónico, CFI, Buenos Aires.
- 19. ITGE, 1996. Guía de restauración de graveras, Madrid.
- 20. Mantero, J, 2000. Problemática del tiempo libre, la recreación y el turismo, Realidad, enigmas y soluciones en Turismo, Vol 1, CONDET, Neuquén.
- 21. Margaleff, R, 1986. Ecología, Omega, Barcelona.
- 22. Martínez, P et al, 1990. El agua potable y el saneamiento en la ciudad de Neuquén. Un diagnóstico expeditivo, Seminario de Recursos humanos y naturales, Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, UNCo, inédito, Neuquén.
- 23. Montenegro, R, 1994. Introducción a la ecología urbana y la gestión ambiental de ciudades, CIAM, Mar del Plata.
- 24. MOSP, 1989. Desarrollo y ambiente, Gobierno de la provincia de Neuquén.
- 25. PLAN URBANO AMBIENTAL, 1997. Propuestas para un nuevo régimen legal de planeamiento y gestión urbano ambiental, Municipalidad de Neuquén, Neuquén.
- 26. Prudkin, N, 1994. El desarrollo sustentable como un nuevo marco de acción, G.A.D.U, Mar del Plata.
- 27. Rabassa, J et al, 1990. Curso de campo en sistemas eco-geomorfológicos, Departamento de Geografía, UNCo, inédito, Neuquén.
- 28. Martínez, P et al, 1994. Recreación y medio ambiente, Facultad de Turismo, UNCo, inédito, Neuquén.
- 29. SERVICIO GEOLOGICO NEUQUINO, 1992. Geología y recursos minerales del departamento Confluencia, Dirección provincial de Minería, Zapala.
- 30. Strahler, A, 1982. Geografía Física, Omega, Barcelona.
- 31. Strandberg, C, 1975. Manual de fotografía aérea, Omega, Barcelona.
- 32. Torre, G et al, 1998. Relevamiento de la costa del río Limay, inédito, Neuquén.
- 33. Uliana, M, 1973. El cretácico superior continental en la cuenca neuquina, Actas del V Congreso Geológico argentino, Córdoba.
- 34. Velasco Fernández, F, 1998. Sociología y educación medioambiental, CEPADE, Fundación general UPM, Madrid.



# Evaluación de la calidad de las observaciones de una estación meteorológica automática

D. M. Mielnicki (1),

C. E. Rössler (1).

1- Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental 3iA-UNSAM.

dmielnicki@unsam.edu.ar

## RESUMEN

La información meteorológica constituye una herramienta fundamental para diversas actividades humanas. La observación de variables y fenómenos meteorológicos se lleva a cabo en Estaciones meteorológicas convencionales (EMC). En los últimos 30 años se han desarrollado e implementado numerosos sistemas de automatización de las observaciones meteorológicas alrededor del mundo observándose un incremento significativo del uso de Estaciones meteorológicas automáticas (EMA). Esta aplicación práctica de nuevas tecnologías ha provocado en muchas instituciones la inquietud de que pueda producirse cierta heterogeneidad en las series de datos meteorológicos, dada las diferencias existentes entre los nuevos métodos de medición y los convencionales. La importancia de considerar la consistencia de la información meteorológica se debe a que las conclusiones que provengan de datos inconsistentes no serían válidas para la planificación ambiental ni para la toma de decisiones.

El propósito de este trabajo es evaluar la calidad de los datos de una EMA ubicada en San Martín, Buenos Aires. Se evaluó la consistencia de los datos y se los comparó con los adquiridos en EMCs ubicadas en la región Metropolitana. El análisis abarca los datos de temperatura del aire, humedad, viento y precipitación registrados durante el año 2010. Se calcularon los parámetros estadísticos horarios, a escala diaria, mensual y estacional de las variables meteorológicas. En general los resultados muestran similitud entre los datos de presión y temperatura de las estaciones y mayores diferencias entre los valores de humedad relativa y viento.

## INTRODUCCIÓN

La información meteorológica constituye una herramienta fundamental en diversas actividades humanas. Es ampliamente utilizada para pronóstico, agricultura, navegación aérea y marítima, prevención de desastres, productos climáticos, obras civiles, estudios de variabilidad y cambio climático, prevención, estudios de calidad del aire, etc. [1-7]

Desde fines del siglo XIX las Estaciones Meteorológicas Convencionales (EMCs) han sido utilizadas, como mecanismo para observar variables y fenómenos meteorológicos, determinar el estado del tiempo y con el fin de guardar registros históricos de los datos de una dada región. La medición, registro y análisis de las variables meteorológicas: temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento permite obtener información necesaria para comprender los procesos básicos de la atmósfera.

Ante la creciente necesidad de organizar de manera sistematizada la forma en que algunos países estaban gestionando y registrando los datos climáticos y meteorológicos, se crea en 1873 la Organización Meteorológica Internacional (OMI), luego denominada en 1950 Organización Meteorológica Mundial (OMM) <sup>1</sup>, organismo especializado de las Naciones Unidas. La OMM define el estándar de las estaciones adecuadas para la medición de los parámetros meteorológicos dedicados a distintas aplicaciones y rige a nivel mundial todo lo relacionado con la forma en que se deben registrar, procesar y almacenar los datos sinópticos y climatológicos para asegurar un adecuado intercambio de la información [8].

<sup>1</sup> En inglés: World Meteorological Organization (WMO), <http://www.wmo.int>.

En los últimos 30 años, gracias a las nuevas tecnologías provenientes de la industria electrónica, se han desarrollado e implementado numerosos sistemas de automatización de las observaciones meteorológicas alrededor del mundo, observándose un incremento significativo del uso de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) donde las observaciones son realizadas y transmitidas automáticamente [9]. El emplazamiento de una EMA de acuerdo a las normas de la OMM puede servir para incrementar el número de observaciones meteorológicas aumentando la densidad de una red de estaciones existente, proveer datos en zonas de difícil acceso o aumentar la frecuencia de toma de datos, etc. [10]

Esta aplicación práctica de nuevas tecnologías ha provocado en muchas instituciones la inquietud de que pueda producirse cierta heterogeneidad en las series de datos meteorológicos, debido a las diferencias existentes entre los nuevos métodos de medición y los convencionales. Durante la última década, se incrementó notablemente la oferta de instrumentos de medición con mayores capacidades, a precios accesibles. Numerosos usuarios y organizaciones de diversos sectores adquirieron su propia estación. Por lo general, estas estaciones no cumplen con las exigencias de calidad de la OMM y, muchas, presentan deficiencias en su calibración, ubicación, verificación, etc. Salvo excepciones, los datos no se comparten y son de uso exclusivo de las empresas u organizaciones que las poseen. La importancia de considerar la consistencia de la información meteorológica se debe a que las conclusiones pueden no ser válidas para la planificación ambiental ni para la toma de decisiones.

El creciente uso de estaciones meteorológicas automáticas por parte de empresas o servicios meteorológicos implica sin duda ventajas en términos de gestión y de calidad del monitoreo. Sin embargo el reemplazo de una estación convencional con una automática o la utilización conjunta de estaciones convencionales y automáticas en la misma red de monitoreo puede traer diversos problemas relacionados con la comparación de los datos y la continuidad de las series históricas. La utilización de EMAs como nueva alternativa para el registro y transmisión de datos meteorológicos conlleva un análisis comparativo basado en series históricas simultáneas de EMCs y EMAs. [11-13]

En el año 2010 se instaló una EMA en el predio del Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA) de la UNSAM con el objetivo de lograr experiencia en el manejo de este tipo de estaciones, con propósitos educativos y para contar con una

serie de datos ambientales que refleje las condiciones urbanas de la ciudad de San Martín. Su operación sirve para realizar tareas de divulgación y charlas a estudiantes de todos los niveles, como asimismo para el suministro de información a los entes oficiales y privados, y también para proyectos finales de carrera o de investigación. La fiabilidad de los datos meteorológicos resulta primordial para todas las aplicaciones que de ellos dependen.

El propósito de este trabajo es evaluar la calidad de los datos adquiridos en una EMA ubicada en San Martín, Buenos Aires. Se realizó un análisis de la consistencia de los datos y se los comparó con los obtenidos en EMCs ubicadas en la región Metropolitana. El análisis abarca los datos de temperatura del aire, humedad, viento y precipitación registrados durante el año 2010. Se calcularon los parámetros estadísticos horarios, a escala diaria, mensual y estacional de las variables meteorológicas. Los resultados muestran similitud entre los datos de temperatura de las estaciones y mayores diferencias en los valores de dirección del viento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos y características de la estación meteorológica

El Instituto de Investigación e Ingeniería ambiental (3iA) cuenta con una estación meteorológica automática (EMA-San Martín), operando continuamente desde diciembre del año 2009. Se trata de una estación automática Oregon Scientific WMR100 ubicada en el predio del instituto ( $34^{\circ} 34,481' S$   $58^{\circ} 32,221' O$  altura 35m). Las variables registradas son almacenadas automáticamente cada minuto en un archivo en una computadora personal.

La totalidad de los datos meteorológicos utilizados para la comparación con las Estaciones Meteorológicas Convencionales (EMCs) vecinas a la ciudad de San Martín fue suministrada por el SMN y corresponde a las estaciones de Aeroparque ( $34^{\circ}33'2297''S$   $59^{\circ}24'5933''O$ , altura 7m), ubicada en la costa del Río de la Plata; Observatorio Central de Buenos Aires ( $34^{\circ}35'2508''S$   $58^{\circ}29'0199''O$ , altura 30m) en la Ciudad de Buenos Aires y El Palomar ( $34^{\circ}36'4209''$   $58^{\circ}36'0626''$  altura 28 m) en el conurbano bonaerense. Las variables seleccionadas para el estudio son temperatura, presión, humedad relativa y viento del período abril a noviembre de 2010.

### Análisis de los datos

Los datos fueron promediados aritméticamente (acumulados en el caso de la precipitación) a partir de su resolución original (1 minuto). Se construyeron las series horarias, diarias y mensuales y se obtuvieron sus ciclos diarios y mensuales. Posteriormente se estudiaron sus características intraestacionales tales como máximos, mínimos y épocas de transición. Si faltara algún intervalo, no se calcula ni el valor diario ni el mensual. Esto es con la intención de sólo proporcionar los datos medidos y no tomar ninguna decisión de interpolación o llenado de datos faltantes. En el caso de intercambio de datos, el futuro usuario siempre tendrá acceso a los datos en su resolución más fina y podrá tomar decisiones al respecto de acuerdo con sus necesidades específicas.

El estudio de comparación se realizó entre los datos diarios y medios mensuales de las temperaturas, humedad relativa y presión (máximas, mínimas y medias), y acumuladas de precipitación de la EMA con los datos correspondientes a las EMCs del período abril a noviembre de 2010.

En el caso del viento se midió dirección y magnitud. La dirección está referida al norte verdadero. Se utilizó la convención meteorológica para indicar la dirección de donde proviene el viento. Las calmas se analizaron separadamente, teniendo en cuenta la forma diferente en que se registran en las EMCs y en la EMA-San Martín. En las EMCs las calmas tienen asociada una dirección del viento "0", mientras que el viento norte corresponde a la dirección "360". En los registros de la EMA-San Martín, las calmas pueden tener asociada cualquier dirección del viento, mientras que el viento norte se puede presentar con la dirección "0" o "360". Los datos horarios de viento de la EMA corresponden al promedio de 10 minutos, tal como se toman en las EMCs [8].

Con respecto a la precipitación diaria (acumulada en 24 horas) fue tomada a las 9 de la mañana del día siguiente. Se analizó también la variable días con precipitación. La EMA-San Martín no es sensible a precipitaciones débiles, por lo que definimos como "día con precipitación" a días con precipitaciones mayores a 1 mm.

### Comprobaciones de la calidad de los valores de las observaciones

Se efectuó un primer control de calidad de las observaciones. Este consistió en la verificación de la coherencia interna (por ejemplo la temperatura del aire no deberá ser

inferior al punto de rocío), la coherencia temporal y espacial (no deberán excederse las diferencias plausibles entre los valores de temperatura de una estación y los de estaciones vecinas), y los límites físicos y climatológicos [14] (WMO, 1989).

Las estaciones meteorológicas fueron comparadas a partir de gráficos de desviación de las series temporales entre la EMA y las EMCs. Se realizaron los cálculos de algunos estadísticos, y se calculó del coeficiente de consistencia de Colotti (1) [15].

Se tiene, entonces, que:

$$(1) \quad C_c = 1 - \frac{V(X - X^*)}{V(X) + V(X^*)}$$

Donde V representa la varianza; X el valor de la variable medida por la EMA y X\* el valor de la variable medida por la EMC.

Este coeficiente varía entre 0 (muestras perfectamente consistentes) y 1 (muestras totalmente independientes), suponiendo que no existe correlación lineal entre los dos conjuntos de mediciones. Se realizaron comparaciones de las variables meteorológicas para cada mes del año registradas en la EMA y en las EMCs.

## RESULTADOS

### Área de estudio

El Área Metropolitana de Buenos Aires se ubica en una región de clima húmedo subtropical con inviernos de escasas precipitaciones y una estación cálida prolongada. El clima de la región está dominado por el centro anticiclónico semipermanente del Atlántico Sur que provoca que los vientos del sector NE sean los más frecuentes. Durante el invierno, se producen irrupciones de sistemas frontales responsables de la precipitación. Entre el otoño y la primavera se producen ciclogénesis que pueden afectar el Río de la Plata causando vientos intensos del sector S-SE, crecidas e inundaciones en la zona costera.

Con el objeto de realizar una descripción cuantitativa de las características climáticas de la zona de estudio y verificar los datos de la EMA-San Martín, se consideró la información meteorológica de tres EMCs: una ubicada en la zona costera; una en el

centro de la Ciudad de Buenos Aires y la última en el conurbano bonaerense. Se analizaron las series de variables meteorológicas diarias y mensuales y se las comparó con las estaciones meteorológicas convencionales de referencia.

### Análisis de las series de temperatura

Los valores diarios de la EMA muestran un patrón similar al de las EMCs. Se observa que los valores de la estación meteorológica de El Palomar muestran mínimos más marcados que las demás estaciones (Figura 1-3). Esto también se observa a nivel mensual (Figuras 2 y 3).

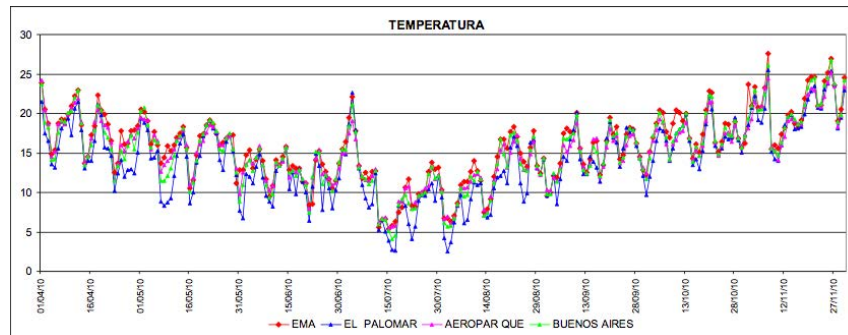


Figura 1: Temperatura media diaria EMA y EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

Con respecto a los valores mensuales se observa que la EMA-San Martín registra valores superiores a las demás estaciones mostrando una mayor diferencia con respecto a la estación El Palomar (Figura 2).

### Análisis de las series de temperaturas extremas

El patrón de temperaturas mínimas de la EMA-San Martín es similar a las otras estaciones, presentado las menores diferencias con respecto a la estación Aeroparque (Figura 3). Son notables también los menores valores de temperaturas en la estación El Palomar, debido a la ubicación de esta estación en una zona suburbana.

Con respecto a las temperaturas máximas podemos observar que la EMA-San Martín presenta menores diferencias con respecto a la estación de El Palomar (Figura 4). La temperatura máxima tiene en todas las estaciones una marcha con mínimos en julio.

En la marcha de la temperatura máxima la estación Aeroparque evidencia las características de una estación costera: mínima amplitud térmica anual y menor temperatura media en los meses estivales en comparación con las demás estaciones debido a la brisa proveniente del Río de la Plata. Esta estación muestra valores menores en todos los meses en comparación con las estaciones restantes. Esto se debe además al efecto moderador del Río de la Plata.

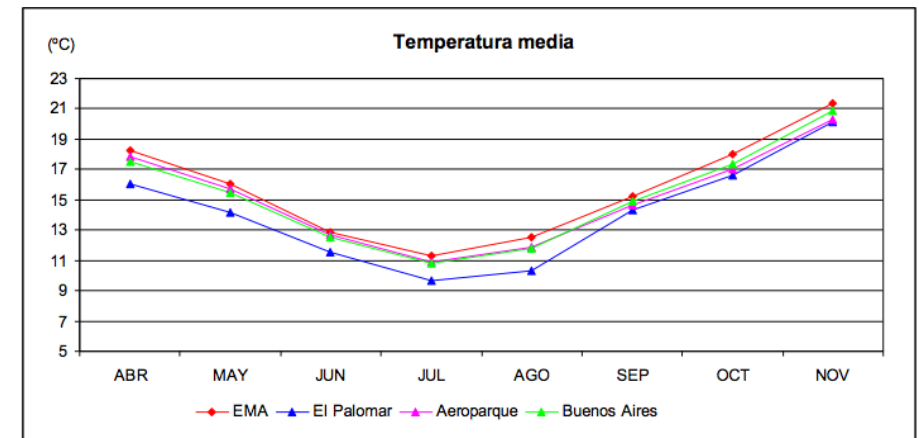


Figura 2: Temperatura media mensual EMA y EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

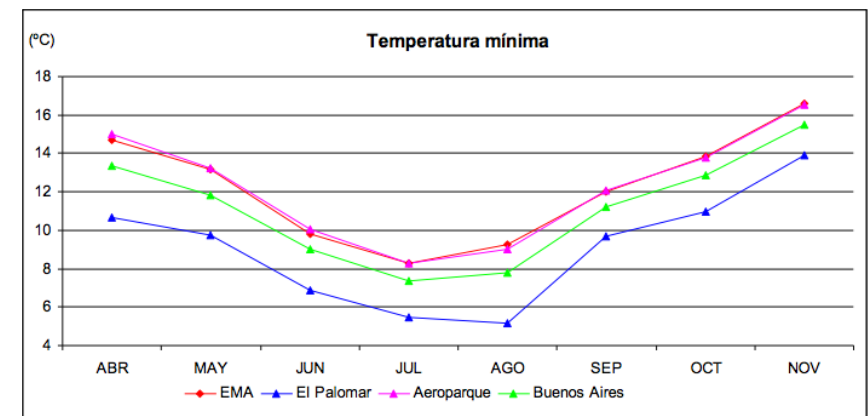


Figura 3: Temperatura mínima media mensual EMA y EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

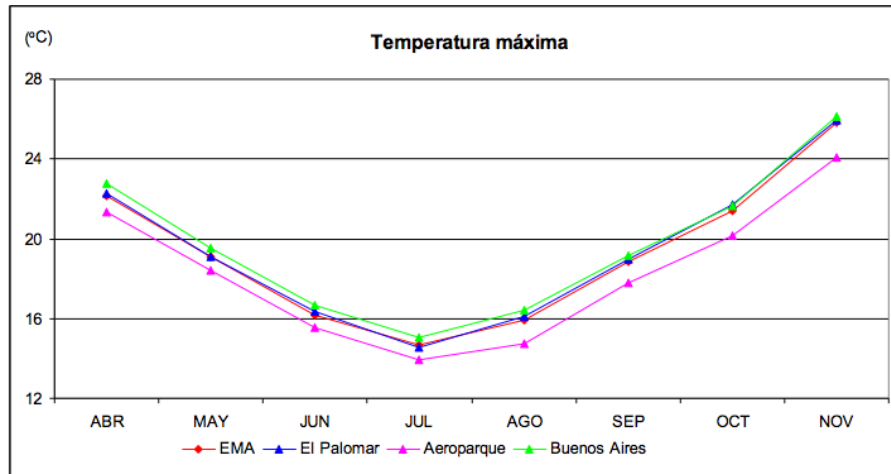


Figura 4: Temperatura máxima media mensual EMA y EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

#### Análisis de las series de humedad relativa y temperatura de rocío

En el registro de valores de humedad relativa y temperatura de rocío se observan valores menores en la EMA-San Martín Esto puede deberse a la cercanía de los edificios en esta zona de la ciudad de General San Martín.

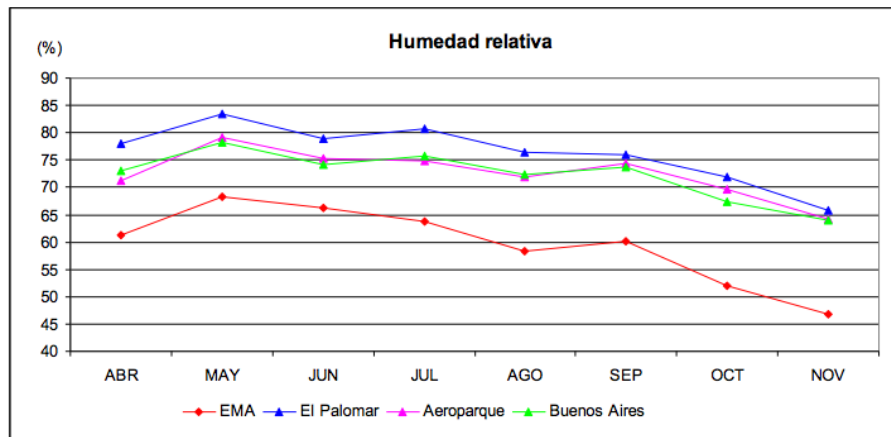


Figura 5: Humedad relativa media mensual EMA y EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

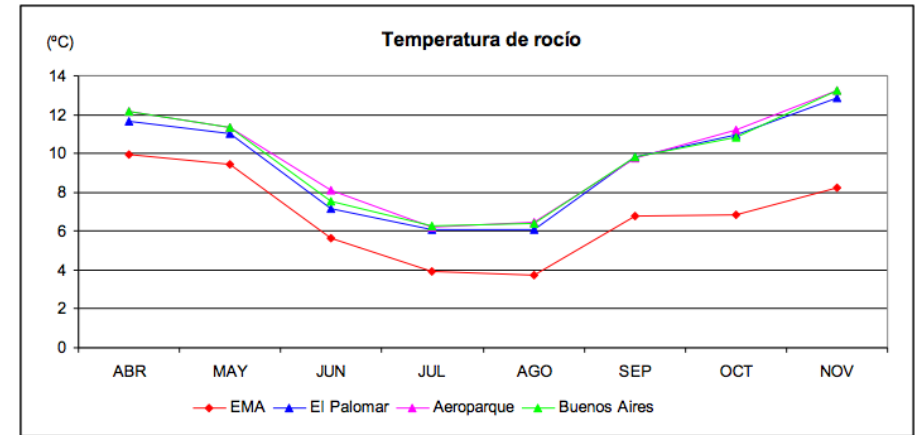


Figura 6: Temperatura de rocío media mensual EMA y EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

#### Análisis de las series de viento

La velocidad del viento presenta diferencias entre las distintas estaciones, pero con el mismo comportamiento en el transcurso del año. En Aeroparque las velocidades del viento son más elevadas mientras que Buenos Aires registra las menores, debido a la diferencia de las características entre ambas estaciones. La EMA-San Martín presenta menores diferencias con respecto a la estación Aeroparque, debido a la altura a la que debió colocarse el anemómetro, para elevarlo sobre las edificaciones. En el período total el porcentaje de calmas es mínimo en Aeroparque (3,4%) y máximo en Buenos Aires (23,7%), mientras que el comportamiento de la EMA-San Martín (5,2%) es similar al de Aeroparque. Se observa la mayor cantidad de días con viento fuerte en la primavera. La estación Buenos Aires es la que tiene menor cantidad de días que cumplen esta condición debido a su emplazamiento en un ambiente urbano.

En el caso de la dirección del viento, la diferencia entre todas las estaciones es mayor. En las EMCs se observa, en general, que en los meses más cálidos las direcciones más frecuentes corresponden al sector NE-E mientras que en el invierno aumentan las frecuencias correspondientes al sector S-W (no mostrado). La EMA-San Martín muestra un comportamiento diferente, con predominio de vientos del S-SE en todos los meses y una baja frecuencia de vientos de los sectores NE y SO. En el análisis de situaciones particulares en casos en que el viento es persistente



e intenso, la concordancia entre las estaciones fue significativa (ver "Estudio de casos meteorológicos").

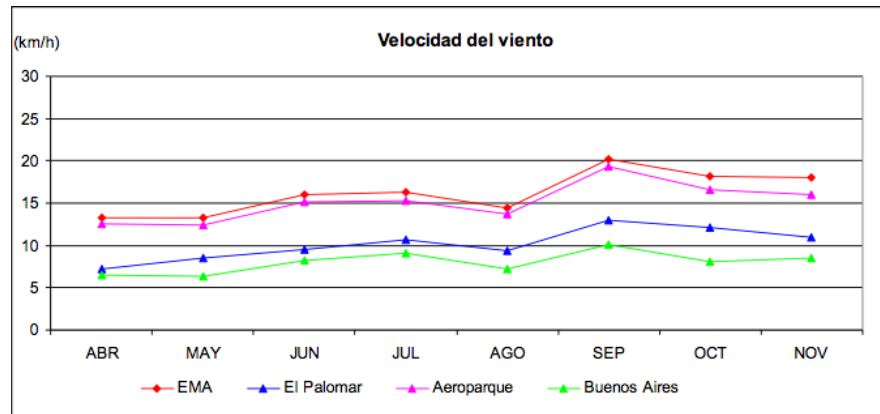


Figura 8: Velocidad del viento media mensual EMA y EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

### Análisis de las series de precipitación

Se observa una distribución de precipitación acumulada mensual similar en todas las estaciones mostrando máximos en los meses de marzo y septiembre y un mínimo en agosto (figura 9). Se observó coincidencia entre las fechas de máximas precipitaciones 67,2 mm en EMA-San Martín, 97 mm en El Palomar, 71 mm en Aeroparque y 68,3 mm en Buenos Aires el 23 de mayo. El valor acumulado en el período de estudio en las estaciones fue muy similar: EMA 455,0 mm, El Palomar 505,0 mm, Aeroparque 518,0 mm y Buenos Aires 627,5 mm.

La mayor diferencia se observa en los meses de julio y septiembre con respecto a la estación Buenos Aires. Esto se debe a dos eventos de precipitación convectiva ocurridos en la zona que afectaron mayormente la ciudad de Buenos Aires.

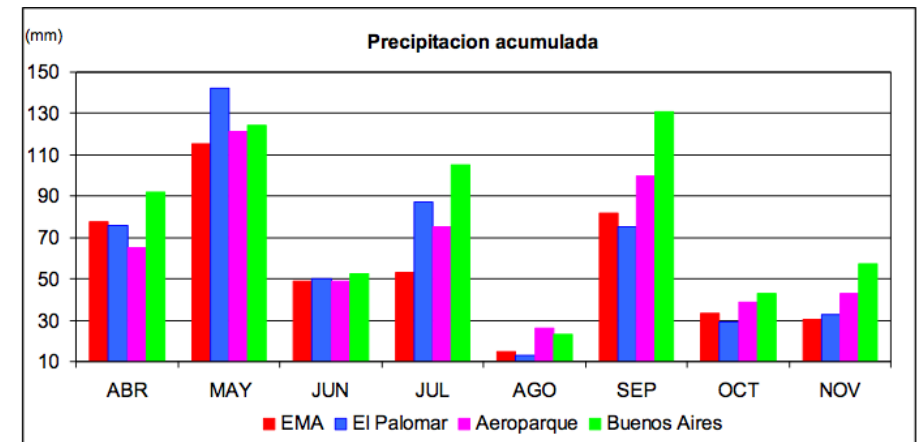


Figura 9: Precipitación acumulada mensual (mm) EMA y EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

### Coficiente de consistencia de las variables meteorológicas

En la figura 10 se presentan los coeficientes de consistencia que resultaron de la comparación de las variables diarias entre la EMA y las EMCs.

La mayor consistencia la presenta la variable presión, con todas las estaciones, debido a la baja variabilidad espacial de este parámetro.

Se observa una mayor consistencia en las variables temperatura media, temperatura mínima, humedad relativa y temperatura de rocío registradas en la EMA-San Martín con respecto a las EMCs de Aeroparque y Buenos Aires. Esto indica el efecto de la urbanización de la ciudad de General San Martín sobre la estación. Con respecto a la temperatura máxima se observa una mayor consistencia con El Palomar y Buenos Aires debido a la influencia costera de la estación Aeroparque.

La precipitación presenta alto grado de consistencia con todas las estaciones, pero también diferencias durante el año. Esto se debe a la gran variabilidad espacial de este parámetro.

### Estudio de casos meteorológicos significativos

Se eligieron 3 situaciones particulares significativas para analizar la respuesta de la EMA y compararla con la de las EMCs.

El 18 de abril de 2010 hubo una fuerte granizada en la zona norte del Gran Buenos Aires y algunos sectores de la Ciudad de Buenos Aires. Los registros de presión, temperatura y temperatura de rocío de la EMA San Martín se presentan en la figura 11. La presión descendió bruscamente durante el día 18, alcanzando valores mínimos entre las 17 (EMA-San Martín) y las 19 horas (EMC-Palomar). Las temperaturas máximas se registraron en todas las estaciones analizadas entre las 16 y las 17 horas, mientras que altos valores de temperatura de rocío (máximos entre 21,1 y 23,4) se alcanzaron entre las 17 (EMC-Palomar) y las 22 horas (EMC-Aeroparque). Las precipitaciones del día 18 de abril variaron entre 15 mm en Aeroparque y 21,3 en la EMA-San Martín.

El 23 de mayo de 2010 se registraron las mayores precipitaciones acumuladas diarias del período analizado en las cuatro estaciones: 97, 71, 68,3 y 67,2 en El Palomar, Aeroparque, Buenos Aires y EMA-San Martín respectivamente. La figura 12 muestra las precipitaciones acumuladas correspondientes al día 23 de mayo registradas en la EMA San Martín. Estas se produjeron entre las 16 hs. del 23 de mayo y las 5 del día 24, con una velocidad de precipitación máxima de 3,3 mm/minuto. Esto muestra la ventaja de la utilización de una EMA, dado que permite hacer un análisis más exhaustivo debido a que se cuenta con un registro minuto a minuto de la precipitación.

El 12 de agosto de 2010 se produjo el pasaje de un frente frío sobre el Área Metropolitana de Buenos Aires. El pasaje del mismo fue registrado por la EMA-San Martín con un mínimo de presión a la hora 5 y una rotación del viento del ESE al S (Figura 13). Las direcciones del viento fueron similares en la EMC-Aeroparque, mientras que en las EMCs-Palomar y Buenos Aires el viento fue del ENE antes del pasaje del frente, lo que indica la existencia de diferencias en el comportamiento local del viento entre las estaciones. El comportamiento de la intensidad del viento fue similar en todas las estaciones. Las EMCs acumularon en el 11 y 12 de agosto 0; 1,8 y 0,4 mm en Palomar, Aeroparque y Buenos Aires, respectivamente. La EMA-San Martín no es sensible a precipitaciones débiles, por lo que no registró ninguna precipitación.

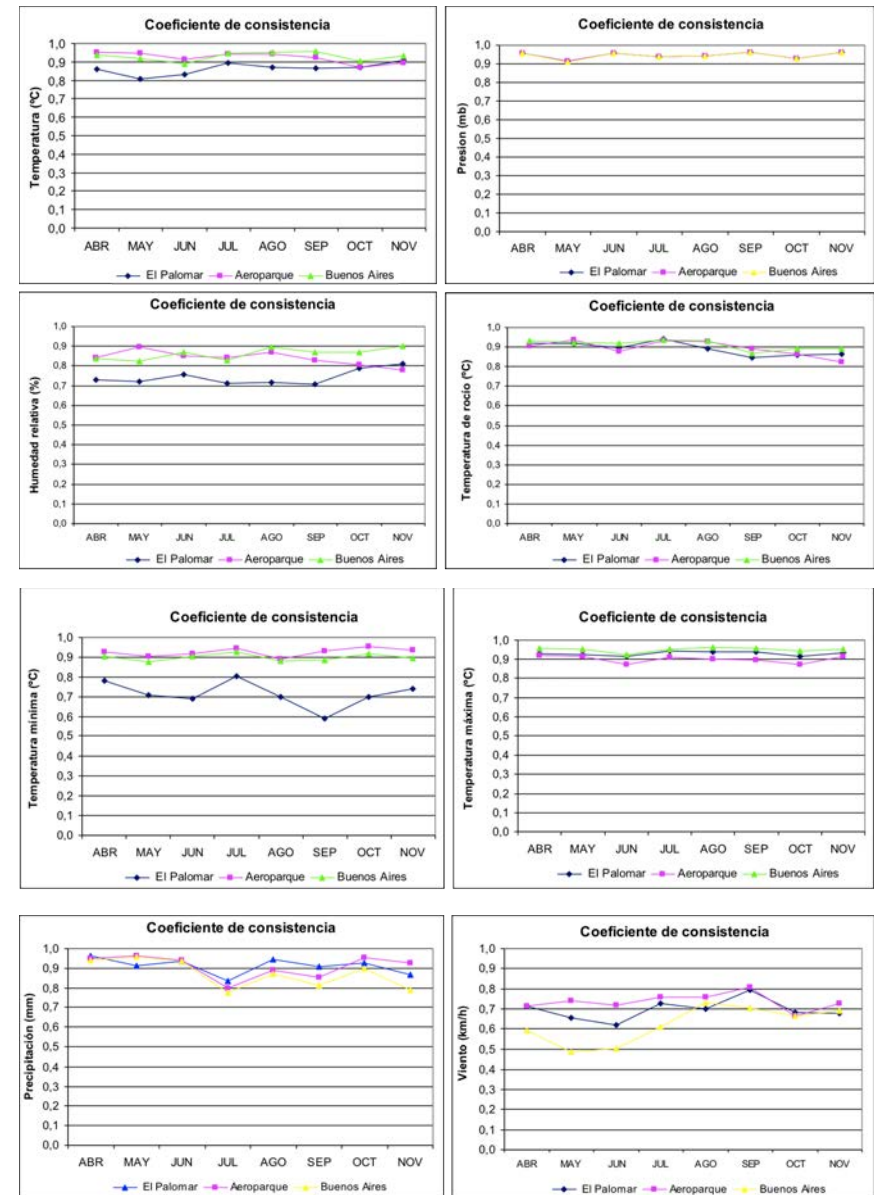


Figura 10: Coeficiente de consistencia de temperatura, presión, humedad relativa, temperatura de rocío, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y viento entre la EMA y las EMCs: El Palomar, Aeroparque y Buenos Aires período abril-noviembre de 2010.

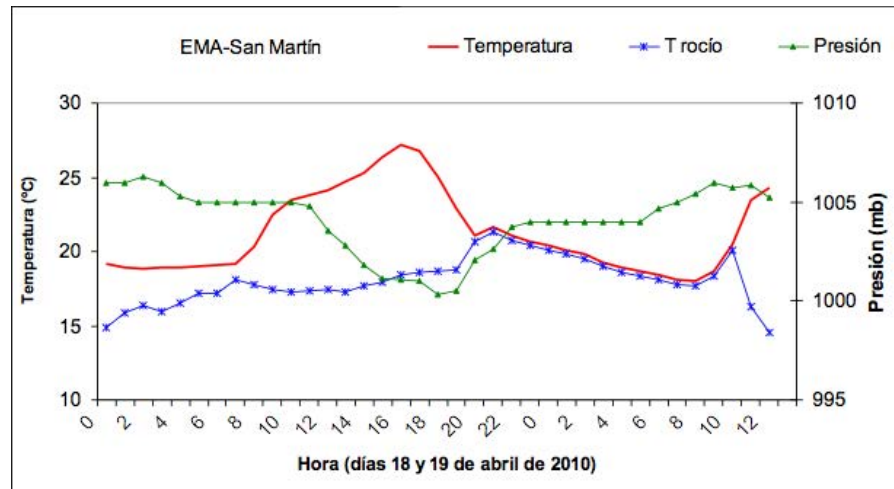


Figura 11. Registros de presión, temperatura y temperatura de rocío de la EMA San Martín del 18 y 19 de abril de 2010.

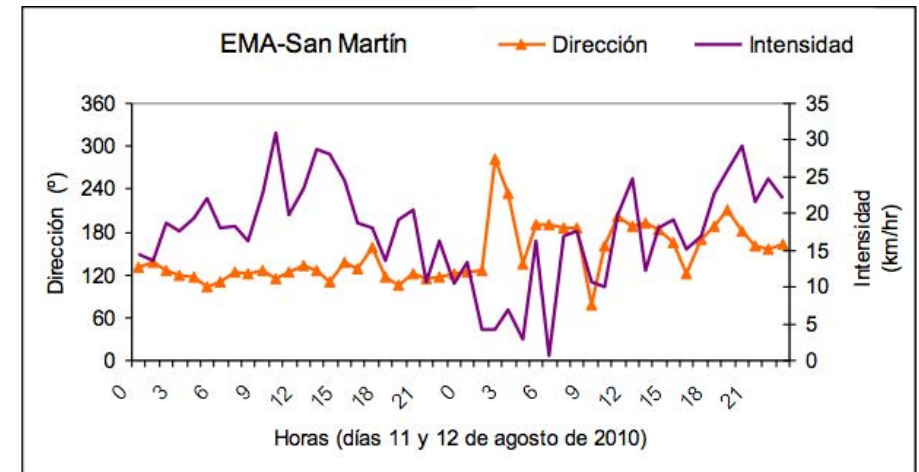


Figura 13. Registros de dirección e intensidad del viento de la EMA San Martín del 11 y 12 de agosto de 2010.

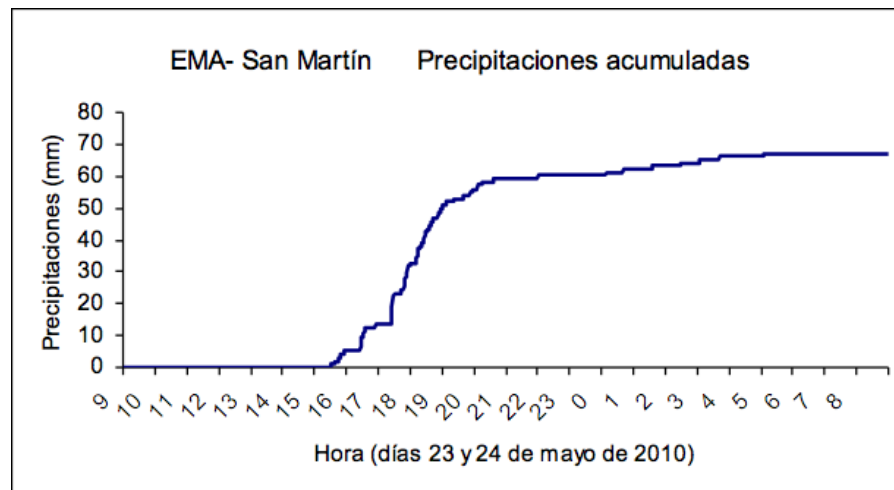


Figura 12. Precipitaciones acumuladas correspondientes al día 23 de mayo de 2010 en la EMA-San Martín.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La tecnología electrónica en la adquisición de datos meteorológicos significó un aporte importante para la accesibilidad de la información. Una de las principales ventajas de las estaciones automáticas respecto de las convencionales lo representa la total eliminación de la subjetividad y los errores en el proceso de la toma de datos. Si bien la estación automática puede trabajar sin supervisión por largo tiempo, es conveniente revisar la calidad de los datos que se van registrando para poder detectar errores por mal funcionamiento.

En general se observa que las variables analizadas presentaron comportamientos similares en todos los casos, con variaciones en los valores máximos y mínimos o en las horas de ocurrencia, debido a la distancia entre las estaciones y características propias de la localización de las mismas. Se evidencia el carácter costero de la estación meteorológica de Aeroparque así como también el carácter suburbano de la estación. El Palomar y el efecto de isla de calor en la estación Buenos Aires. La EMA-San Martín presenta las características propias de una estación meteorológica urbana.

La consistencia de la EMA-San Martín con las diferentes EMCs varía según la variable presentando mayor consistencia en la presión (0,95). La consistencia de la

temperatura media (>0,90), temperatura mínima (0,90), humedad relativa (0,85) y temperatura de rocío (0,85) es mayor con Aeroparque y Buenos Aires y menor con El Palomar por sus características suburbanas. En la temperatura máxima (0,95) la consistencia con Aeroparque disminuye por su carácter costero. La consistencia en la precipitación es alta con variaciones a lo largo del año. La intensidad del viento presenta una buena consistencia (0,70), especialmente con Aeroparque, mientras que la dirección del viento presenta diferencias mayores. La EMA-San Martín mostró una buena performance en la captura de situaciones meteorológicas particulares ocurridas a lo largo del período de estudio.

La EMA fue instalada en el predio del Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA) de la UNSAM con el objetivo de lograr experiencia en el manejo de este tipo de estaciones. Próximamente será instalada en el predio del Campus Miguelite de la UNSAM para su utilización operativa.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Dentoni, M., Muñoz, M., Epele, F., 2007. Implementación de un sistema nacional de evaluación de peligro de incendios: la experiencia argentina. IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales Wildfire, Sevilla, mayo 2007.
- [2] Magrin, G., García, C. G., Choque, D. C., Giménez, J. C., Moreno, A. R., Nagy, G. J., Nobre, C. y Villamizar, A. Latin America. En: Parry, M. L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. V. D. Linden & C. E. Hanson (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 581-615). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [3] Rusticucci, M., Barrucand, M. 2001. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorologica* Vol. 26 Nro.1y2
- [4] Torres Curth, M. I., Ghermandi, L., Pfister, G., 2008. Los incendios en el noroeste de la Patagonia: su relación con las condiciones meteorológicas y la presión antrópica a lo largo de 20 años *Ecol. Austral* v.18 n.2 Córdoba mayo/ago. 2008
- [5] Allende, D., Cremades, P., Puliafito, E., Fernández, R., Pérez Gunella, F., 2010. Estimación de un factor de riesgo de exposición a la contaminación urbana para la población de la ciudad de Buenos Aires. *ASADES Avances en energías renovables y medio ambiente* Vol. 14.
- [6] Tarela, P., 2004. Calidad de aire e impacto en la salud: Herramientas de simulación computacional. *Mecanica Computacional* Vol. XXIII, pp. 1681-1699 G. Buscaglia, E. Dari, O. Zamonsky (Eds.) Bariloche, Argentina, November 2004.
- [7] Castañeda, M., Ratto, N., 2009. Analysis of some meteorological variables recorded at 4000 m in the Argentinean subtropical Andean region. *Atmósfera* 22(3), 253-264
- [8] WMO, 2008. Guide to meteorological instruments and methods observations. World Meteorological Organization (8) (7.º ed.), Génova.
- [9] WMO, 1992. International Meteorology Vocabulary, World Meteorological Organization (182) (2º ed) Génova.
- [10] WMO, 1993. Guide on the global data-processing system, World Meteorological Organization (305) Génova.
- [11] Ureña Elizondo, F., 2011. Utilización de estaciones meteorológicas automáticas como nueva alternativa para el registro y transmisión de datos *Revista Posgrado y Sociedad Sistema de Estudios de Posgrado Universidad Estatal a Distancia* ISSN 2215-2172 Costa Rica.
- [12] Pinto, H.S., Pellegrino, G.Q., Fonseca, D.B., Coral, G., Caramori, P.H., De Ávila, A.M.H., 2006. Comparison between daily meteorological data collected by automatic and conventional stations. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climatológicas aplicadas a agricultura CEPAGRI .
- [13] Lucas, E., Rodríguez, J., Rezende, J., Abreu, S., Braga, A., 2010. Comparative analysis of observed meteorological data in the conventional and surface automatic station at Brazilian National Institute of Meteorology In: WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation, 2010, Helsinki, Finland. [Papers presented at the WMO... (TECO - 2010): Helsinki, Finland, 30 August – 1 September 2010]. Geneva: World Meteorological Organization, 2010. 1 CD-ROM (Instruments and observing methods report, n. 104). 9 p., pdf
- [14] WMO, 1989. Guide on the global observing. World Meteorological Organization (488) Génova.
- [15] Colotti E., Blanco, A., Rodríguez, J., 2003. Aplicación del coeficiente de inconsistencia como criterio de comparación entre mediciones de estaciones convencionales y automáticas de lluvia diaria. *Terra Nueva Etapa*, XVIII-XIX (27-28), Venezuela, 85-101.

## AGRADECIMIENTOS

Al señor Luis González por el emplazamiento de la estación meteorológica en el predio del 3iA y al Dr. Claudio Parica por el asesoramiento para su compra e instalación.

# Desarrollo de un sistema para la medición de radón en tiempo real: determinación de la sensibilidad

Marcelo Miller (1),  
José Villanueva (1),  
Alejandro Pontiroli (1).

1-CNEA, Avenida del Libertador, 8250, C.A.B.A., Argentina.

[miller@cae.cnea.gov.ar](mailto:miller@cae.cnea.gov.ar)

## RESUMEN

El incremento del radón-222 alrededor de un volcán constituye una variable útil para predecir erupciones y/o terremotos. Este gas noble radiactivo decae con alfa de 5.49 MeV de energía. Para determinar, en tiempo real, su contenido en las cercanías del volcán Peteroa, se está desarrollando un sistema basado en una cámara de ionización abierta. Conceptualmente, aire mezclado con radón ingresa por convección natural y/o difusión al detector generando corriente eléctrica por ionización producto de su decaimiento y el de sus hijas. La corriente medida resulta proporcional a la actividad del radón en el interior del detector. Este trabajo presenta la etapa del desarrollo que consistió en la determinación de la sensibilidad de la cámara.

Para determinar la sensibilidad se ubicó en una caja de guantes hermética, la cámara de ionización, piedras con uranio (naturalmente emisoras de radón) y un instrumento comercial que mide la actividad del radón por metro cúbico de aire. Luego, en distintos niveles de concentración alcanzados (condición cuasi-estacionaria), se determinó la sensibilidad como  $S = \text{corriente medida} / (\text{actividad del radón} / \text{m}^3)$ , empleando estadística que correlacionó las respuestas de ambos instrumentos, el de referencia y el ensayado.

Se obtuvo una sensibilidad de  $0.52 \pm 0.02$  fA/Bq/m<sup>3</sup>. La corriente sin radón del sistema fue de  $17 \pm 3$  fA. Por lo tanto, en estas condiciones de laboratorio, es posible medir en forma significativa concentraciones y/o variaciones superiores 10 Bq/m<sup>3</sup>. Con la sensibilidad hallada y teniendo en cuenta la concentración mínima de radón en la cueva donde se instalará el sistema (aproximadamente 200 Bq/m<sup>3</sup>), la corriente de la cámara asociada al gas será igual o superior a 100 fA.

Una próxima etapa del programa prevé instalar el sistema en la mencionada cueva, adquiriendo datos off-line en época invernal. Su posterior análisis permitirá conocer el grado de perturbación de la señal debido al funcionamiento en las condiciones ambientales reales.

## INTRODUCCIÓN

El incremento del contenido de radón-222 en los alrededores de un volcán es una variable útil para poder predecir erupciones y/o terremotos. El radón-222 es un gas noble radiactivo que decae con una partícula alfa de 5.49 MeV de energía. Con el objeto de poder determinar, en tiempo real, el contenido de radón en las cercanías del volcán Peteroa, se está desarrollando un sistema basado en una cámara de ionización abierta de unos 13 litros de volumen sensitivo. Conceptualmente el aire con radón radioactivo ingresa por convección natural y/o difusión al detector y genera una corriente eléctrica que es producto de la ionización que producen las partículas alfa del decaimiento del radón y de sus hijas. De esta forma la corriente medida es proporcional a la actividad del radón en el interior del detector.

Una fotografía del exterior del prototipo de la cámara de ionización abierta puede verse a la izquierda de la Figura 1 y un corte esquemático a la derecha de la misma [1].



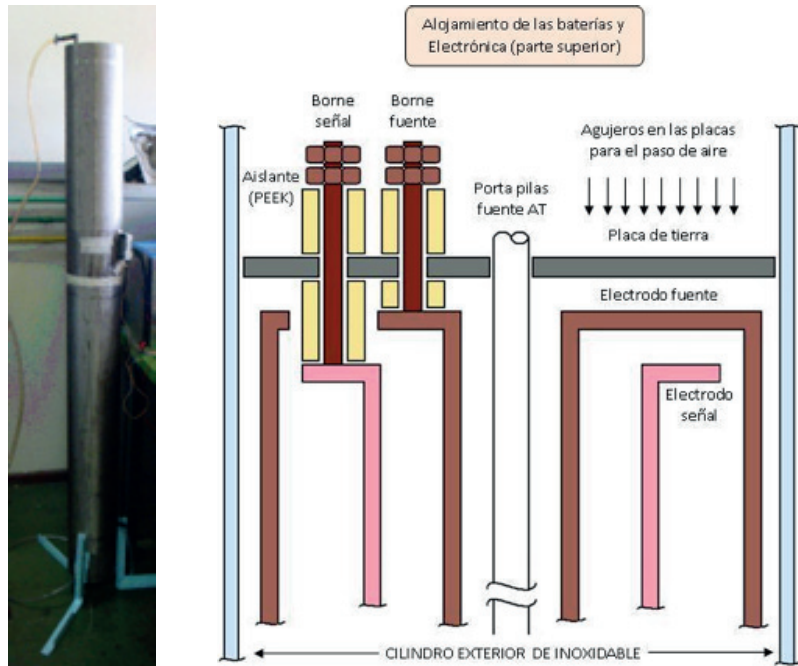


Figura 1 Fotografía del exterior de la cámara y corte esquemático de la misma.

Para medir la corriente que entrega la cámara cuando es sometida a tan bajos niveles de radiación como los de la actual experiencia, se construyó una etapa amplificadora electrométrica de rango único. Para evitar derivas por humedad se encerró a los componentes electrónicos críticos dentro de un cilindro de aluminio estanco. Por otra parte la deriva con la temperatura se resolvió utilizando dos operacionales iguales de entrada trabajando en forma compensada, uno de los cuales recibe la señal del detector [1].

Con respecto a la fuente de alta tensión para polarizar el detector se construyó una fuente basada en baterías. Esto permitió minimizar el ruido propio de la fuente (que genera fluctuaciones en la corriente) y lograr autonomía a largo plazo (por lo menos dos años) [1].

La evolución de la corriente de fuga del sistema en su conjunto, (detector polarizado con fuente de alta tensión y señal medida con el amplificador electrométrico polari-

zado con baterías), fue estudiada en laboratorio a lo largo de varias semanas. Para el análisis solo se utilizaron los valores de las zonas no perturbadas por los efectos climáticos. De los resultados obtenidos en laboratorio se pudo concluir que la corriente propia en ausencia de cambios bruscos de temperatura fue suficientemente baja y estable como para poder cuantificar los niveles de radón previstos teóricamente. Sin embargo hay que mencionar que frente a cambios de temperatura en cortos tiempos (ej. encendido de calefacción o aire acondicionado) se produjeron transitorios importantes de la corriente (en algunos casos se llegó a plena escala (4 pA)) que requirieron tiempos de recuperación de condiciones normales de varias horas [1]. El sistema se instalará dentro de una cueva natural que posee una puerta para su cierre y acceso. De esta forma se contará con un espacio con un cierto grado de estanqueidad que permitirá la acumulación de radón para su mejor detección. El nivel base de radón en la cueva se determinó con mediciones preliminares [2]. El valor obtenido fue del orden de  $200 \text{ (Bq / m}^3_{\text{aire}})_{\text{radón}}$  y se prevé que este valor será significativamente mayor poco tiempo antes de que se produzca una erupción. Se supone que las variaciones térmicas dentro de la cueva serán mucho más lentas que las inducidas artificialmente en laboratorio, pero será necesario estudiar el comportamiento del sistema en las condiciones reales (humedad y variación de la temperatura) para su validación final.

En este trabajo se presenta la etapa del desarrollo que consistió en la determinación de la sensibilidad de la cámara.

## MÉTODOS

Para determinar la sensibilidad se instaló la cámara de ionización abierta conectada a la etapa electrométrica, dentro de una caja de guantes hermética. Por medio de pasa-cables estancos se sacó la señal para su procesamiento digital afuera de la caja de guantes, Figura 2.



Figura 2 Fotografía del arreglo experimental para determinar la sensibilidad.

En una primera etapa se determinó la corriente propia inicial del sistema con concentración de radón en aire despreciable. Para esto se observó la evolución de la corriente de salida de la etapa electrométrica durante 26 días. La hermeticidad de la caja de guantes y la extensión del ensayo (más de cinco veces la constante de decaimiento del radón), garantizaron alcanzar la condición buscada.

En una segunda etapa se determinó la sensibilidad del sistema. Para esto se abrió la caja de guantes y en su interior se alojó un instrumento comercial, marca "Sun Nuclear Corporation", modelo "1027 Professional Continuous Radon Monitor", que se utilizó como patrón para determinar la actividad del radón por metro cúbico de aire. También se introdujo un contenedor hermético con piedras con uranio, que naturalmente son emisoras de radón. La caja se cerró nuevamente en forma hermética y por medio de los guantes de la misma se abrió el contenedor de las piedras. De esta forma se logró hacer crecer en el tiempo la concentración de radón dentro de la caja. Se esperó lo necesario para que la concentración llegara a un estado cuasi-estacionario. En esas condiciones, y para distintos niveles de concentración, se realizaron determinaciones independientes de sensibilidad del sistema ( $S_i$ ) como  $S_i = (I_{mi} - I_0) / A_i$ , donde  $I_{mi}$  es la corriente medida con radón durante la determinación  $i$ ,  $I_0$  es la corriente propia del sistema sin radón (promedio entre valores tomados antes

y después de las mediciones con radón) y  $A_i$  es la actividad del radón por  $m^3$  de aire en la determinación  $i$ . El instrumento patrón promediaba el valor de la concentración de radón a lo largo de las últimas 12 horas y entregaba un único valor medio que se actualizaba cada hora. Por este motivo, para una adecuada correlación en cada una de las determinaciones de  $S_i$ , se obtuvo la corriente del sistema  $I_{mi}$  como el promedio de la corriente en las mismas 12 horas en las que el instrumento patrón promediaba la concentración  $A_i$ . Al valor de  $S_i$  así obtenido se le atribuyó un tiempo de ocurrencia de 6 horas antes del momento de actualización del instrumento patrón, es decir coincidente con el centro del intervalo promediado. La adquisición de la corriente fue realizada con un Data-logger marca Hewlett Packard modelo E3620A, utilizando un tiempo entre muestras de 5 segundos. Los datos del sistema bajo ensayo se tomaron a lo largo de 45 días. El total de determinaciones independientes de la sensibilidad fue de 25 y en cada caso se tuvo en cuenta que la señal se encontrara en estado cuasi-estacionario durante el intervalo promediado. La sensibilidad del sistema ( $S$ ), se obtuvo como el promedio de dichas determinaciones. Con relación al error de la sensibilidad es importante aclarar que sólo se consideró la dispersión de las determinaciones independientes y no se tuvo en cuenta el error de calibración del instrumento patrón (20% de acuerdo a la especificación de origen). Esto se hizo así dado que para esta aplicación sólo interesa evaluar las variaciones relativas de la concentración de radón y no la determinación absoluta de la misma.

Finalmente, para obtener la corriente propia final del sistema se procedió a confinar, mediante manipulación con guantes, las piedras con uranio en su contenedor hermético interior a la caja. Una bomba neumática permitió extraer el aire de la caja y enviarlo a la atmósfera exterior, a la vez que ingresar aire exterior libre de radón. Este proceso se extendió por 18 días, y el valor de cero final se tomó como el promedio de los valores de las últimas 55 horas de medición, donde la concentración de radón era despreciable.

## RESULTADOS

En la Figura 3 se presenta la corriente adquirida con concentración de radón despreciable antes de poner las piedras con uranio dentro de la caja de guantes en función del tiempo. El tiempo total de medición fue de 26 días.

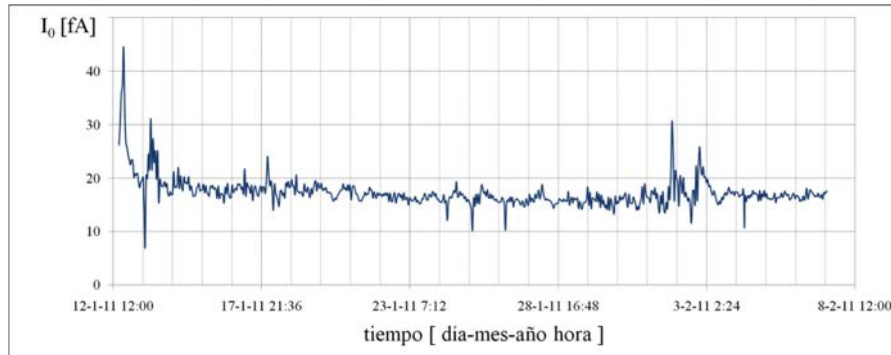


Figura 3 Corriente propia del sistema en función del tiempo.

Promediando los valores de la Figura 3, sin tener en cuenta el transitorio inicial, se obtuvo una corriente propia inicial del sistema de  $17 \pm 3$  fA.

En la Figura 4 se presenta la corriente medida a partir de que se introducen las piedras con uranio (curva azul). Por una limitación del máximo número de datos del gráfico que puede manejar la planilla utilizada, sólo están graficados doce valores de corriente por hora, los cuales fueron obtenidos a partir de un filtrado de los datos adquiridos cada 5 segundos. También se presenta la evolución de la concentración de radón por metro cúbico de aire medido con el instrumento patrón (puntos rojos de la curva verde).

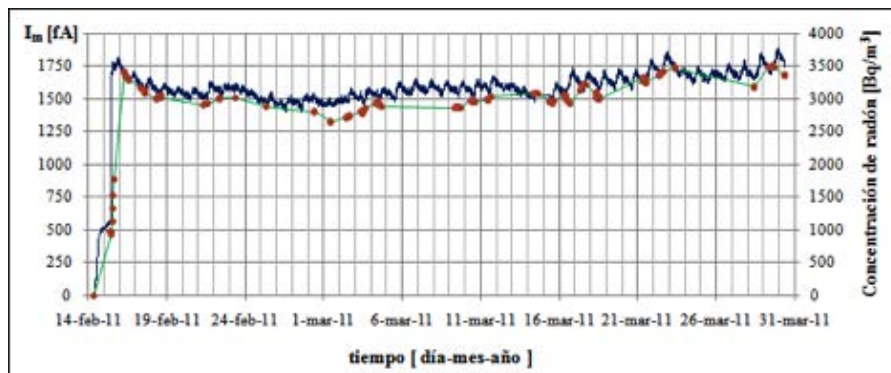


Figura 4 Evolución de la corriente del sistema y de la concentración de radón luego de introducir las piedras con uranio.

La Figura 5 muestra la evolución de la corriente medida como consecuencia de la disminución de la concentración (piedras retiradas y evacuación del aire de la caja de guantes). Previamente se había llevado el sistema a saturación (algo más de 4000 fA) incrementado la cantidad de piedras.

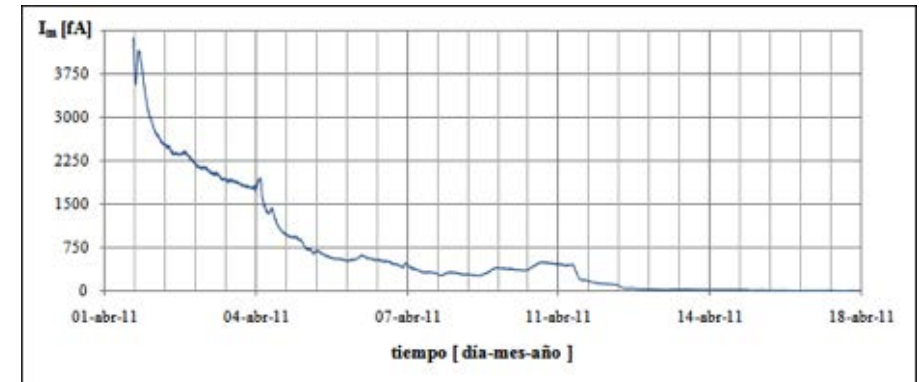


Figura 5 Evolución de la corriente medida luego de guardar las piedras con uranio y durante la evacuación del aire del interior de la caja de guantes.

La Figura 6 presenta la corriente propia del sistema (concentración de radón despreciable) a lo largo de 55 horas de medición.

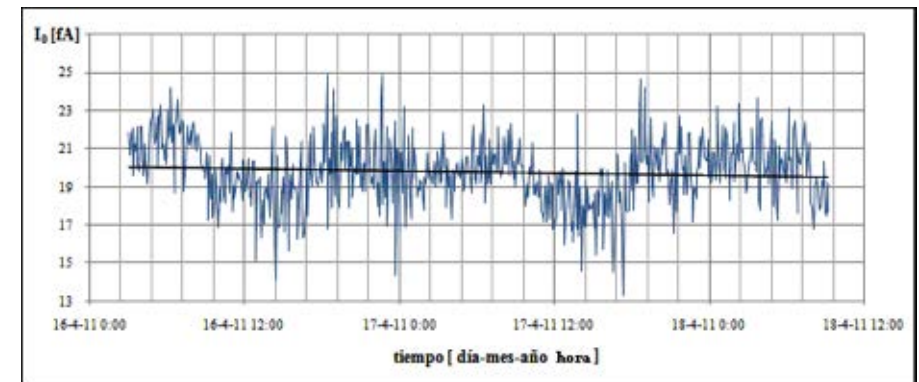


Figura 6 Evolución de la corriente para determinar la corriente propia final.

Del promedio de los valores de la Figura 6 resultó una corriente propia final del sistema de  $(20 \pm 2)$  fA.

La Figura 7 muestra en función del tiempo las 25 determinaciones independientes de sensibilidad  $S_i$  calculados en distintos momentos de la experiencia.

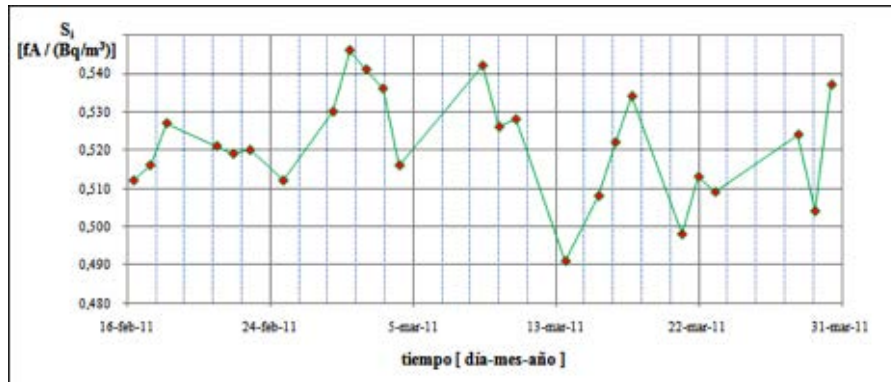


Figura 7 Conjunto de determinaciones independientes de sensibilidad hallados a lo largo de la medición con radón.

El valor de sensibilidad de la cámara, obtenido a partir de las determinaciones de las Figuras 7 fue:

$$S = (0.52 \pm 0.02) \text{ fA / (Bq/m}^3\text{)}$$

## DISCUSIÓN

Comparando los valores de corriente propia inicial y final obtenidos, se puede ver que no hay diferencia significativa entre ambos. Este resultado es importante ya que muestra que, al menos en estas condiciones de medición, el sistema no presentó una deriva en su respuesta propia. Por otro lado, teniendo en cuenta las dispersiones obtenidas en las corrientes propias (2 y 3 fA) y la sensibilidad del sistema, se puede afirmar que en estas condiciones de laboratorio y niveles de corriente es posible medir en forma significativa concentraciones y/o variaciones superiores a 10 Bq/m<sup>3</sup> (variaciones de corriente superiores a 5 fA).

Con la sensibilidad hallada y teniendo en cuenta la concentración mínima de radón en la cueva donde se instalará el sistema (aproximadamente 200 Bq/m<sup>3</sup>), la corriente de la cámara asociada al gas será algo superior a 100 fA, lo cual es un orden de magnitud más que la corriente propia determinada en este ensayo. Sin embargo hay que tener en cuenta que para validar el sistema para la aplicación buscada, será

necesario realizar mediciones en la cueva cercana al volcán. Estas mediciones permitirán estudiar su comportamiento en condiciones reales de operación (humedad y variación de la temperatura) y evaluar la influencia de dichas condiciones en la corriente total. Por otro lado con el valor de sensibilidad hallado y la corriente máxima de rango de la etapa electrométrica (4 pA), se puede determinar el límite superior de la concentración de radón que se puede medir sin que el equipo sature. Dicho valor es de 7700 Bq/m<sup>3</sup>. Este valor es en principio mucho mayor que la concentración máxima esperable en condiciones cercanas a una erupción (entre 5 y 10 veces la concentración mínima). De todas formas, si por alguna razón la concentración de radón en la cueva superara el valor máximo, el sistema, si bien estaría saturado, daría la indicación de muy alta concentración de radón y seguiría cumpliendo su objetivo de predecir erupciones aunque con la limitación de no poder seguir la evolución de la concentración. Con relación al error relativo de la sensibilidad, basado en el cálculo de dispersión, se obtuvo un valor de 4%, mucho menor que el error de calibración del instrumento especificado en 20%.

En la Figura 4 se observa un comportamiento de la evolución de la corriente con un patrón tipo diente de sierra. Tal como se puede ver, cada ciclo posee un período de 1 día y está asociado a la variación de la temperatura con calentamiento durante el día y enfriamiento durante la noche. De todas formas, el procesamiento estadístico implementado para el cálculo de sensibilidad, permitió independizarse de estas variaciones.

Para llevar a cabo la etapa de validación con mediciones en la cueva, una próxima etapa del programa prevé instalar el sistema en la mencionada cueva, adquiriendo datos off-line en época invernal. Su posterior análisis permitirá conocer el grado de perturbación de la señal debido al funcionamiento en las condiciones ambientales reales. A tal efecto se está trabajando para incorporar al sistema un módulo adquirente de señales analógicas marca HYTEK modelo iUSBDAQ-U1208LOG, que guardará en memoria, durante el período invernal, los datos de la concentración de radón y la temperatura ambiental interior de la cueva.

Finalmente, en la última etapa del desarrollo, se pretende incluir una electrónica adicional que permita enviar los datos adquiridos en forma remota y de esta forma, poder hacer un seguimiento continuo de la evolución del radón.

## CONCLUSIONES

- Se pudo determinar la sensibilidad del sistema.
- La corriente mínima del sistema en la cueva será de alrededor de 100 fA. Este valor es un orden de magnitud mayor que la corriente propia del sistema en las condiciones de laboratorio utilizadas para la determinación de la sensibilidad.
- Las corrientes propias del sistema no poseen diferencia significativa entre la condición inicial y final.
- El mínimo nivel de variación de concentración de radón que puede medir el sistema en forma significativa es del orden de 10 Bq/m<sup>3</sup>.
- El máximo nivel de concentración de radón que el sistema es capaz de medir sin saturar es cercano a 8000 Bq/m<sup>3</sup>.
- Es necesario realizar mediciones en las condiciones ambientales reales de la cueva para poder validar el sistema.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Bioq. Analía Canoba y al Ing. Juan Pablo Bonetto de la ARN por su asesoramiento sobre los conceptos utilizados en el diseño del sistema experimental como así también por el préstamo del monitor de radón utilizado como patrón.

Asimismo desean agradecer a la Ing. Ana Castellanos, al Ing. Pablo Sagarna y al Oficial de Radioprotección Hernán Blanco Bello, de la Unidad de Seguridad del CAE (CNEA), por la mediciones realizadas en el exterior de la caja de guantes tendientes a verificar la estanqueidad de la misma y a evaluar los aspectos relacionados con la radioprotección del personal.

Finalmente quieren agradecer a los técnicos Claudio Sambarino y Hernán Rodríguez por su valiosa colaboración en aspectos constructivos de la caja de guantes.

## REFERENCIAS

- [1] M. Miller, J. Villanueva, 2010. Sistema para determinación de radón en tiempo real, e-ices 6, Malargüe, Argentina.
- [2] CNEA-PRAMU, 2010. Mediciones de gas radón en volcán Peteroa, IN-SNA/Pramu- M-025, Malargüe, Argentina.



# Evaluación de la calidad del aire a través de la composición multielemental del líquen *Parmotrema Austrosinense* transplantado a la zona minera del oeste de Catamarca (Argentina)

## RESUMEN

Los líquenes resultan muy apropiados como indicadores biológicos para el monitoreo de calidad ambiental, y son utilizados para estudios regionales de deposición atmosférica de metales pesados y elementos traza. En este trabajo se analiza la composición multielemental de *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale transplantada a cuatro sitios dentro de la zona minera del oeste de Catamarca (cerca de la ciudad de Andalgalá, localidades de Hualfín, Amanao y mina Bajo la Alumbra). Con ello se pretende contribuir al estudio de la calidad de aire en un área potencialmente afectable por fenómenos de contaminación. Los contenidos de As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Gd, Hf, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb y Zn se analizaron mediante Análisis por Activación Neutrónica Instrumental (INAA); y para cada elemento se calculó un Índice de Carga (I.C.) que da cuenta del enriquecimiento de las muestras transplantadas respecto de la muestra basal.

Los I.C. calculados para Nd y Zn resultaron con valores elevados en todos los sitios de muestreo, mientras que la mayoría de los elementos mostraron un enriquecimiento en áreas más restringidas, con características geoquímicas particulares. Los talos transplantados a Alumbra y Amanao mostraron enriquecimiento para un mayor número de elementos. Dado que es ampliamente aceptado que las concentraciones de metales y elementos traza en líquenes reflejan sus niveles atmosféricos, a partir

C.B. Mohaded Aybar (1),  
R.C. Jasan (2),  
A.I. Ocampo (1),  
R.G. Moyano (1),

R.J. Coronel (1),  
R.R. Plá (2),  
M.S. Cañas(1).

1- Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. Maximio Victoria N° 55. (4700) S.F.V. de Catamarca, Argentina.

2- Técnicas Analíticas Nucleares (CAE), Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Del Libertador N° 8250. (1429) Buenos Aires, Argentina.

[marthacanas@tecno.unca.edu.ar](mailto:marthacanas@tecno.unca.edu.ar)

de estos resultados puede inferirse que existe una variación espacial de la calidad de aire en la zona de estudio, con mayores niveles atmosféricos multielementales en el área de la mina y en la localidad de Amanao situada al sur de la misma.

## INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades productivas primarias que más impactan en la calidad de aire de una región [1, 2]. Esto se debe al proceso de extracción propiamente dicho, como a la trituración, molienda y depósito de estériles, entre otras actividades asociadas. Desde hace poco más de una década la explotación de las riquezas mineras de Catamarca se ha convertido en el principal recurso económico de la provincia, dadas las cuantiosas inversiones realizadas en este rubro. Esta actividad se concentra principalmente en el oeste provincial, con prevalencia de extracción de minerales metalíferos. En esta región, dentro del distrito Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD), se encuentra emplazada uno de los proyectos mineros a cielo abierto de mayor envergadura en el país y Sudamérica, correspondiente a un yacimiento tipo pórfido cuprífero (Cu-Au) incluido en el Complejo Volcánico Farallón Negro [3].

La extracción minera a cielo abierto en el oeste provincial produce, entre otros, una gran remoción de material rocoso, el cual puede dispersarse en un área más allá de

la mina propiamente dicha. Si bien existen sistemas automáticos de monitoreo continuo de material atmosférico particulado en el área del emprendimiento, la extensión de esta metodología a áreas potencialmente afectables por fenómenos de polución se hace dificultosa por motivos económicos y técnicos, debido a que para ello son necesarias mediciones simultáneas de varios contaminantes en un gran número de estaciones de muestreo.

Una alternativa a estos métodos tradicionales, con un bajo costo y una relativa rapidez respecto de su implementación y ejecución, la constituye el monitoreo de calidad de aire mediante líquenes, los cuales han sido propuesto como biomonitores tanto de acumulación como de respuesta [4]. El empleo de líquenes como biomonitores de acumulación se debe a su capacidad específica de absorber y/o retener diversos elementos desde la atmósfera, asociado a su longevidad y resistencia al estrés ambiental. El biomonitorio asume que la concentración de elementos traza en líquenes refleja las concentraciones promedio de material particulado en el aire y la deposición tanto húmeda como seca de polutantes durante un período determinado [5]. Más aún, el contenido de metales en ciertas especies líquénicas permite inferir la proporción de estos elementos en el ambiente [6].

Si bien en la actualidad el monitoreo líquénico está ampliamente difundido [7, 8, 9, 10], es escasa la información referida al empleo de líquenes como bioindicadores de calidad de aire en áreas mineras [1, 11]. En el presente trabajo se analiza la composición multielemental de *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale transplantada a cuatro sitios dentro de la zona minera del oeste de Catamarca, a los fines de contribuir al estudio de calidad de aire en un área potencialmente afectable por fenómenos de polución.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio está emplazada en la región oeste de la provincia de Catamarca, en el extremo norte del ambiente morfoestructural de las Sierras Pampeanas Noroccidentales [12]; caracterizadas por presentar estrechos valles y amplios bolsones alternando con bloques o cordones elevados que típicamente tienen muy tendida su falda oriental, siendo abrupta o escarpada la occidental. Geológicamente, están compuestas por un basamento Precámbrico de metamorfitas y granitos como ele-

mentos principales, depósitos Terciarios y Cuaternarios que se conservan mayormente en valles y bolsones y en las áreas proximales de los pie de monte, respectivamente. Presenta un clima árido cálido y vegetación propia de la provincia fitogeográfica del Monte (Dominio Chaqueño, Región Neotropical) [13]. Las precipitaciones son del orden de los 150 a 300 mm anuales, con una fuerte concentración estival. Los vientos más frecuentes son los del cuadrante NE. Dentro de esta área se seleccionaron cuatro sitios de muestreo: cercanías de la ciudad de Andalgalá, localidades de Hualfin, Amanao y mina Bajo la Alumbraera (Figura 1).

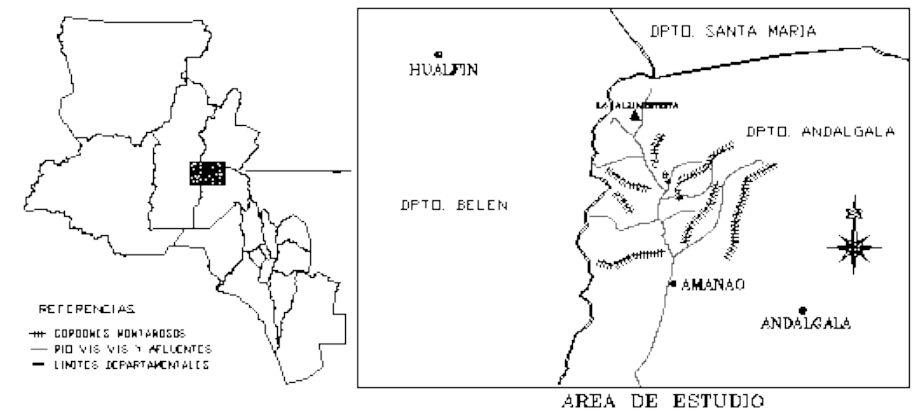


Figura 1. Ubicación del área de estudio y los sitios de muestreo en el oeste de Catamarca, Argentina: Alumbraera ( $27^{\circ} 19' \text{ LS}; 66^{\circ} 36' \text{ LW}$ ), Amanao ( $27^{\circ} 33' \text{ LS}; 66^{\circ} 31' \text{ LW}$ ), Andalgalá ( $27^{\circ} 34' \text{ LS}; 66^{\circ} 18' \text{ LW}$ ), Hualfin ( $27^{\circ} 13' \text{ LS}; 66^{\circ} 50' \text{ LW}$ ).

### Muestreo

En septiembre de 2006, se colectaron talos de la especie líquénica *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale en una zona con bajo nivel de antropización (cercanías de la localidad de Coneta, departamento Capayán). Los talos fueron acondicionados, dispuestos en bolsas de tul de nylon [14] y posteriormente transplantados a cada sitio de muestreo (3 bolsas líquénicas en cada sitio). Luego de 4 meses de exposición, las muestras fueron llevadas al laboratorio. El material líquénico fue triturado a fin de obtener homogeneidad, y conservado a  $-15^{\circ} \text{C}$  en oscuridad hasta el momento de su análisis. Parte del material fresco sin transplantar fue así mismo analizado, a fin de obtener una muestra basal para el estudio.

### Análisis multielemental

La composición elemental se analizó mediante Análisis por Activación Neutrónica Instrumental (INAA). Para ello, las muestras líquénicas fueron molidas mediante un molino criogénico Spex CentiPrep 6750, y liofilizadas por 24 horas. Muestras de alrededor de 300 mg de material liofilizado fueron pastilladas y envasadas para su posterior irradiación. Las muestras fueron irradiadas junto con los materiales de referencia certificados NIST SRM 1633b Coal Fly Ash y IAEA Lichen 336, durante 5 horas en el reactor RA-3 (flujo térmico  $3.10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 8 Mw), perteneciente al Centro Atómico Ezeiza (Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA). Se realizaron dos mediciones con tiempos de decaimiento de 7 y 30 días para la determinación de As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Gd, Hf, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb y Zn. Se utilizaron detectores de GeHP Ortec (30% de eficiencia, 1.9 keV de resolución para el pico de 1332.5 keV de  $^{60}\text{Co}$ ), un módulo buffer multicanal Ortec 919E y el software de adquisición de datos Gamma Vision. El cálculo de concentraciones se realizó a través de programas desarrollados en el Laboratorio de Técnicas Analíticas Nucleares (CNEA).

### Análisis estadísticos

Los datos obtenidos para los distintos elementos se analizaron mediante técnicas analíticas y gráficas. Cuando fue posible, se utilizaron test paramétricos basados en el supuesto de distribución normal. Para la comparación de medias entre sitios de transplante, los datos de concentración para la mayoría de los elementos se analizaron mediante análisis de la varianza (ANOVA). Para las comparaciones múltiples post-hoc se aplicó Test de Tukey o Test T2 de Tamhane, según el elemento considerado. Co, Sc, Ta y Zn se testearon mediante un análisis no paramétrico de la varianza (Test de Kruskal-Wallis). En las pruebas estadísticas se trabajó a un nivel de significación  $p < 0,05$ , excepto para el Test de Tamhane donde se consideró un  $p < 0,1$ .

Para la composición elemental de *P. austrosinense* transplantada a cada sitio de exposición, se calculó un Índice de Carga (I.C.) de acuerdo a la relación propuesta por otros autores [1, 15]:

$$\text{I.C.} = C_e / C_c$$

Donde  $C_e$  es la concentración promedio del elemento en las muestras líquénicas luego de la exposición, y  $C_c$  es la concentración promedio del elemento en el nivel basal o control (muestras líquénicas antes de la exposición).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se presentan los resultados obtenidos para los elementos químicos cuantificados en *P. austrosinense*, tanto en el nivel basal como en muestras transplantadas al área minera del oeste de Catamarca. En general, los valores de concentración detectados fueron del mismo orden de magnitud que aquéllos registrados en esta especie transplantada a un área del departamento Belén (Catamarca) durante el invierno del año 2005 [16]. Sólo los contenidos de Cr y Zn se vieron notablemente incrementados en el área minera respecto de los valores de Belén.

De los 26 elementos analizados, catorce mostraron diferencias significativas entre sitios de transplante, siendo las concentraciones de Ce, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Sc, Sm e Yb superiores en talos transplantados a Alumbra y Amanao. La concentración de As y U fue mayor en líquenes expuestos en esta última localidad, aunque el contenido de U lo fue también en Andalgalá.

Los elementos pueden ser acumulados por los líquenes de diferentes maneras: (1) depositados sobre la superficie del talo, (2) acumulados en los espacios intercelulares, (3) ligados a la pared celular y (4) acumulados intracelularmente [17]. Las concentraciones elementales, tal como se cuantifican en el presente trabajo, representan la suma de esas fracciones, y toda modificación en el contenido elemental de los talos transplantados puede considerarse como acumulación o pérdida respecto del nivel basal. A los fines de determinar la tasa de acumulación de los talos líquénicos en los distintos sitios de exposición, se calculó el Índice de Carga (I.C.), que da cuenta del grado de enriquecimiento de las muestras transplantadas respecto de la muestra basal. La interpretación de los I.C. se realiza según una escala de cinco clases, basada en la desviación de los I.C. respecto a la condición "normal", la cual se asume como  $\pm 25\%$  del índice igual a uno [15]. Como regla general, esta desviación debe considerar las fluctuaciones naturales en la concentración de elementos traza en el biomonitor [18].

Elem.	Basal	Sitios de trasplante (S.T.)				ANOVA entre S.T.
		Alumbrera	Amanao	Andalgalá	Hualfín	
As	1,48 ± 0,14	1,86 ± 0,11 ab	2,21 ± 0,06 b	1,86 ± 0,29 ab	1,73 ± 0,05 a	*
Ba	17,6 ± 1,86	26,4 ± 6,41	22,9 ± 1,28	22,2 ± 5,40	20,3 ± 1,63	n.s.
Br	4,59 ± 0,17	7,42 ± 1,63	7,27 ± 3,05	4,54 ± 1,03	3,90 ± 0,40	n.s.
Ce	4,56 ± 0,12	7,33 ± 0,71 c	6,72 ± 0,11 bc	4,92 ± 1,24 ab	4,81 ± 0,03 a	**
Co	0,54 ± 0,06	1,17 ± 0,46	0,73 ± 0,06	0,60 ± 0,11	0,66 ± 0,01	n.s.
Cr	30,0 ± 25,7	26,5 ± 11,2	37,6 ± 9,27	19,8 ± 11,4	22,8 ± 3,65	n.s.
Cs	0,49 ± 0,09	0,67 ± 0,02 bc	0,69 ± 0,02 c	0,56 ± 0,09 ab	0,55 ± 0,01 a	**
Eu	0,086 ± 0,007	0,133 ± 0,006 b	0,106 ± 0,004 a	0,083 ± 0,017 a	0,089 ± 0,006 a	***
Fe	1415 ± 198,5	2121 ± 123,5 b	1919 ± 86,14 b	1444 ± 199,6 a	1514 ± 9,271 a	***
Gd	0,43 ± 0,09	0,61 ± 0,09 b	0,43 ± 0,09 ab	0,50 ± 0,08 b	0,29 ± 0,03 a	**
Hf	0,18 ± 0,02	0,22 ± 0,01 bc	0,26 ± 0,01 c	0,16 ± 0,03 a	0,20 ± 0,03 ab	**
La	2,08 ± 0,07	3,08 ± 0,14 c	2,88 ± 0,08 bc	2,27 ± 0,32 a	2,45 ± 0,02 ab	**
Lu	0,024 ± 0,003	0,036 ± 0,001 c	0,036 ± 0,002 bc	0,029 ± 0,005 a	0,03 ± 0,002 ab	*
Na	529,7 ± 113,2	465,7 ± 72,15	536,9 ± 49,92	466,1 ± 39,46	451,9 ± 72,54	n.s.
Nd	2,07 ± 0,13	3,22 ± 0,67	3,74 ± 0,67	2,70 ± 0,16	3,65 ± 0,61	n.s.
Rb	7,60 ± 0,06	8,02 ± 0,78 b	7,78 ± 1,20 ab	5,76 ± 1,61 ab	5,17 ± 0,18 a	*
Sb	0,108 ± 0,008	0,229 ± 0,086	0,156 ± 0,014	0,237 ± 0,230	0,115 ± 0,004	n.s.
Sc	0,48 ± 0,04	0,73 ± 0,02 b	0,66 ± 0,03 b	0,50 ± 0,06 a	0,53 ± 0,01 a	***
Se	0,338 ± 0,032	0,360 ± 0,017	0,453 ± 0,087	0,338 ± 0,116	0,295 ± 0,004	n.s.
Sm	0,43 ± 0,01	0,72 ± 0,07 b	0,69 ± 0,01 b	0,53 ± 0,09 a	0,51 ± 0,01 a	**
Ta	0,058 ± 0,014	0,294 ± 0,381	0,078 ± 0,011	0,044 ± 0,017	0,053 ± 0,002	n.s.
Tb	0,06 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,06 ± 0,01	0,08 ± 0,01	n.s.
Th	0,54 ± 0,05	0,73 ± 0,03	0,77 ± 0,02	0,64 ± 0,15	0,68 ± 0,03	n.s.
U	0,20 ± 0,08	0,22 ± 0,07 a	0,40 ± 0,05 b	0,26 ± 0,09 ab	0,19 ± 0,01 a	*
Yb	0,156 ± 0,005	0,221 ± 0,028 b	0,218 ± 0,009 ab	0,164 ± 0,03 a	0,164 ± 0,008 a	*
Zn	20,80 ± 2,414	96,94 ± 20,21	45,98 ± 8,563	60,72 ± 61,65	31,54 ± 4,812	n.s.

Tabla I. Concentración elemental ( $\text{mg kg}^{-1}$  P.S.) en *P. austrosinense* transplantada a la zona minera del oeste de Catamarca y en la muestra basal ( $n = 3$  para cada condición). Resultados del ANOVA entre sitios de trasplante: diferencias significativas a \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; n.s., diferencias no significativas.

Sobre la base de observaciones previas [16] y de aquéllas realizadas en el presente estudio, para *P. austrosinense* en condiciones naturales la desviación propuesta se considera razonable, por lo cual se adopta la escala de cinco clases para la interpretación de los I.C.

Los elementos Cr, Na y Rb se encontraron en concentraciones normales ( $0,75 \leq \text{I.C.} \leq 1,25$ ) en todas las áreas de trasplante, aunque con una leve pérdida ( $0,25 \leq \text{I.C.} < 0,75$ ) de Rb en líquenes expuestos en Hualfín (Tabla II). Nd y Zn mostraron acumulación ( $1,25 < \text{I.C.} \leq 1,75$ ) en todos los sitios de trasplante. La acumulación de Nd en los talos fue severa ( $1,75 < \text{I.C.}$ ) en Amanao y Hualfín, mientras que para Zn lo fue en Alumbrera, Amanao y Andalgalá. Este último elemento es característico de los yacimientos hidrotermales como lo son Alumbrera y demás yacimientos del Complejo Volcánico Farallón Negro [19]. Otros elementos tuvieron un enriquecimiento en áreas más restringidas, como Eu y Gd cuyos valores de I.C. sólo resultaron elevados en Alumbrera, y Hf y Se que mostraron acumulación sólo en Amanao. El resto de los elementos analizados presentó algunos patrones específicos de acumulación. Así, Ba y Sb mostraron enriquecimiento en talos transplantados a Alumbrera, Amanao y Andalgalá; As, Br, Ce, Cs, Co, Fe, La, Lu, Sc, Sm, Ta y Yb en Alumbrera y Amanao; Th en estos dos sitios y en Hualfín; mientras que U en Amanao y Andalgalá.

A los fines de determinar el grado de correspondencia entre el enriquecimiento elemental del biomonitor y las características geoquímicas de las distintas áreas de trasplante, se consideraron los datos geoquímicos multielemento para sedimentos de corriente relevados por SEGEMAR [20]. De acuerdo a los mismos, el contenido de Zn es particularmente elevado en Andalgalá y sus alrededores, coincidiendo con los altos valores de I.C. obtenidos en talos expuestos en esta área. La acumulación de Eu y Sc en el biomonitor en Alumbrera y Amanao, respectivamente, parece así mismo, corresponderse con las características geoquímicas de las áreas de trasplante. Más aún, el enriquecimiento diferencial de algunos elementos como As, Br, Fe, Sb y U en las distintas áreas podría también explicarse en función de la geoquímica local.

No obstante, los elementos Fe y U parecen, además, estar sometidos a fenómenos de transporte, ya que muestran acumulación en áreas que no coinciden con una mayor abundancia geoquímica de los mismos, pero que pueden ser afectadas por fenómenos de dispersión eólica desde áreas más alejadas donde esos elementos se

encuentran en concentraciones mayores. Algo similar parece ocurrir con Co, Cs y Lu. De las áreas consideradas en este estudio, Alumbreira y Amanao presentaron enriquecimiento en un mayor número de elementos en el biomonitor, con acumulación severa de cuatro de ellos (Co, Sb, Ta, Zn) en Alumbreira y tres (Nd, U, Zn) en Amanao. Cabe aclarar que la denominación "severa" no hace referencia a la toxicidad de los distintos elementos sobre el líquen ni a comparación con estándares de calidad de aire, sino sólo a lo acentuada que resulta la acumulación de ciertos elementos en los talos transplantados a determinadas áreas.

El relativamente elevado enriquecimiento en Co, Sb y Zn observado en Alumbreira podría relacionarse a fenómenos locales de oxidación de la pirita tanto en estado natural (yacimientos propiamente dicho), como a partir de las colas generadas en la explotación minera. El Ta, por el contrario, es muy escaso en las áreas mineralizadas de Farallón Negro-Alumbreira, por lo que su acumulación en talos transplantados a esta área, podría indicar una procedencia desde áreas graníticas cercanas mediante fenómenos de dispersión física.

Elemento	Alumbreira	Amanao	Andalgalá	Hualfín
As	1,26	1,50	1,25	1,17
Ba	1,50	1,30	1,26	1,15
Br	1,62	1,60	0,99	0,85
Ce	1,60	1,47	1,08	1,05
Co	2,18	1,37	1,12	1,24
Cr	0,88	1,25	0,66	0,76
Cs	1,36	1,40	1,14	1,12
Eu	1,55	1,24	0,97	1,03
Fe	1,50	1,36	1,02	1,07
Gd	1,41	1,00	1,21	0,67
Hf	1,19	1,44	0,88	1,07
La	1,48	1,39	1,09	1,18
Lu	1,47	1,50	1,20	1,25
Na	0,88	1,01	0,88	0,85
Nd	1,55	1,80	1,30	1,76
Rb	1,06	1,02	0,76	0,68
Sb	2,12	1,44	2,19	1,06
Sc	1,53	1,38	1,04	1,22
Se	1,06	1,34	0,99	0,87
Sm	1,67	1,59	1,22	1,17
Ta	5,09	1,35	0,76	0,91
Tb	1,33	0,94	0,87	1,28
Th	1,36	1,43	1,19	1,27
U	1,13	2,00	1,30	0,96
Yb	1,42	1,40	1,05	1,05
Zn	4,66	2,21	2,92	1,52

Tabla II. Índice de Carga (I.C.) para los elementos analizados en *P. austrosinense* transplantada a la zona minera del oeste de Catamarca.

Con respecto a la acumulación elemental en Amanao, los valores relativamente elevados del I.C. para Nd y U se correspondieron así mismo con las características geoquímicas locales, debido a la existencia de un dominio granítico en la quebrada de Amanao donde se efectuó el transplante. Por su parte, la acumulación de Zn en esta área se explicaría por la presencia de altos contenidos de sulfatos solubles en los sedimentos de corriente, debido al aporte de varios cursos de agua procedentes de áreas fuertemente mineralizadas aunque sin explotar.

Los talos expuestos en Andalgalá mostraron I.C. elevados para 5 elementos, con acumulación severa de Sb y Zn. La procedencia de ambos elementos en esta área sería similar a lo mencionado para talos transplantados a Alumbreira y Amanao, respectivamente; aunque los elevados valores geoquímicos naturales en los sedimentos de corriente en Andalgalá provendrían de la dispersión producida por el río del Candado, procedente de yacimientos tipo pórfidos cupríferos también sin explotar. No se descarta que el Zn en esta área posea un origen antrópico, además del natural, ya que este elemento se encuentra presente en ciertos agroquímicos empleados en las fumigaciones de frutales, muy abundantes en las cercanías de la ciudad de Andalgalá.

En Hualfín, se obtuvieron valores de I.C. elevados para 4 elementos, con acumulación severa de Nd. Dado que en esta área se encuentra actividad hidrotermal carbonática reciente, anómala en varias tierras raras, la exclusiva acumulación de Nd en talos transplantados a Hualfín parecería indicar una acumulación selectiva de este elemento en *P. austrosinense*. En trabajos previos [16, 21], se ha sugerido un comportamiento similar de esta especie respecto a los elementos Ta y Zn. Por tal motivo, es probable que los valores de I.C. obtenidos en el presente trabajo estén determinados tanto por las características geoquímicas de las áreas de transplante como por mecanismos fisiológicos propios de esta especie líquénica.

## CONCLUSIONES

Dado que el contenido elemental en líquenes refleja sus niveles atmosféricos, a partir del empleo de *P. austrosinense* como biomonitora se infiere que existe una variación espacial de la calidad de aire en la zona de estudio. La misma estaría determinada por las características geoquímicas locales de los sitios de transplante, así como por fenómenos regionales de meteorización moderada y transporte que aportarían material particulado a la atmósfera.



El enriquecimiento elemental de los talos estimado a través del I.C., permite determinar mayores niveles atmosféricos multielementales en el área de la mina y en la localidad de Amanao situada al sur de la misma. Si bien mediante meteorización tanto de las rocas mineralizadas como de las no afectadas, se liberan elementos naturalmente al ciclo exógeno, estos resultados podrían indicar que la actividad minera en el área de estudio estaría acelerando este proceso.

Dado que en *P. austrosinense*, los contenidos multielementales reflejaron las características geoquímicas de la región y su dinámica, se considera que esta especie es adecuada para detectar modificaciones de la calidad de aire, que pudieran producirse debido a factores naturales o antropogénicos. En tal sentido, los resultados del presente trabajo contribuyen al establecimiento de líneas de base de calidad ambiental para una región en proceso de explotación de sus recursos naturales.

Si bien *P. austrosinense* permitió determinar por primera vez la disponibilidad atmosférica de los distintos elementos en el área de estudio, será necesario indagar respecto a un posible comportamiento biogeoquímico selectivo de esta especie. Ello permitirá una mejor interpretación de los resultados obtenidos en estudios de calidad de aire empleando esta especie como biomonitora.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer al Dr. Eduardo H. Peralta por su inestimable aporte en la interpretación biogeoquímica de los resultados obtenidos en este estudio.

## REFERENCIAS

- [1] L. K. Boamponsem, J. I. Adam, S. B. Dampre, B. J. B. Nyarko and D. K. Essumang, 2010. Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold mining area of Ghana using epiphytic lichens, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 268, 1492- 1501.
- [2] J. Moretton, H. Guaschino, C. Amicone, V. Beletzky, M. Sánchez, V. Santoro and B. Noto, 1996. Contaminación del aire en Argentina: aspectos generales, legislación y situación en Capital Federal y provincia de Buenos Aires, Ediciones Universo, Buenos Aires.
- [3] A. A. Gutierrez, D. G. Chong and R. S. Espinoza, 2006. Niveles de exposición de yacimientos del distrito minero Agua de Dionisio (YMAD), Catamarca, Asociación Geológica Argentina, 61(2) , 269-278.
- [4] U. Arndt, F. Flores, and L. Weinstein, 1995. Efeitos do flúor sobre as plantas: Diagnose de danos na vegetação do Brasil, Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- [5] E. Steinnes, 1989. Biomonitoring of air pollution by heavy metals. En: *Control and Fate of Atmospheric Trace Metals*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 321-338.
- [6] M. L. Pignata, R. R. Plá, R. C. Jasan, M. S. Martínez, J. H. Rodríguez, E. D. Wannaz, G. L. Gudiño, H. A. Carreras and C. M. González, 2007. Distribution of atmospheric trace elements and assesment of air quality in Argentina employing the lichen, *Ramalina celastri*, as an passive biomonitor: detection of air pollution emission sources, *Internacional Journal of Environment and Health*, 1(1), 29-46.
- [7] E. Loppi, L. Frati, 2006. Lichen diversity and lichen transplants as monitors of air pollution in a rural area of central Italy, *Environmental Monitoring and Assessment*, 114, 361-375.
- [8] H. A. Carreras, E. D. Wannaz and M. L. Pignata, 2009. Assessment of human health risk related to metals by the use of biomonitors in the province of Córdoba, Argentina, *Environmental Pollution*, 157, 117–122.
- [9] B. Koz, N. Celik and U. Cevik, 2010. Biomonitoring of heavy metals by epiphytic lichen species in Black Sea region of Turkey, *Ecological Indicators*, 10, 762–765.
- [10] S. Loppi, J. Nascimbene, 2010. Monitoring H2S air pollution caused by the industrial exploitation of geothermal energy: The pitfall of using lichens as bioindicators, *Environmental Pollution*, 158, 2635-2639.
- [11] J. Sondergaard, G. Asmund, P. Johansen, B. Elberling, 2010. Pb isotopes as tracers of mining-related Pb in lichens, seaweed and mussels near a former Pb-Zn mine in West Greenland, *Environmental Pollution*, 158, 1319–1326
- [12] R. Caminos, 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales: Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan, Segundo Simposio de Geología Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 1, 225-291.
- [13] M. C. Morlans, 1995. Regiones naturales de Catamarca: Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas, *Revista de Ciencia y Técnica UNCa*, 2 (2), 1-42.
- [14] C. M. González and M.L. Pignata, 1994. The influence of air pollution on soluble proteins, chlorophyll degradation, MDA, sulphur and heavy metals in a transplanted lichen, *Chemistry and Ecology*, 9 (2), 105-113.

- [15] L. Frati, G. Brunialti and S. Loppi, 2005. Problems related to lichen transplants to monitor trace element deposition in repeated surveys: a case study from central Italy. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 52, 221-230.
- [16] L. I. Palomeque, 2008. Evaluación de la calidad del aire en el centro-oeste catamarqueño (Belén) mediante el empleo de líquenes como biomonitores, Tesis de Maestría en Conservación y Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Catamarca.
- [17] D. H. Brown, 1987. The location of mineral elements in lichens: Implications for metabolism. *Bibliotheca Lichenologica*, 25, 361-375.
- [18] S. Loppi, P. Giordani, G. Brunialti, D. Isocrono and R. Piervittori, 2002. Identifying deviations from naturality of lichen diversity for bioindication purposes, in P. L. Nimis, C. Scheidegger and P. Wolseley (eds.), *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*, Kluwer/NATO Science Series, Dordrecht, pp. 281–284.
- [19] A. A. Gutiérrez, D. Chong and R. S. Espinoza, 2006. Niveles de exposición de yacimientos del Distrito Minero Agua de Dionisio (YMAD), Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61 (2), 269-278.
- [20] L. Ferpozzi, A. Turel, D. Vargas, H. Valladares, A. Jara, D. Siehankiewicz and A. Casa, 2002. Datos Geoquímicos Multielemento y Ubicación de Sitios de Muestreo de Sedimentos de Corriente del Plan NOA I Geológico- Minero. Hoja 2766-III Belén, Provincia de Catamarca, República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas. *Geoquímica*, 88. SEGEMAR, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- [21] R.C. Jasan, C.B. Mohaded Aybar, A.I. Ocampo, L.I. Palomeque and M.S. Cañas, 2011. Elemental composition analysis in lichens transplanted to the western region of Catamarca (Argentina), *Internacional Journal of Environment and Health*. Aceptado para su publicación.

# Análisis de Simulaciones Numéricas para el Procesamiento de Señales de un Radar de Aplicaciones Geofísicas

## RESUMEN

En este trabajo se describen soluciones numéricas implementadas para lograr una eficiente detección del eco de un sondador ionosférico. Un sondador es un radar de alta frecuencia para aplicaciones geofísicas. Este sistema mide la altura virtual de las diferentes regiones de la ionosfera mediante el denominado sondaje vertical.

En los últimos años el estudio de la ionósfera cobró renovado interés debido a la influencia de ésta en las telecomunicaciones transionosféricas y el posicionamiento preciso. Uno de los métodos de estudio de este medio físico se realiza mediante el análisis de ionogramas, donde la altura virtual es representada en función de la frecuencia de sondaje.

Los sondadores actuales utilizan codificación binaria y modulación bifásica de portadora para producir lo que se denomina "compresión de impulso", a fin de emitir baja potencia de radio y lograr valores aceptables de relación señal ruido (SNR) en la señal receptionada. Esta técnica de esparcimiento de frecuencia permite obtener resoluciones de rango equivalentes a los sistemas pulsados de altas potencias.

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos a partir de simular el procesamiento digital de señales reales utilizando algoritmos eficientes con un costo computacional de a lo sumo  $O(n^3)$ . Para ello se implementaron diferentes etapas en la detección del eco para distintos casos de señales ruidosas. Las señales usadas fue-

María G. Molina (1,2,3),  
Miguel A. Cabrera (2,3,4),

Rodolfo G. Ezquer (3, 4, 5),  
Enrico Zuccheretti (6).

1- Dpto. de Ciencias de la Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET), Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Tucumán, Argentina.

2- Laboratorio de Telecomunicaciones, Dpto. de Electrónica Electricidad y Computación, FACET, UNT, Tucumán, Argentina.

3- Laboratorio de Ionósfera, Dpto. de Física, FACET, UNT, Tucumán, Argentina.

4- Centro de Investigación sobre Atmósfera Superior y Radiopropagación, Facultad Regional Tucumán. Universidad Tecnológica Nacional, Tucumán, Argentina.

5- CONICET, Av. Rivadavia 1917, CABA, Argentina.

6- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Rome, Italy.

[gmolina@herrera.unt.edu.ar](mailto:gmolina@herrera.unt.edu.ar)

ron obtenidas mediante el Advanced Inospheric Sounder (AIS) de la estación ionosférica de Roma. Estos resultados preliminares serán complementados con el estudio de otros casos de señales bajo diferentes condiciones geofísicas.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se propone analizar los resultados de las simulaciones numéricas que modelan las diferentes etapas para la detección de ecos débiles en radares de aplicaciones geofísicas. La implementación se realizó en base a un esquema de detección de acuerdo a las características físicas del blanco y a criterios de diseño del radar.

Un sondador ionosférico es un radar en banda de HF cuyo objetivo es el estudio de las regiones ionosféricas a través de la emisión y recepción sincrónica de ondas de radio.

Mediante una de las técnicas utilizadas, denominada sondaje vertical, el sondador transmite pulsos hacia la ionósfera y receptiona ecos provenientes de diferentes reflexiones. Si el sistema es capaz de detectar el eco y con ello estimar el tiempo de retardo que sufrió la señal, entonces es posible estimar la altura virtual a la cual se produjo la reflexión. Una vez receptionada la señal en el instrumento comienza el procesamiento de la señal. El proceso de detección involucra diferentes acciones tales como muestreo, correlación, integración coherente y determinación de un umbral para la detección final [1].

Los datos utilizados en el esquema de detección propuesto pertenecen a sondajes obtenidos en el observatorio ionosférico de Roma del Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). El experimento fue realizado para una frecuencia fija de 3.5 MHz.

La implementación del esquema de detección se realizó en Matlab© utilizando algoritmos propios. Los resultados preliminares muestran que es posible lograr una detección positiva en un gran número de casos. Sin embargo para lograr más generalidad del método propuesto es necesario, en una etapa posterior, analizar un número mayor de casos.

### **TÉCNICA DE COMPRESIÓN DE PULSO**

La detección de ecos de radar involucra numerosas etapas que dependen fundamentalmente del tipo de radar y el blanco del que se trate. En este caso, se trata de un radar HF cuyo objetivo es obtener la altura virtual de la ionósfera lo que condiciona la elección de las etapas en la detección. Este radar trabaja mediante el denominado sondaje vertical donde un pulso es transmitido hacia la ionósfera, reflejado en ella y una vez recepcionado en el equipo es procesado para estimar el tiempo de viaje de la señal. Esta referencia temporal permite estimar la altura virtual de reflexión de la señal de radio emitida en algún estrato ionosférico, lo cual sucede cuando la frecuencia de la señal sea igual a la del plasma ionosférico [2].

La ionósfera como blanco posee características especiales que permiten utilizar determinadas técnicas de detección. Tradicionalmente se utilizaba la técnica de repetición de pulsos y detección por envolvente. El objetivo era poder detectar la presencia del blanco en una señal inmersa en ruido mediante la emisión de señales de radio de alta potencia (Jursa, 1985, entre otros). Uno de los grandes inconvenientes de esta técnica es que la generación de ondas de radio de alta potencia requiere de equipos costosos. Actualmente, se utiliza la técnica de esparcimiento de frecuencia cuyo principio se basa en generar pulsos largos codificados que permitan emitir señales de baja potencia pero que logren resultados similares a la técnica de detección por envolvente. De este modo, la técnica de esparcimiento de espectro permite mejorar la resolución de rango emitiendo bajas potencias [3] [4] [6].

Es posible demostrar que para un ancho de banda definido, si aumenta la densidad de energía espectral en las señales transmitidas, mejora la relación señal a ruido (SNR) en

las señales recibidas, ya que mas energía es reflejada por el objetivo [6]. Esto se puede lograr mediante la "compresión de pulso", codificando la señal portadora.

Existen numerosos esquemas de codificación de señales, en este caso la codificación utilizada es la denominada codificación bifásica. El tipo de codificación y el esquema utilizado influyen directamente en la performance de la técnica de detección de ecos débiles. Encontrar el esquema de codificación adecuado requiere de un estudio comparativo de los diferentes códigos [7] [8]. El problema subyacente en la elección del código es el de encontrar un código suficientemente largo para aprovechar las ventajas de la compresión de pulso, pero que impida que dos pulsos consecutivos se solapen produciendo la denominada ambigüedad (tiempo intrapulso). Teniendo esto en cuenta, el esquema de codificación seleccionado es el denominado código complementario de 16 bits.

Se codifican dos pulsos cada uno con una secuencia de código complementario [9] y se transmiten de manera intercalada. Una vez que ambas secuencias se transmitieron en forma completa se inicia la ventana de escucha en la antena del radar. La señal recepcionada es muestreada y el procesamiento digital de la misma inicia la etapa de detección propiamente dicha.

### **ESQUEMA DE DETECCIÓN DE ECOS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO**

Cada pulso recepcionado en la antena receptora del equipo es muestreado en dos canales I, Q. Por lo tanto, un sondaje completo produce en el momento de la recepción cuatro señales en tiempo discreto, un par de señales I y Q por cada secuencia de código complementario.

Una vez muestreadas las señales deben ser comparadas con el código local para establecer el retardo temporal sufrido y determinar a partir de éste cual es la altura a la cual se produjo la reflexión. Esta "comparación" se realiza mediante una herramienta matemática que permite estimar en que momento la coincidencia entre las dos señales es máxima. Esta herramienta se denomina correlación cruzada [10] [4]. Mediante la implementación numérica de la misma se obtuvo la función de correlación en función de los retardos sufridos por la señal.

Obtener un valor de correlación máximo para un determinado valor de tiempo ( $\tau$ ) implica encontrar el retardo temporal para el cual la señal receptionada coincide con el código local. Este valor representa la presencia del blanco y significa que se detectó el eco.

En un entorno ideal se obtiene una función de correlación con un pico distintivo que indica la presencia del blanco. La secuencias de código complementario de longitud  $N$  tiene la importante propiedad de que la suma de sus funciones de correlación es cero para todos los desplazamientos excepto para el desplazamiento cero donde tiene un valor de  $2N$  (Golay, 1961). En la Figura 1 se muestra la suma de las autocorrelaciones de I y Q.

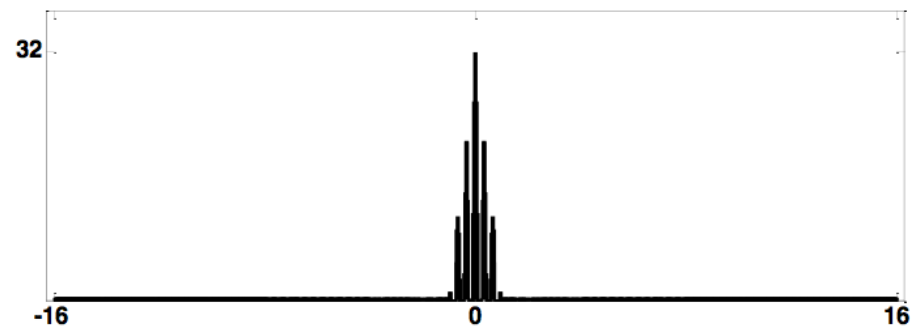


Figura 1. Suma de las funciones de autocorrelación de secuencias de código complementario de 16 bits.

Sin embargo en un ambiente real, las señales receptionadas no solo se encuentran retardadas en el tiempo, sino que además se encuentran atenuadas y afectadas por señales de interferencia. Por lo tanto, no siempre será posible observar claramente la presencia del blanco. Es necesario, entonces, contar con algún mecanismo para disminuir la interferencia mientras se incrementa el valor de la señal útil.

La ionósfera puede ser considerada cuasi estacionaria por un período corto de tiempo de aproximadamente 5 minutos [2]. Esta característica permite tratarla como un blanco fijo por ese tiempo y por lo tanto se puede hacer uso de la denominada integración coherente. El objetivo es "sumar" o integrar varios pulsos de modo que las señales que se encuentren en fase se sumaran positivamente y aquellas señales que

no tenderán a anularse. Mientras el blanco se encuentre fijo, el eco permanecerá en fase incrementando su amplitud mientras que el ruido presente en la señal tenderá a suprimirse debido a su característica de aleatoriedad.

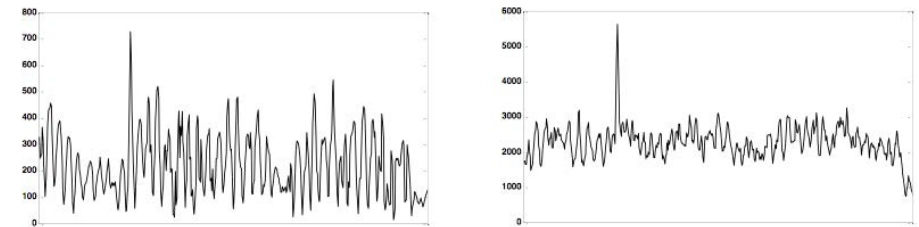


Figura 2a. Suma de correlaciones de un único pulso. Figura 2b. Resultado obtenido al cabo de integrar 10 pulsos.

La figura 2a muestra la suma de las correlaciones de I y Q con el código local para un solo pulso donde el pico de correlación máxima no es claramente distinguible. Integrando 10 pulsos (Figura 2 b) se logró determinar de manera más clara la presencia de un eco.

Determinar el número máximo de sumas a realizar depende del tiempo durante el cual el blanco permanezca estacionario y es un valor eminentemente empírico (Anexo).

Una vez realizada la integración coherente, aún es necesario determinar si el blanco está presente o no. Esto lleva a un problema de decisión denominado thresholding [3] [11].

Debido a que las señales involucradas derivan de procesos estocásticos es posible tratarlas estadísticamente. Para ello es necesario definir:

- Probabilidad de falsa alarma ( $P_{fa}$ ): es la probabilidad de que el sistema detecte un blanco que no es tal.
- Probabilidad de detección ( $P_d$ ): es la probabilidad de que el sistema detecte un blanco correctamente.

Teniendo en cuenta estas dos definiciones lo deseable es que la probabilidad de detección sea lo mayor posible mientras que la probabilidad de falsa alarma sea mínima.



Se puede demostrar que estos dos valores de probabilidad están relacionados proporcionalmente, de manera que si la probabilidad de detección aumenta la probabilidad de falsa alarma también lo hace [11] [3].

Se debe establecer un compromiso entre estas dos probabilidades. El objetivo es maximizar el valor de la probabilidad de detección de modo que la probabilidad de falsa alarma no exceda un valor tolerable  $\alpha$ . Se mostró en numerosos trabajos que lo más adecuado en este caso es tener un valor constante de  $P_{fa} = \alpha$ . Una vez determinado este valor se puede establecer un umbral ( $V_t$ ) de modo que si un valor determinado excede el valor del umbral, el blanco es declarado. Para determinar el valor  $V_t$  variable adecuado a cada caso es necesario tener conocimiento de las estadísticas tanto de la señal como del ruido. En la práctica, y de acuerdo al diseño del radar ionosférico que aquí se trata, la señal recepcionada se puede modelar con una distribución gaussiana con media cero y luego de ser convertida a frecuencia intermedia (FI) la señal presenta una distribución de Rayleigh [3] [12]. Usando esta información estadística se puede encontrar una manera de estimar el valor del umbral para un dado valor de probabilidad de falsa alarma.

La pregunta subyacente a la hora del diseño es, qué valor de  $P_{fa}$  es aceptable. Una manera de contestar esta pregunta es mediante el tiempo deseado entre falsas alarmas. Si se tiene en cuenta que el tiempo máximo que se puede suponer que la ionósfera se encuentra estacionaria es de 5 minutos, es posible tomar este valor como el tiempo deseable entre falsas alarmas ( $T_{fa}$ ). Luego, la Pfa puede ser calculada como:

$$(1) \quad P_{fa} = \frac{1}{T_{fa} B_{if}}$$

Donde  $T_{fa} = 5$  y el ancho de banda de la señal en frecuencia intermedia es  $B_{if} = 60$  kHz para el caso del AIS [13]. Y a partir de la Ecuación 1 el valor de  $P_{fa}$  es  $5.5 \times 10^{-8}$ . Si el tiempo entre falsas alarmas puede ser calculado como:

$$(2) \quad T_{fa} = \frac{1}{B_{if}} \exp\left(\frac{V_t^2}{2\psi_0}\right) \quad [s]$$

Donde  $V_t$  es el valor del umbral y  $\psi_0$  es la variancia del ruido. A partir de la Ec. (2) el valor del umbral puede ser calculado como:

$$(3) \quad V_t = \sqrt{2 \ln(T_{fa} B_{if})} \sigma \quad [V]$$

Donde  $\sigma$  es la desviación estandar.

Si se aplica esta ecuación para los valores de tiempo de falsa alarma supuestos en nuestro caso, entonces:

$$(4) \quad V_t = 5.78 \sigma \quad [V]$$

Luego de realizar este análisis, el único parámetro que queda por ser estimado es la desviación estándar que dependerá de cada señal tratada.

De forma sintética se puede resumir el esquema de detección de la siguiente manera:

**Para cada pulso:**

- Muestreo I, Q primera secuencia de código complementario.
- Muestreo I, Q segunda secuencia de código complementario.
- Correlación de cada canal con el código local de la secuencia correspondiente
- Determinar la amplitud del eco
- Integrar coherentemente
- Realizar el cálculo del umbral

**Para cada muestra:**

- determinar si excede el umbral y en tal caso, estimar la altura virtual.

**DATOS Y RESULTADOS**

Los datos utilizados para probar la implementación numérica del esquema de detección propuesto se obtuvieron de muestras reales de ecos del AIS que opera en el observatorio ionosférico de Roma del INGV [13]. Los sondeos se realizaron a una frecuencia fija de 3.5 MHz.

Fecha y Hora (UT)	Primer Eco (dB)	Segundo Eco (dB)
12:05	11.5	
12:20	11	11
12:35	10	
12:50	12	
13:05	ND	
13:20	10	
13:35	10	
13:50	ND	
14:05	ND	
14:20	10.5	
14:35	10	9.5
14:50	ND	
15:05	10	
15:20	10	
15:35	10	9
15:50	9	9

Tabla I. Cálculo SNR de los ecos detectados para sondajes realizados el día 16 de Octubre de 2008 en el observatorio ionosférico de Roma (INGV). Los sondajes se realizaron entre las 12:05 y las 15:50 hs. Los cálculos se realizaron utilizando 10 iteraciones.

Se estudiaron numerosos casos y en todos ellos se calculó la relación señal ruido (SNR) de los ecos detectados para tener una referencia cuantitativa y cualitativa de la bondad de las simulaciones realizadas. En la Tabla 1 se muestran los valores de SNR para cada eco utilizando el esquema propuesto.

Cada vez que se realiza un sondaje pueden ocurrir los siguientes casos:

- No detecta el blanco (ND)
- Detecta un solo eco (una única reflexión)
- Detecta dos ecos (reflexiones múltiples)

En la Tabla I se pueden ver 4 casos de reflexiones múltiples que pueden ser debidas a ecos dobles o a la detección de dos estratos ionosféricos. Un eco es doble cuando la energía que retorna al equipo es lo suficientemente elevada como para ser reflejada en la superficie terrestre y remitida nuevamente hacia la ionósfera. Posteriormente esta misma señal es retornada hacia el equipo y el mismo detecta nuevamente un

eco, en estos casos el tiempo del segundo retorno es aproximadamente el doble que el del primer eco (se lo observa en el ionograma al doble de altura).

Si por el contrario el segundo eco representa la presencia de una segunda capa ionosférica ocurre que parte de la energía transmitida es reflejada hacia el equipo (primer eco) y parte de la misma penetra una capa semitransparente hasta ser reflejada en otra capa a mayor altitud (segundo eco).

En la misma tabla se muestran 4 casos donde el sistema no puede realizar una detección efectiva. Esta situación puede deberse a varios problemas como la cantidad de pulsos usados en la integración, alguna interferencia local mayor que afecte el sondaje o condiciones turbulentas en la ionósfera como el denominado Spread F [2][14].

En el resto de los casos la detección es positiva con valores de SNR que permiten determinar efectivamente la presencia del blanco.

Se analizaron además los ionogramas asociados a cada sondaje para determinar si las aproximaciones numéricas modelan correctamente la situación. En la Figura 3a se muestra la solución numérica y en la Figura 3b el ionograma correspondiente. Un ionograma es la representación de la altura virtual de la ionósfera en función de la frecuencia.

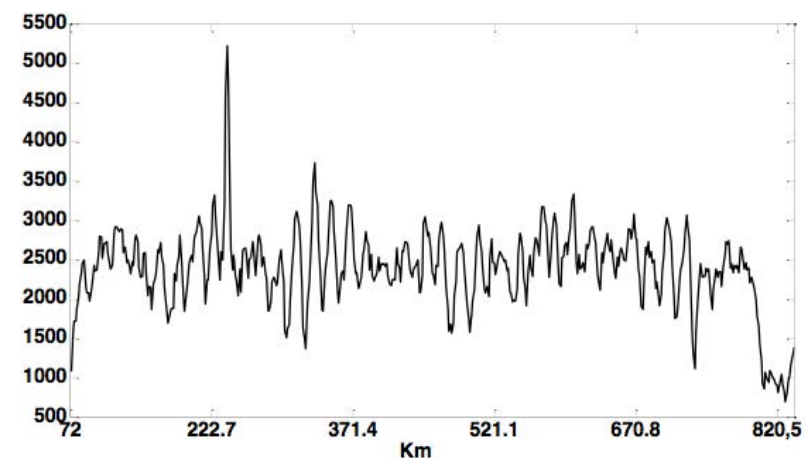


Figura 3 a. Estimación de la altura virtual utilizando las simulaciones numéricas para el día 16 de Octubre de 2008, 13:20 hs.

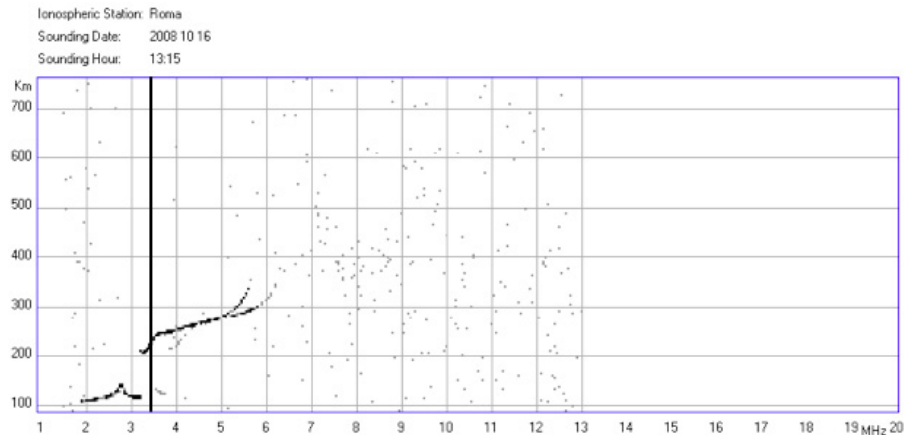


Figura 3 b. Ionograma correspondiente a la Figura 1 a.

Tanto las simulaciones numéricas como el ionograma muestran un único eco alrededor de los 230 Km que representan la altura virtual de la ionósfera.

El esquema de detección propuesto fue implementado en Matlab© mediante algoritmos propios de complejidad computacional de  $O(n^3)$ .

## CONCLUSIONES

En este trabajo se analizaron numerosas muestras para evaluar la bondad del esquema de detección propuesto para detectar ecos débiles en señales de radares de aplicaciones geofísicas. Dicho esquema fue implementado en Matlab© utilizando algoritmos propios con una complejidad computacional de  $O(n^3)$ .

Teniendo en cuenta las características de origen físico y las pautas de diseño del radar HF se establecieron una serie de etapas en el procesamiento digital de las señales en el dominio del tiempo.

La obtención de un umbral variable permite declarar la presencia del blanco de acuerdo a las características estocásticas de las señales involucradas. Analizando el caso del sondador ionosférico, se pudo establecer un criterio para calcular el umbral variable en cada sondaje. En cada caso, y para cada detección positiva, se calculó la relación señal a ruido del eco.

Los resultados mostraron que en un gran número de casos la detección es posible a pesar de los diferentes niveles de interferencia que existan, y la altura virtual puede ser estimada.

## REFERENCIAS

- [1] Skolnik, M. I., 1990. Radar Handbook, Mc. Graw-Hill /Ed.), USA.
- [2] Rishbeth, H. and Garriot O. K., 1969. Introduction to Ionospheric Physics, Academic Press, England.
- [3] Skolnik, M. I., 1980. Introduction to radar systems, Mc. Graw-Hill(Ed.), USA.
- [4] Reinisch B. W., 2000. Radio Sounding of Geospace Plasmas, Física de la Tierra, pp. 105-126, ISSN: 0214-4557.
- [5] Bianchi, C. and Altadill, D., 2005. Ionospheric Doppler measurements by means of HF-radar techniques, Annals of Geophysics, Vol. 48, N° 6, pp. 989-993.
- [6] Curry G. R., 2005. Radar System Performance Modeling, 2nd. Edit., Artech House (Ed.), Norwood, MA.
- [7] Rastogi, P. K. and Sobolewski G., 1990. New quasi-complementary code sets for atmospheric radar applications, Radio Science., V25, N°5, pp 1087-1094.
- [8] Ghebrehbran O., Luce H., Yamamoto M. and Fukao S., 2004. Interference suppression factor characteristics of complementary codes for ST/SMT radar applications, Radio Science, V39, RS3013, doi: 10.1029/2003RS002910.
- [9] Golay M.J.E., 1961. Complementary series, IRE Trans. Inf.Theory, 7, 82-87.
- [10] Barry G. H., 1971. A low power vertical incidence ionosonde, IEEE Trans. Geosci. Electron. GE-9(2), pp. 86-89.
- [11] Richards M.A., 2005. Fundamentals of radar signal processing, Mc Graw-Hill (Ed.), New York.
- [12] Wirth W., 2001. Radar techniques using array antennas, The Institution of Electrical Engineers, United Kingdom, London.
- [13] Zuccheretti E., Tutone G., Sciacca U., Bianchi C., Arokiasamy B.J., 2003. The new AIS-INGV digital ionosonde, Annals of Geophysics, Vol. 46, N.4, 647-659.
- [14] Jursa, A. S., 1985. Handbook of Geophysics and the Space Environment, AFGL, Air Force, USA.
- [15] Bianchi C., Sciacca U., Zirizzotti A., Zuccheretti E. & Baskaradas J., 2003. Signal processing techniques for phase-coded HF-VHF radars. Annals Of Geophysics, 46(4). doi:10.4401/ag-4369.

## ANEXO

El número de pulsos necesarios para realizar la integración coherente se estimó empíricamente teniendo en cuenta dos aspectos:

1. La ionósfera se la puede considerar estacionaria por aproximadamente 5 minutos [2]
2. La Figura 4 muestra como la relación señal ruido mejora a medida que el número de iteraciones aumenta. Sin embargo, esto no se cumple a partir de un número determinado de iteraciones. Esto se debe a que la hipótesis de (1) no se cumple necesariamente en un ambiente real [15].

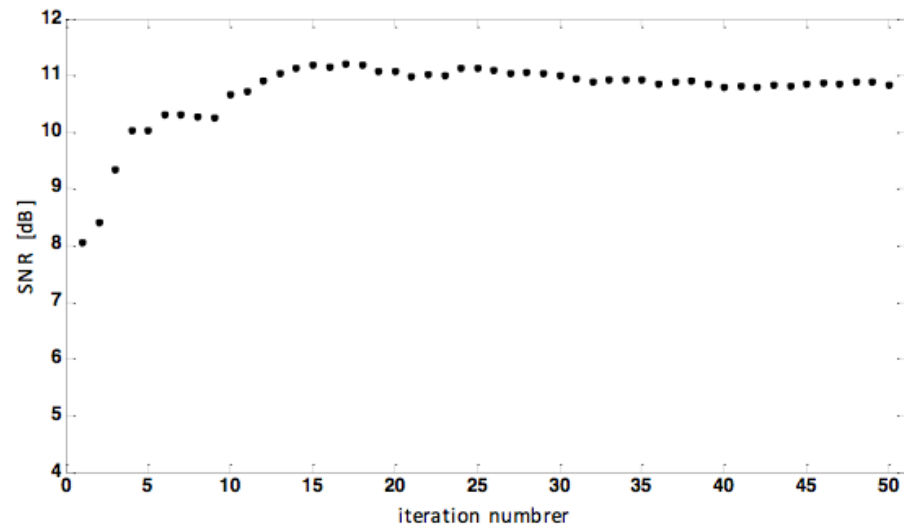


Figura 4. SNR en función del número de iteraciones efectuadas.

En los casos de estudio presentados en este trabajo se obtuvo, empíricamente, un valor razonable de pulsos de 10.

# Aplicación del método relación de Bowen para estimar la evapotranspiración sobre un cultivo de soja

## RESUMEN

Se aplica el método Relación de Bowen-Balance de Energía (RBBE) sobre un cultivo de soja en la región pampeana argentina con los objetivos de estimar la evapotranspiración (ET) y conocer la metodología, medidas requeridas y costos del instrumental empleado para su aplicación. Se realiza una primera aproximación a la aplicación de un método micrometeorológico. Se utilizan datos de una estación de balance de energía que toma el promedio de los datos cada 15 minutos. Los datos procesados se corresponden a medidas de radiación neta ( $R_n$ ), flujo de calor en el suelo ( $G$ ), temperatura y humedad del aire, y temperatura y humedad del suelo. La utilización de dicho método es inusual en la zona debido a los requerimientos mínimos necesarios para su aplicación, tales como, las medidas de radiación neta y flujo de calor en suelo. A partir del método RBBE, se estima la evapotranspiración en tiempo real (flujo de calor latente) y en consecuencia, conocidos la  $R_n$  y el  $G$ , se calcula el flujo de calor sensible. Se compara la evapotranspiración obtenida con el método RBBE y la calculada a partir de la evapotranspiración de referencia corregida por tipo de cultivo y humedad de suelo. Los resultados muestran la aptitud del método para estimar la evapotranspiración, con un RMSE de  $0,76 \text{ mm día}^{-1}$ . Entre las principales aplicaciones de RBBE se puede mencionar su capacidad para calibrar y validar modelos locales y regionales (estos últimos vinculados a imágenes de satélite), el conocimiento del comportamiento de los flujos de energía, entre otras.

D. Ocampo (1, 2),  
R. Rivas (1, 2),  
F. Carmona (1, 3).

1- Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Usunoff", (MA-CICPBA-UNCPBA), Pinto 399, Tandil, Argentina.

2- Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA).

3- Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

[dora.ocampo@rec.unicen.edu.ar](mailto:dora.ocampo@rec.unicen.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración (ET) es un proceso biofísico que puede ser estimado por métodos directos o indirectos. El lisímetro de pesada conforma una forma de medir directamente la ET, pero su aplicación es inusual debido a su complejidad, costo y mantenimiento. Por otro lado, se encuentran los métodos indirectos basados en la aplicación de ecuaciones para obtener la evapotranspiración a partir de magnitudes relacionadas. A este grupo pertenecen los métodos micrometeorológicos que estiman la ET (en balance energético se lo nombra LE, flujo de calor latente) en cortos intervalos de tiempo (menores a 30 minutos). Es decir, este método permite estimar la ET en tiempo real [1], cuando las medidas de la radiación neta y el flujo de calor en el suelo están disponibles.

Un ejemplo de método micrometeorológico lo conforma la Relación de Bowen-Balance de Energía (RBBE). Éste ha sido aplicado para calibrar y validar los modelos de evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) [2], así como modelos de evapotranspiración a escala regional. En el área de Montecillo, México, Villaman Peña et al. [1] compararon diferentes métodos micrometeorológicos sobre cultivos de maíz con el propósito de determinar cuáles métodos estiman mejor la ET, tomando como referencia la medida desde un lisímetro de pesada. Concluyeron que el método RBBE fue uno de los métodos que mejor estima la ET. En la localidad semiárida de Tarazona de la Mancha, España, Balbotín-Nesvara et al. [3] evaluaron y compararon el desempeño de los métodos de Eddy-Covariance (EC) y RBBE para la estimación de la ET diaria en un viñedo regado, resultando este último el que sobrestimó la ET en valores promedio de apenas un 5% en relación al método de EC.



En la región pampeana argentina estudios con estas características son inusuales, siendo quizás la principal limitante la disponibilidad de instrumental requerido para la toma de las medidas. Allen et al. [4] señalan algunas ventajas y desventajas del método RBBE. Consideraron que es un método no destructivo, que no requiere de datos aerodinámicos y que pueden ser automatizado a partir del sistema de Bowen-Campbell Scientific-1995. En contraste, para su aplicación son necesarias medidas representativas de radiación neta y flujo de calor en el suelo y se debe considerar que los coeficientes de transferencia turbulenta para el calor y vapor de agua son iguales.

Este trabajo tiene como objetivos aplicar la Relación de Bowen- Balance de Energía para la estimación de la ET y conocer la metodología, medidas requeridas y costos del instrumental empleado para su aplicación. Se logra una primera aproximación a la aplicación de un método micrometeorológico. La metodología de RBBE es utilizada considerando los siguientes supuestos:

- Los coeficientes de transferencia turbulenta para el calor ( $K_h$ ) y vapor de agua ( $K_v$ ) son iguales.
- Ante la ausencia de instrumental que registre la humedad del aire sobre el dosel del cultivo soja, para las condiciones presentes durante el periodo de estudio (máxima disponibilidad de agua) se ha considerado que el aire inmediatamente sobre el cultivo está en su punto de saturación.
- Las medidas están dentro de la capa de flujo de aire que se ha adaptado a la superficie de modo que hay ausencia de gradientes horizontales de temperatura y humedad.

## MÉTODOS

### Planteo del problema

La metodología RBBE conforma una aproximación micrometeorológica de escasa aplicación debido al costo del instrumental requerido para su aplicación. Son necesarias, medidas de flujos: radiación neta y calor en el suelo. Logrando medidas representativas de ambos y conociendo la metodología, es posible aplicar el método RBBE sin dificultades. En la región pampeana no se conocen por el momento trabajos que utilicen esta metodología. Se destaca que a partir de la misma es posible lograr una estimación de la evapotranspiración en tiempo real.

### Zona de estudio, datos e instrumental de medición

Se utilizaron medidas de una estación de Balance de energía (EBE) conectada a un Datalogger CR10X. La EBE fue instalada sobre un cultivo de soja de primera (*Glycine max*) en un establecimiento agrícola de la región centro de la provincia de Buenos Aires, ubicado a 50 km al oeste de la ciudad de Tandil, Argentina. El establecimiento desarrolla agricultura por ambientes.

La EBE registró medidas durante el ciclo del cultivo, desde mediados diciembre de 2009 hasta mediados de marzo de 2010. Para este trabajo se procesaron datos de los días 20, 21, 24 y 25 de diciembre de 2009 (días julianos (DJ) 354, 355, 358 y 359 respectivamente). Dichos días corresponden a un periodo con máximo contenido de agua en los primeros centímetros del suelo (Figura 1).

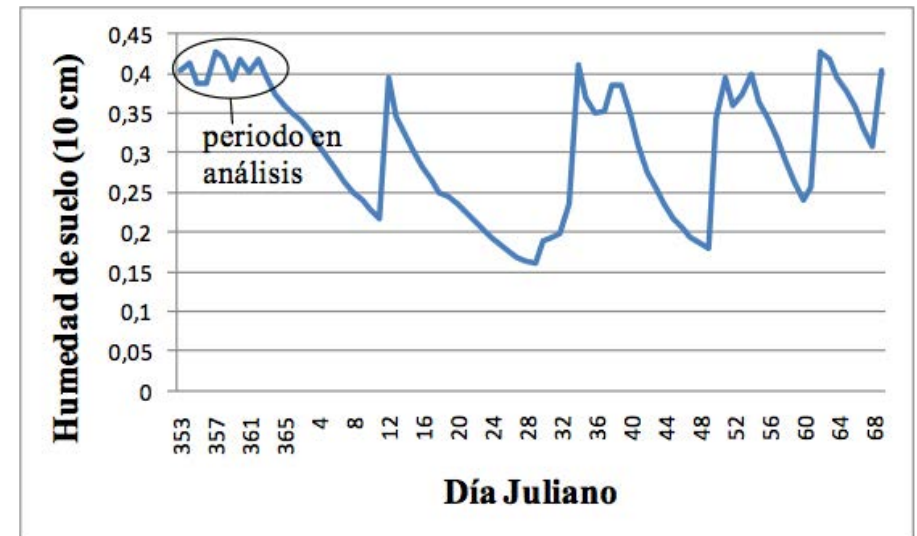


Figura 1. Evolución de la humedad de suelo en el área de la estación y fechas seleccionadas para el análisis.

Los 4 días utilizados en el análisis no presentaron cobertura nubosa. Para estos días, el Datalogger CR10X tomó el promedio de los datos cada 15 minutos. La EBE está compuesta por una serie de sensores de los cuales se detallan en la Tabla I los utilizados en este trabajo.

Sensor	Medida	Origen	Precisión
HFT3	Flujo de calor en el suelo a 0,08 cm	Campbell Scientific, Inc	±10 %
CS215 - L16	Temperatura y humedad del aire a 2,15 m	Campbell Scientific, Inc	±0,4 °C/ ± 4%
Model 107 Probe	Temperatura sobre el dosel del cultivo	Campbell Scientific, Inc	±0,4 °C
EC-10 H2O	Humedad del suelo a 0,1 m	Decagon Devices Inc.	± 3 %
TC1047A	Temperatura del suelo a 0,05 y 0,12 m	Cavadevices	± 8 %
CNR1	Radiación neta a 2,15 m	Kipp & Zonen	± 10 %

Tabla 1. Sensores de medición utilizados en el estudio.

La Figura 2 muestra la EBE y los sensores de medición empleados en el trabajo. La foto de la Figura 2 fue tomada cuando el suelo estaba con cobertura completa. Se observan los sensores dispuestos para la medida del gradiente de temperatura, y la medida de vapor de agua solo para un nivel. También se muestra la disposición del sensor de flujo de calor en el suelo y el de humedad de suelo instalado a 10 cm (Figura 2a). En la Figura 2b, se observa el radiómetro neto CNR1 y los sensores que registran la radiación de onda corta y larga, entrante y saliente a la superficie. Está compuesto por un piranómetro que mide la radiación de onda corta entrante y saliente (0,3-2,8  $\mu\text{m}$ ), y por un pirgeómetro que mide la radiación de onda larga entrante y saliente (5- 50  $\mu\text{m}$ ). A partir de estas medidas es posible estimar la radiación neta según indica la ecuación de la Figura 2(b).

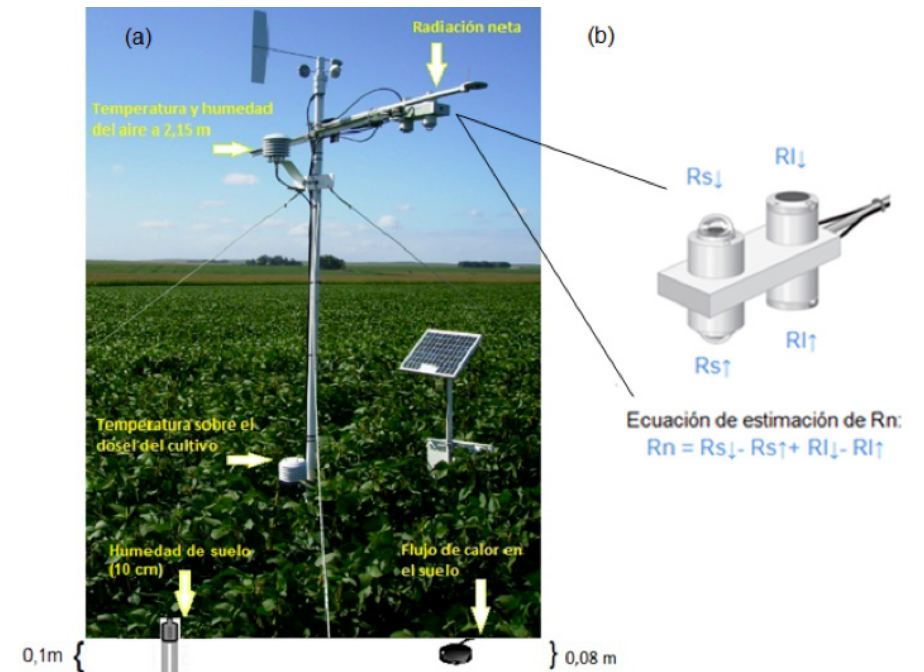


Figura 2. (a) EBE sobre el cultivo de soja y sensores de medición: CNR1 (radiación neta), CS215 - L16 (temperatura y humedad del aire), Model 107 Probe (temperatura sobre el dosel del cultivo), HFT3 (flujo de calor en el suelo) EC-10 H<sub>2</sub>O (sensor de humedad de suelo); (b) Radiómetro neto (Rs↓ y Rs↑ radiación de onda corta entrante y saliente; RI↓ y RI↑ radiación de onda larga entrante y saliente).

#### Método micrometeorológico: Relación de Bowen-Balance de energía

Partiendo de la ecuación general de balance de energía [5] se obtiene:

$$(1) \quad R_n = G + H + LE$$

Donde  $R_n$  es la radiación neta,  $G$  es el flujo de calor en el suelo,  $H$  es el flujo de calor sensible y  $LE$  es el flujo de calor latente. No se consideran otros flujos de energía como el calor almacenado y liberado de la planta, la energía utilizada en actividades metabólicas y la advección [6].

El LE corresponde a la fracción de evapotranspiración que puede ser derivada de la ecuación general de balance de energía (Ecuación 1) si el resto de los términos están disponibles. En este trabajo, Rn y G fueron medidos desde el instrumental especificado anteriormente y LE fue determinado a partir del método RBBE desarrollado por Bowen en 1926. Comprende un método relativamente preciso, que permite resolver la ecuación de Balance de Energía (BE) con simples medidas de gradientes de temperatura del aire y vapor de agua sobre una superficie evaporante [4]. La Ecuación 2 permite la estimación [2]:

$$(2) \quad \beta = \gamma \cdot \frac{\Delta T}{\Delta e}$$

donde  $\beta$  es la relación de Bowen,  $\gamma$  es la constante psicrométrica,  $\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura a 2,15 m ( $T_a$ ) y la temperatura por encima de la cubierta del cultivo ( $T_a$  dosel), y  $\Delta e$  es la diferencia entre la presión de vapor a esas dos altura (en este trabajo, ante la ausencia de datos de vapor de agua sobre el dosel del cultivo, solo se consideró la presión de vapor de agua a 2,15 m). La constante psicrométrica no es estrictamente una constante ya que depende de la presión atmosférica del lugar, y el calor latente de la temperatura [7]. Aplicando valores típicos de calor específico a presión constante ( $C_a$ ,  $1,013 \times 10^{-3} \text{ MJKg}^{-1}\text{°C}^{-1}$ ), presión atmosférica ( $P$ , 101,3 KPa) y calor latente de vaporización ( $\lambda$ ,  $2,45 \text{ MJKg}^{-1}$ ), se obtiene el valor de la constante utilizada:

$$(3) \quad \gamma = \frac{C_a \cdot P}{0,622 \cdot \lambda} = 0,066 \text{ KPa}^\circ\text{C}^{-1}$$

Donde 0,622 es el cociente del peso molecular de vapor de agua/ aire seco=0,622. Se calcula  $\Delta e$  a partir de las siguientes ecuaciones:

$$(4) \quad e_s = 0,6108 \cdot \exp\left[\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right]$$

Donde  $e_s$  es la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire (kPa),  $T$  es la temperatura del aire ( $^\circ\text{C}$ ).

$$(5) \quad e_a = \frac{HR}{100} \cdot e_s$$

Donde  $e_a$  es la presión real de vapor (kPa), HR es la humedad del aire (%). Aplicando la Ecuación 6 se obtiene el flujo de calor latente y a partir de la Ecuación 7 el flujo de calor sensible como residuo de la ecuación general de balance de energía:

$$(6) \quad LE = \frac{(Rn - G)}{1 + \beta}$$

$$(7) \quad H = Rn - G - LE$$

El flujo de calor en el suelo fue ajustado a partir de los valores de humedad de suelo, aplicando la siguiente expresión [8]:

$$(8) \quad G_{ajust} = G_p + 0,084 \cdot \frac{\Delta T_s Z_s \cdot (C_s \cdot BD + C_{sw} \cdot W_s)}{I_t}$$

Donde  $G_{ajust}$  es el flujo de calor en el suelo ajustado,  $G_p$  es el flujo de calor en el suelo medido desde las planchas metálicas ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\Delta T_s$  es la diferencia de temperatura entre dos niveles de profundidad del suelo ( $^\circ\text{C}$ , niveles a 0,05 y 0,12 m bajo suelo),  $Z_s$  es la profundidad a la cual fue medido  $G$  (0,08 m),  $C_s$  es el calor específico de suelo seco ( $840 \text{ J Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $BD$  es la densidad aparente del suelo ( $\text{Kg m}^{-3}$ ),  $C_{sw}$  es la capacidad calorífica del agua ( $4190 \text{ J Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $W_s$  es contenido de agua en el suelo (expresado como kg de agua sobre kg de suelo), y  $I_t$  es el intervalo de tiempo de medición (900 segundos).

#### Análisis de los datos

Los flujos de energía Rn, G, LE y H fueron graficados para evaluar su comportamiento cada 15 minutos. Luego, los valores de flujo de calor latente obtenidos por el método RBBE fueron convertidos a valores diarios de mm de agua evaporada para ser comparados con los valores de evapotranspiración corregida por tipo de cultivo y humedad. Para ello se utilizó el método FAO 56 Penman-Monteith ( $ET_0$ ), el coeficiente del cultivo de la soja ( $Kc=1,15$ ) [5] y la fracción evaporativa (FE) de agua disponible en el suelo. La FE fue estimada a partir del registro de humedad de suelo a 10 cm, según la Ecuación 9 [9]:

$$(9) \quad FE = \frac{(Hs_d - Hs_{min})}{(Hs_{max} - Hs_{min})}$$

donde  $Hs_d$  es la humedad de suelo a escala diaria,  $Hs_{min}$  es la humedad mínima de suelo,  $Hs_{max}$  es la humedad máxima de suelo (todos valores integrados a 10 cm de profundidad). La estimación de este factor permite conocer el agua disponible en el sistema para que se produzca el proceso de evapotranspiración. La ET corregida fue calculada a partir de la Ecuación 10:

$$(10) \quad ET = ET_n \cdot Kc \cdot FE$$

La comparación entre los métodos se realizó en función de un análisis de regresión lineal simple, considerando además el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE, mm día<sup>-1</sup>).

Por último, se detallan las medidas, instrumental y costos mínimos requeridos para aplicar el método RBBE, considerando su potencial utilización en la región pampeana.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Flujos de energía sobre el cultivo de soja

En la Figura 3 se observan los flujos de energía para los días del periodo en estudio. Se denota un comportamiento característico de los flujos cuando la disponibilidad de agua en suelo es buena o cercana a su capacidad de campo. La mayor parte de la energía disponible se utiliza para el proceso de evapotranspiración (LE), y los flujos de H y G adquieren valores menores, indicando que utilizan una menor proporción de la Rn.

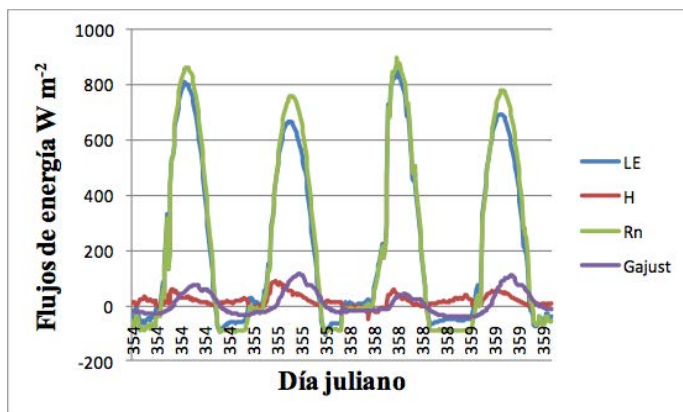


Figura 3. Comportamiento de los flujos de energía para los días en estudio.

El método permite estimar el flujo de calor latente y el sensible a partir de los valores de  $\beta$ . En este trabajo los valores de  $\beta$  variaron entre -0,6 y 0,6 para los 4 días en estudio. Si se consideran solo los valores entre las 8:00 am-18:00 pm, los valores promedio de  $\beta$  para cada día fueron 0,05; 0,1; 0,01 y 0,06 (para los días 354; 355; 358 y 359 respectivamente). A excepción de los días 354 y 358, los valores de  $\beta$  se aproximan al rango establecido para cultivos agrícolas: 0,1-1,0 [10].

Analizando los valores promedio diarios de los flujos de energía, se desprende que el 90 % de la Rn es utilizada en el proceso de ET y el resto de la energía es utilizada en calentar el aire (H) y el suelo (G).

### Comparación de la ET Bowen vs ET FAO 56 PM

Por otro lado, además de obtener los distintos componentes del balance de energía y los valores de la ET en tiempo real, también puede calcularse la ET a escala diaria. En la Tabla II se observan los valores diarios de la ET obtenidos con el método RBBE y la metodología propuesta por Allen et al. [5].

DJ	ET Bowen	ET FAO 56 PM
	mm día <sup>-1</sup>	
354	8,18	9,65
355	7,33	7,39
358	8,11	8,16
359	7,37	7,77

Tabla II. Comparación de la evapotranspiración obtenida a partir del método RBBE y FAO 56 PM.

Las diferencias son mínimas, a excepción del día 354, donde la ET de Bowen subestima en relación a FAO 56 PM en 1,47 mm día<sup>-1</sup>. Del análisis de regresión simple, se obtuvo un  $r^2$  de 0,66 y un valor de RMSE de 0,76 mm día<sup>-1</sup>. Estos valores son válidos para esta primera aproximación en el estudio del método, se debe profundizar el análisis de los valores  $\beta$  obtenidos a partir de este método y verificar la existencia de errores propios de la aplicación del mismo.

### Costos mínimos requeridos para la aplicación del método RBBE

La Tabla III detalla los sensores y los costos requeridos para la aplicación del método RBBE. Se debería considerar la incorporación de un sensor CS215 - L16 que mida temperatura y humedad del aire sobre el dosel del cultivo en lugar del sensor Model 107 Probe, y así lograr las medidas de presión de vapor del aire a ese nivel para estimar el gradiente de vapor de agua, dato necesario para aplicar el método correctamente. Aproximadamente se requieren 8066 dólares para instalar una estación que contenga el instrumental mínimo para aplicar el método RBBE (sin considerar el Datalogger). Se destaca el radiómetro neto de elevado costo (Tabla III). Sin embargo, recientemente Campbell Scientific, Inc ha desarrollado un nuevo radiómetro "CNR2", que presenta la ventaja de ser más liviano y menos costoso (alrededor de 3000 dólares menos). Teniendo en cuenta el sensor CNR2 el valor de la estación sería de 5066 dólares valor éste cercano a una estación agrometeorológica de alta precisión.

Sensor	Medida	Origen	Costo*
HFT3	Flujo de calor en el suelo a 0,08 cm	Campbell Scientific, Inc	690
CS215 - L16	Temperatura y humedad del aire a 2,15 m	Campbell Scientific, Inc	369
Model 107 Probe	Temperatura sobre el dosel del cultivo	Campbell Scientific, Inc	90
EC-10 H2O	Humedad del suelo	Decagon Devices Inc.	533
TC1047A	Temperatura del suelo	Cavadevices	15
CNR1	Radiación neta	Kipp & Zonen	6000

Tabla III. Sensores y costos aproximados (\*en dólares, consultado en junio de 2011).

### CONCLUSIONES

En este trabajo se aplica el método de Relación de Bowen-Balance de Energía, un método micrometeorológico para la estimación de la evapotranspiración en tiempo real. Obtenida la evapotranspiración (flujo de calor latente), y conocidas las medidas de radiación neta y flujo de calor en el suelo, fue posible calcular el flujo de calor sensible y así obtener el total de los flujos del balance de energía sobre un cultivo de soja. Se analizaron estos componentes bajo condiciones de alta disponibilidad de agua en el suelo, señalando que la mayor parte de la energía fue invertida en el proceso de evapotranspiración (90 % o más) para los 4 días analizados. En relación a los valores de  $\beta$ , estos se aproximaron al rango establecido para cultivos agrícolas, entre 0,1 y 1,0. Esta proximidad a 0 indicó que la mayor parte de la energía fue utili-

zada en el proceso de evapotranspiración.

También fueron determinados los valores diarios de la evapotranspiración según el método de Relación de Bowen-Balance de Energía. Ante la imposibilidad de comparar los valores con medidas desde lisímetro, se realizó la comparación con la evapotranspiración del cultivo según la metodología propuesta por Allen et al. [5] y la fracción de agua disponible en el suelo. Los resultados mostraron un RMSE de 0,76 mm día<sup>-1</sup>.

En cuanto a los requerimientos mínimos para aplicar el método de Relación de Bowen-Balance de Energía, estos conforman medidas directas de radiación neta, flujo de calor en el suelo, temperatura y humedad del aire a dos alturas, además de las medidas requeridas para ajustar el flujo de calor en el suelo. La bibliografía consultada recomienda que los flujos de radiación neta y flujo de calor en el suelo deben ser representativos y eso involucra además instrumentos con buena precisión como los utilizados en este trabajo. En cuanto al costo del instrumental empleado, si bien el mismo es elevado, se considera que comparado con el método de Eddy-Covariance, es más factible su aplicación. Por otro lado, se debe considerar que recientemente Campbell Scientific ha desarrollado un radiómetro neto CNR2, que al igual que el sensor CNR1, mide la radiación de onda larga y corta entrante y saliente. Este presenta particularidades a considerar: su manipulación es más sencilla (más liviano) y es menos costoso (alrededor de un 50 % menos). Esto hace que la diferencia de valor entre una estación Bowen y una agrometeorológica con sensores de calidad resulte menor a los 1500 dólares.

Entre las principales aplicaciones del método Relación de Bowen-Balance de Energía, se destacan, su capacidad para calibrar y validar modelos locales y regionales (estos últimos vinculados a imágenes de satélite), el conocimiento del comportamiento de los flujos de energía, flujo de calor latente y sensible, entre otras.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Villaman Peña, L. Tijerina Chávez, A. Quevedo Nolasco, G. Crespo Pichardo. 2001. Comparación de métodos micrometeorológicos para estimar la evapotranspiración, en el área de Montecillo, México. *Revista Terra*, 19 (3): 281-291. ISSN: 0187-5779.
- [2] Z. Xing, L. Chow, F. Rui Meng, H- Rees, L. Stevens, J. Monteith. 2008. Validating Evapotranspiration Equations Using Bowen Ratio in New Brunswick, Maritime, Canada. *Sensors*, 8: 412-428. ISSN: 1424-8220.
- [3] C. Balbotín-Nesvara, A. Calera-Belmonte, J. González-Piqueras, I. Campos-Rodríguez, M.LL. López-González, E. Torres-Prieto. 2011. Comparación de los sistemas covarianza y relación de bowen en la evapotranspiración de un viñedo bajo clima semi-árido. *Revista Agrociencia* 45: 87-103.
- [4] R. G. Allen, L. S. Pereira, T. A. Howell, M. E. Jensen. 2011. Evapotranspiration information reporting: I. factors governing measurement accuracy. *Journal of Agricultural Water Management*, 98: 899-920. ISSN: 0378-3774.
- [5] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes and M Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- [6] F. Carmona, R. Rivas, D. Ocampo, J. Schirmbeck, y M. Holzman. 2011. Sensores para la medición y validación de variables hidrológicas. *Revista Aqua-LAC*, 3(1):26-36. <http://www.unesco.org/phi/aqualac/en/home.html>, ISSN: 1888-2873.
- [7] L. Dingman. 2002. *Physical Hydrology*. ED. Prentice Hall (United States of America), 272-273-275 Pp. ISBN: 0-13-099695-5.
- [8] R. G. Allen, R.W. Hill, V. Srikanth. 1994. Evapotranspiration parameters for variably sized wetlands. *America Society of agricultural and Engineering*, 94, 21-32.
- [9] R. Rivas, 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 (Editores), ED. CIMNE (Barcelona, España), Vol IX: 336-343, <http://congress.cimne.com/zns09/frontal/papers.asp> ISBN 978-84-96736-83-2.
- [10] W. Eugster, W.R. Rouse, R.A. Pielke Sr., J. P. McFadden, D. D. Baldocchi, T.G.F. Kittel, F.S. Chapin III, G.E. Liston, P.L. Vidale, E. Vaganov, S. Chambers. 2000. Land-atmosphere energy exchange in arctic tundra and boreal forest: available data and feedbacks to climate. *Global Change Biol.*6 (Suppl. 1), 84-115.

# Estimación de la radiación neta a partir de datos meteorológicos en la región pampeana

## RESUMEN

Se estima la  $R_n$  a partir de datos meteorológicos en una zona subhúmeda-húmeda de la región pampeana Argentina. Se utiliza un Modelo de Regresión Lineal Múltiple (MRLM), donde la variable dependiente está representada por medidas de  $R_n$  obtenidas desde un Radiómetro Neto (CNR1, Kipp Zonen), y las variables independientes por datos de Radiación solar ( $R_s$ ), Temperatura ( $T$  media, máxima, mínima), Humedad relativa (HR) y el inverso de la distancia relativa tierra-sol ( $dr$ ). Del análisis del MRLM se derivan 8 ecuaciones de estimación de la  $R_n$ , que consideran como variables de entrada distintas combinaciones de  $R_s$ ,  $T$ ,  $H_r$  y  $dr$ . Se comparan los flujos de  $R_n$  observada desde el CNR1 con los de  $R_n$  estimada según los estadísticos: error estándar (MBE), raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de Willmott ( $d$ ). Los resultados muestran un buen ajuste y un bajo error en la estimación de las ecuaciones, destacándose aquellas que involucran como datos de entrada a todas las variables, con un MBE de  $1,76 \text{ W m}^{-2}$  y un RMSE de  $18,37 \text{ W m}^{-2}$ , lo que en términos de mm de agua evaporada equivalen a 0,06 y 0,60, respectivamente. Sin embargo, a partir de datos de temperatura media del aire y  $R_s$ , es posible estimar la  $R_n$  con un MBE de  $12,50 \text{ W m}^{-2}$  y un RMSE de  $28,40 \text{ W m}^{-2}$ , lo que en términos de mm de agua evaporada equivale a 0,40 y 1 respectivamente. En general, las medidas comunes a todas las estaciones de la región pampeana son la temperatura, humedad relativa y, en alguna circunstancia, radiación solar. Esto significa que a partir de estas variables es posible la estimación de la  $R_n$  con relativa sencillez. Las ecuaciones obtenidas comprenden aproximaciones interesantes que permitirían extender la serie de datos  $R_n$  en el área de trabajo.

D. Ocampo (1, 2),

R. Rivas (1, 2),

1- Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Usunoff", (MA-CICPBA-UNCPBA), Pinto 399, Tandil, Argentina.

2- Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA).

3- Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

[dora.ocampo@rec.unicen.edu.ar](mailto:dora.ocampo@rec.unicen.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

En regiones de clima húmedo, como lo es gran parte de la región pampeana Argentina, la mayor proporción de la Radiación neta ( $R_n$ ) se emplea en el proceso de evapotranspiración. Allen et al. [1] definen a la  $R_n$  como la diferencia entre la radiación entrante y saliente de longitudes de onda corta y larga, siendo el flujo diario de la  $R_n$  normalmente positivo, exceptuando esta condición en regiones de latitudes elevadas de climas extremos [2]. La Ecuación 1 representa la expresión general de estimación de la  $R_n$ :

$$(1) \quad R_n = R_{s \downarrow} - R_{s \uparrow} + R_{l \downarrow} - R_{l \uparrow}$$

Donde  $R_n$  es la radiación neta,  $R_{s \downarrow}$  es la radiación de onda corta entrante,  $R_{s \uparrow}$  es la radiación de onda corta saliente,  $R_{l \downarrow}$  es la radiación de onda larga entrante y  $R_{l \uparrow}$  es la radiación de onda larga saliente.

El instrumental que permite la medida de la  $R_n$  es costoso y por lo tanto se dispone de pocos puntos de medida a escala pampeana, 2 en la actualidad, y varios planes de instalación en los próximos años. Como alternativa, la comunidad científica ha aplicado modelos de estimación que involucran mínima información meteorológica. De los diferentes modelos de estimación, por un lado se encuentra la Ecuación 2 elaborada por Brutsaert [3]. Por otro, la metodología de referencia propuesta por Allen et al. [1] en el Manual 56 de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO 56) y por ASCE-EWRI [4], la cual es representada según las Ecuaciones 3, 4 y 5:

$$(2) \quad R_n = R_{s\downarrow} (1 - \alpha_s) + \epsilon_s R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow}$$

$$(3) \quad R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$(4) \quad R_{ns} = (1 - \alpha_s) \cdot R_s$$

$$(5) \quad R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \cdot \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

Donde  $R_s$  es la radiación de onda corta,  $\alpha_s$  es el albedo de la superficie [adimensional],  $R_{l\downarrow}$  es la radiación de onda larga entrante (o radiación atmosférica),  $\epsilon_s$  es la emisividad de la superficie y  $R_{l\uparrow}$  es la radiación de onda larga saliente. Los términos de radiación expresados en  $W m^{-2}$  en la Ecuación 2,  $R_n$  es la radiación neta,  $R_{ns}$  es la radiación neta de onda corta,  $R_{nl}$  es la radiación neta de onda larga,  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzmann ( $4,903 \times 10^{-9} MJ K^{-4} m^{-2} día^{-1}$ ),  $T_{\max}$  es la temperatura máxima,  $T_{\min}$  es la temperatura mínima (ambas en K),  $e_a$  es la presión real de vapor (KPa),  $R_s/R_{so}$  es la radiación relativa de onda corta. Los términos de  $R_{ns}$  y  $R_{nl}$  expresados en  $MJ m^{-2} d^{-1}$ , para su conversión a  $mm día^{-1}$  se multiplica por  $1/\lambda$  ( $\lambda$  es el calor latente de vaporización igual a  $2,45 MJ kg^{-1}$ ). Para más detalles de los procedimientos pueden consultarse los trabajos de Allen et al. [1]; ASCE [4]; Ocampo y Rivas [5]. La metodología FAO 56, puede ser interpretada como un modelo físico que integra un conjunto de variables, tales como la radiación solar, la temperatura del aire y la humedad relativa [6], sin embargo al igual que la metodología de Brutsaert [3], requieren de datos de emisividad y de albedo de la superficie.

Ante las limitaciones expuestas y las dificultades de disponer de medidas de la  $R_n$ , es posible derivar ecuaciones de estimación a partir de mínimos datos meteorológicos. En este sentido, Irmak et al. [2] desarrollaron para regiones húmedas y áridas del sudeste de Estados Unidos, dos ecuaciones de estimación de la  $R_n$ . La primera, considera como variables de entradas a la temperatura máxima y mínima, la radiación solar medida y el inverso de la distancia relativa tierra-sol. La segunda, en cambio, parte de datos de humedad y temperatura máxima y mínima del aire y radiación solar estimada a partir de la radiación exatmosférica (solar extraterrestre). Para la obtención de las ecuaciones, estos autores utilizaron un Modelo de Regresión Lineal Múltiple.

Partiendo de estas premisas, se plantea como objetivo de este trabajo estimar la radiación neta para una zona de clima sub húmedo-húmedo de la región pampeana argentina a partir de datos meteorológicos registrados por estaciones típicas de la región.

## MÉTODOS

### Planteo del problema

La  $R_n$  comprende la energía disponible para el desarrollo de los procesos biofísicos a nivel de superficie. Puede ser medida desde instrumental específico o estimada a partir de modelos empíricos que involucran datos meteorológicos. En la región pampeana, desafortunadamente se disponen de pocos puntos de medida de esta variable, excepcionalmente en estaciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y en Universidades. Entre las principales causas, se encuentran las relacionadas inherentemente al instrumental de medida, radiómetro neto u otro, que consiste en un sensor delicado, costoso y que generalmente es considerado de difícil mantenimiento. Entonces, ante la imposibilidad de contar con medidas de la  $R_n$ , se plantea que este flujo puede ser estimado a partir de diferentes métodos empíricos que, en general, usan como principal variable de entrada la medida de la radiación solar.

### Área de estudio, datos e instrumental utilizado

Se procesaron y analizaron medidas locales registradas por una estación de balance de energía (BE, Figura 1a) ubicada en una zona sub húmeda-húmeda de la región pampeana. La precipitación media anual es de 912 mm (periodo 2000-2010, Estación Tandil, Servicio Meteorológico Nacional de Argentina,  $37^\circ 14' S$  y  $59^\circ 15' O$ , 175 m). Los valores medios anuales de temperatura del aire, humedad relativa y de la  $R_{s\downarrow}$  son  $14^\circ C$ , 71 % y  $186 W m^{-2}$ , respectivamente. Los datos utilizados corresponden a registros diarios de humedad (HR) y temperatura del aire (media, máxima y mínima:  $T_a$ ,  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  respectivamente), y de radiación de onda corta y larga, entrante y saliente. En la Tabla I se detallan las características de los sensores que miden estas variables. El sensor CNR1 (Figura 1b), está constituido por 2 sensores de radiación de onda corta (piranómetros CM3up ( $R_{s\downarrow}$ ) y CM3down ( $R_{s\uparrow}$ ), de rango espectral 0,305 - 2,800  $\mu m$ ) y 2 sensores de radiación de onda larga (pirgeómetros CG3up ( $R_{l\downarrow}$ ) y CG3down ( $R_{l\uparrow}$ ), de rango espectral 5 - 50  $\mu m$ ), pudiéndose estimar la  $R_n$  diaria con una precisión de  $\pm 10\%$  [7].

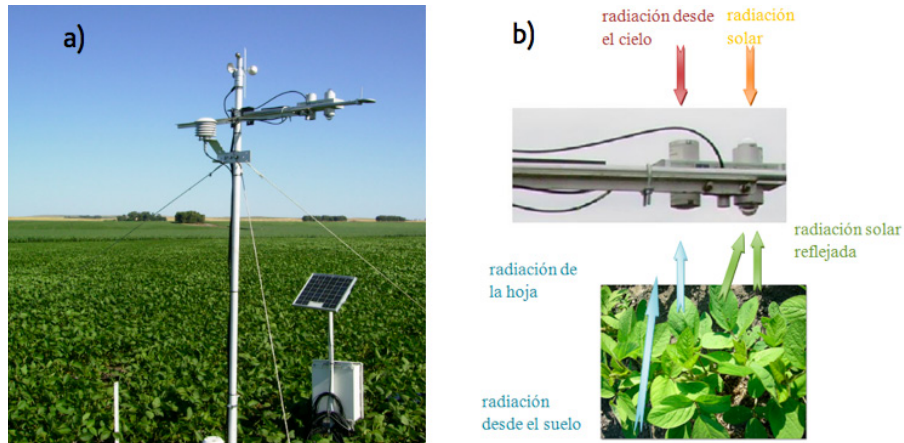


Figura 1. a) Estación de balance de energía, b) Sensor CNR1 y flujos de radiación.

Sensor	Medida	Origen	Precisión	Altura (m)
CS215 - L16	Temperatura y humedad del aire (°C)	Campbell Scientific, Inc-USA	±4%	2,15
CNR1	Radiación de onda corta y larga, entrante y saliente (W m <sup>-2</sup> )	Kipp & Zonen	±10 %	2,15

Tabla I. Sensores de medición utilizados en la investigación.

A partir de la información disponible, se procesaron datos del periodo comprendido entre el 5 de febrero (día juliano, DJ 36) de 2008 a 30 de abril (DJ 120) de 2009 (364 datos) para el ajuste lineal múltiple. Y para la validación de las ecuaciones de Rn se emplearon datos desde el 1 de mayo (día juliano, DJ 121) de 2009 hasta el 5 de abril (día juliano, DJ 95) de 2010 (199 datos) (Figura 2).

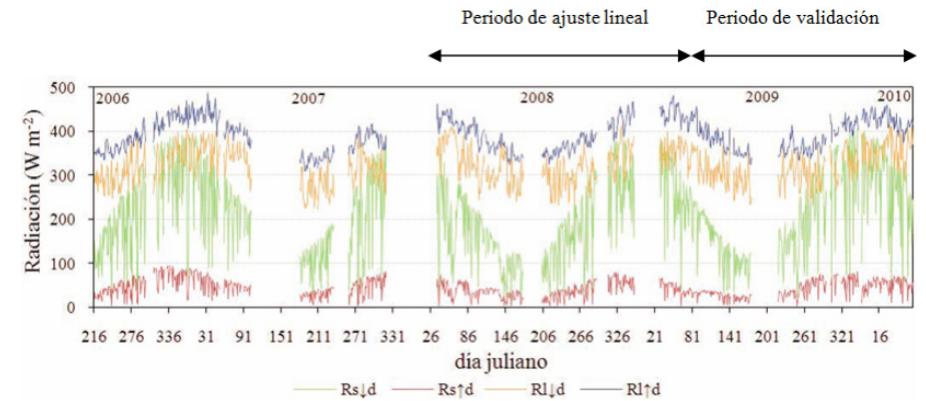


Figura 2. Componentes de la radiación diaria registrados por el sensor CNR1 de la estación de BE y periodos de análisis de los datos (adaptado de Carmona et al. [7]).

Además de los datos de la BE, se tomó en cuenta la variación del inverso de la distancia relativa tierra-sol ( $dr$ ). La Ecuación 6 permite su cálculo ([1], [2]):

$$(6) \quad dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} DJ\right)$$

Donde DJ es el número de día juliano, entre 1(1 de enero) y 365(31 de diciembre).

#### Modelo de Regresión Lineal Múltiple

Se aplicó un Modelo de Regresión Lineal Múltiple (MRLM) que permite establecer una relación entre un conjunto de variables independientes  $X_1, X_2, \dots, X_n$  y una variable dependiente Y. El MRLM está representado por la siguiente expresión general [8]:

$$(7) \quad Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_n \cdot X_n$$

Donde Y representa la radiación neta estimada (variable dependiente), los términos  $X_i$  representan las variables independientes ( $R_s$ ,  $T_a$ ,  $T_{m\acute{a}x}$ ,  $T_{m\acute{i}n}$ , HR y  $dr$ ) y los coeficientes  $\beta_i$  son obtenidos siguiendo el criterio de mínimos cuadrados.

El tipo de modelo a aplicar es predictivo ya que se espera a partir del MRLM estimar el valor de Y una vez conocidos los valores de  $X_i$ . Se partió de un modelo que incorpora la mayor cantidad de variables de entrada hasta llegar a una mínima cantidad,

esto es considerando cualidades de cada estación de la región, es decir, cubrir las diferentes posibilidades de disponibilidad de datos. De esta forma, se lograron distintas combinaciones a partir de una cantidad de variables  $X_i$ .

**Análisis de los datos**

Para evaluar la performance de las ecuaciones de Rn logradas, se compararon los flujos de Rn observada desde el radiómetro CNR1 con los de Rn estimada a partir del MRLM. La comparación se analizó en función de gráficos de dispersión entre la Rn observada y la Rn estimada.

Además del valor de la pendiente y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), se utilizaron los estadísticos comparativos detallados en la Tabla II [9]:

Estadísticos	Ecuaciones
Error estándar, <i>MBE</i>	$\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n}$
Raíz cuadrada del error cuadrático medio, <i>RMSE</i>	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$
Coficiente de Willmott, <i>d</i>	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n ( P_i  -  O_i )^2}$

Tabla II. Estadísticos aplicados en la comparación.

donde n es el número de observaciones,  $O_i$  es el valor observado,  $P_i$  es el valor calculado, P y O son los valores medios de  $P_i$  y  $O_i$  ( $O' = O_i - O$ ,  $P' = P_i - P$ ).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Ecuaciones de estimación de la Rn**

El análisis del MRLM entre la variable dependiente y las variables independientes, derivó en 8 ecuaciones ( $Rn_1$  a  $Rn_8$ ) de estimación de la Rn. Para cada ecuación se describen los coeficientes  $\beta_i$  determinados según el criterio de mínimos cuadrados. Las Ecuaciones  $Rn_1$  a  $Rn_4$  consideraron como variables de entrada comunes, la Tmax-

Tmin y la Rs. En cambio, las Ecuaciones  $Rn_5$  a  $Rn_8$ , consideraron la Ta y Rs (Tabla III). Las ecuaciones presentaron un coeficiente de correlación múltiple entre 0,92 y 0,96.

Ecuación	Rn <sub>1</sub>	Rn <sub>2</sub>	Rn <sub>3</sub>	Rn <sub>4</sub>	Rn <sub>5</sub>	Rn <sub>6</sub>	Rn <sub>7</sub>	Rn <sub>8</sub>
$\beta_0$	-458,25	-126,96	-577,78	-28,01	-512,38	-148,28	-851,16	-46,16
$\beta_{Tmax}$	-0,71	0,66	-2,33	-2,45	..	..	..	..
$\beta_{Tmin}$	1,29	1,87	3,03	4,25	..	..	..	..
$\beta_{Ta}$	..	..	..	..	0,41	1,12	-0,04	1,57
$\beta_{HR}$	0,97	1,04	..	..	1,08	1,21	..	..
$\beta_{dr}$	353,45	..	574,00	..	394,15	..	846,30	..
$\beta_{Rs}$	0,60	0,65	0,52	0,59	0,58	0,64	0,43	0,51

Tabla III. Coeficientes  $\beta_i$  para cada ecuación y variable.

**Comparación entre los flujos de Rn observada y Rn estimada**

La Tabla IV muestra la comparación entre los valores de Rn observada y los de Rn estimada a partir de las 8 ecuaciones obtenidas luego de aplicar los parámetros indicados en la Tabla III. Se presentan los valores de la pendiente y el coeficiente de determinación, además de los estadísticos propuestos para su evaluación. Se observa que la cantidad de variables de entrada a considerar en cada ecuación fue decreciendo en número, alternando la incorporación o no de la HR y la dr, según se trate del grupo de ecuaciones que incorporan Tmax-Tmin o Ta. La última ecuación contempla la mínima expresión que solo considera como dato de entrada la temperatura media del aire y la radiación solar (Ecuación  $Rn_8$ ) (Tabla IV).

Ecuación	b	r <sup>2</sup>	MBE	RMSE	d	Datos de entrada	Ranking
Rn <sub>1</sub>	0,88	0,95	1,76	18,37	0,99	Tmax-Tmin-HR-dr-Rs	1
Rn <sub>2</sub>	0,87	0,94	5,52	19,98	0,99	Tmax-Tmin-HR-Rs	4
Rn <sub>3</sub>	0,84	0,92	6,52	23,70	0,99	Tmax-Tmin-dr-Rs	5
Rn <sub>4</sub>	0,83	0,91	10,14	26,19	0,99	Tmax-Tmin-Rs	7
Rn <sub>5</sub>	0,87	0,95	2,15	18,38	0,99	Ta-Hr-dr-Rs	2
Rn <sub>6</sub>	0,88	0,95	2,65	18,87	0,99	Ta-HR-Rs	3
Rn <sub>7</sub>	0,81	0,92	8,47	25,06	0,99	Ta-dr-Rs	6
Rn <sub>8</sub>	0,79	0,91	12,50	28,40	0,99	Ta-Rs	8

Tabla IV. Pendiente, coeficiente de determinación y estadísticos entre los valores de Rn observados y Rn estimados. b es la pendiente de la regresión, r<sup>2</sup> es el coeficiente de determinación, MBE es la desviación media del error ( $W m^{-2}$ ), RMSE es la raíz cuadrada del error cuadrático medio ( $W m^{-2}$ ), d es el índice de concordancia de Willmott.



Todas las ecuaciones son capaces de estimar el flujo diario de Rn con mínima información meteorológica, presentando una buena performance de acuerdo a los valores de los estadísticos. En relación al valor de  $b$  y  $r^2$ , varía de 0,79 a 0,88, y de 0,91 a 0,95 respectivamente. Se observa que el MBE y el RMSE toman valores entre 1,76 a 12,5  $W m^{-2}$ , y 18,37 a 28,40  $W m^{-2}$  respectivamente. Por último, el coeficiente de Willmott para todas las ecuaciones es igual a 0,99. De las 8 ecuaciones, la  $Rn_1$  y la  $Rn_5$ , son las de menor error en la estimación. La primera presenta una MBE de 1,76  $W m^{-2}$  y RMSE de 18,37  $W m^{-2}$ , lo que en términos de mm de agua evaporada equivale a 0,06 y 0,6 respectivamente. La segunda, presenta una MBE de 2,15  $W m^{-2}$  y RMSE de 18,38  $W m^{-2}$ , lo que en términos de mm de agua evaporada equivale a 0,07 y 0,64 respectivamente. A las dos primeras, le sigue la  $Rn_6$  que se diferencia mínimamente de estas, con una MBE de 2,65  $W m^{-2}$  y RMSE de 18,87  $W m^{-2}$ , lo que en términos de mm de agua evaporada equivale a 0,09 y 0,66 respectivamente. En contraste, a partir de datos de temperatura media del aire y  $R_s$  ( $Rn_8$ ), es posible lograr estimaciones de la Rn con una desviación media del error de 12,5  $W m^{-2}$  y una raíz cuadrada del error cuadrático medio de 28,40  $W m^{-2}$ , lo que en términos de mm de agua evaporada equivale a 0,4 y 1 respectivamente.

A los fines de presentar la comparación entre la Rn observada y la Rn estimada a partir de las ecuaciones de estimación, la Figura 3 muestra una gráfica de dispersión para cada ecuación, donde se observa el grado de asociación entre los flujos a escala diaria.

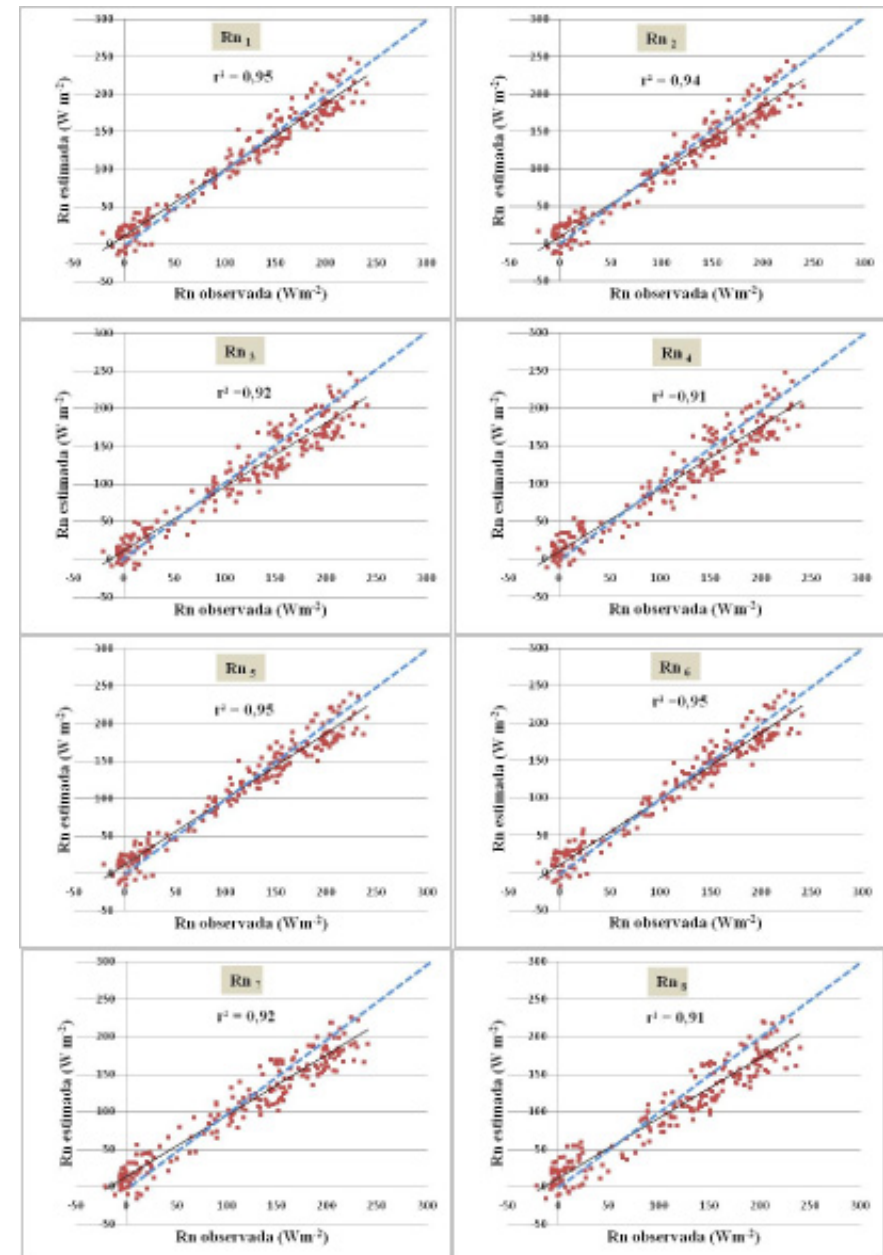


Figura 3. Comparación entre Rn observada y la Rn estimada (línea punteada recta 1:1).

Se observa en cada gráfica de la Figura 4 que la nube de puntos se distribuye en torno a la recta 1:1, siendo este comportamiento más marcado para las Ecuaciones  $Rn_1$ ,  $Rn_5$  y  $Rn_6$ . Estas consideran como variables de entrada datos de  $T_{max}$ - $T_{min}$ - $HR$ - $dr$ - $Rs$ ;  $T_a$ - $HR$ - $dr$ - $Rs$ ; y  $T_a$ - $HR$ - $Rs$ , respectivamente, y se encuentran entre las ecuaciones que mejor resultados presentan (Tabla IV). Para cada dispersión se presenta una subestimación de los valores altos de  $Rn$  estimada respecto a la observada. En cambio, para valores bajos, se observa una leve sobrestimación de los valores de  $Rn$ . Dicha sobrestimación se mantiene pareja en todas las Figuras, en contraste, la subestimación de los valores altos de  $Rn$  se acentúa un poco más para las dispersiones de las ecuaciones  $Rn_2$ ,  $Rn_3$ ,  $Rn_4$ ,  $Rn_7$  y  $Rn_8$ .

Todas las ecuaciones consideran las variables de entrada que generalmente son utilizadas en los modelos de estimación de la  $Rn$  [6], aunque se destacan la  $Rn_5$  y  $Rn_6$ , ya que la medida de  $T_a$  se encuentra generalmente disponible, o al menos es común disponer de datos, respecto a las de  $T_{max}$ - $T_{min}$ . Las siguientes expresiones muestran las ecuaciones operativas para la estimación de la  $Rn$ :

$$Rn = -458,25 + (-0,71 \cdot T_{max}) + 1,29 \cdot T_{min} + 0,97 \cdot HR + 353,45 \cdot dr + 0,60 \cdot Rs \quad (Rn_1)$$

$$Rn = -512,38 + 0,41 \cdot T_a + 1,08 \cdot HR + 394,15 \cdot dr + 0,58 \cdot Rs \quad (Rn_5)$$

$$Rn = -148,28 + 1,12 \cdot T_a + 1,21 \cdot HR + 0,64 \cdot Rs \quad (Rn_6)$$

En síntesis, el dato de temperatura dependerá de cuál de los métodos empíricos de estimación de la  $Rn$  se puede aplicar, destacando que, a partir de las Ecuaciones  $Rn_1$  y  $Rn_5$  se obtiene el mejor ajuste ( $r^2$  0,95) y errores en la estimación muy parecidos ( $MBE \geq 2,15 \text{ W m}^{-2}$ ;  $RMSE \geq 18,38 \text{ W m}^{-2}$ ).

## CONCLUSIONES

Las ecuaciones propuestas permiten la estimación del flujo diario de radiación neta a partir de distintas variables de entrada. Los estadísticos y los coeficientes de determinación y regresión permitieron evaluar la performance de las ecuaciones de estimación de la radiación neta y elaborar un ranking de valoración. De modo que, a partir de la metodología aplicada se puede predecir el valor de una variable desconocida (dependiente: radiación neta) en función de variables conocidas o comúnmente disponibles en las estaciones agrometeorológicas (independientes: humedad

y temperatura máxima, mínima y media del aire, radiación solar y el inverso de la distancia relativa tierra-sol).

Todas las ecuaciones conforman alternativas de estimación de la radiación neta, destacando que requieren mínima cantidad de información meteorológica. La Ecuación  $Rn_1$  valorada en la posición 1 del ranking, requiere como datos de entrada la temperatura máxima-mínima y humedad del aire, el inverso de la distancia relativa tierra-sol y la radiación solar. La distancia es estimada para cada día a partir de ecuaciones  $Ac$  doc, sin requerir de datos medidos. En caso de no estar disponibles los datos de temperatura máxima-mínima, pueden utilizarse los datos de temperatura media del aire aplicando la Ecuación  $Rn_5$ . De esta situación se desprende que, el usuario de información agrometeorológica e interesado además en estimar la radiación neta, debe considerar cual es la información disponible en su base de datos, para luego decidir que ecuación de cálculo aplicar, considerando a partir de esta publicación, el error de estimación aproximado de cada ecuación.

De las 8 ecuaciones, tres presentaron ( $Rn_1$ ,  $Rn_5$  y  $Rn_6$ ) el mejor ajuste y el menor error en la estimación, destacándose aquellas que involucran como datos de entrada a todas las variables, con un MBE de  $1,76 \text{ W m}^{-2}$  y un RMSE de  $18,37 \text{ W m}^{-2}$ , lo que en términos de mm de agua evaporada equivalen a 0,06 y 0,60, respectivamente. Sin embargo, a partir de datos de temperatura media del aire y radiación solar es posible estimar la  $Rn$  con un MBE de  $12,50 \text{ W m}^{-2}$  y un RMSE de  $28,40 \text{ W m}^{-2}$ , lo que en términos de mm de agua evaporada equivale a 0,40 y 1 respectivamente.

Para condiciones semejantes a la zona de estudio (sub húmedo-húmedo, Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina) sobre cubiertas vegetales similares, es factible aplicar alguna de estas ecuaciones, logrando una estimación con relativa precisión. Sin embargo, para condiciones climáticas diferentes, puede repetirse la metodología, pero contemplando como elemento clave la disponibilidad de datos para derivar las ecuaciones con sus coeficientes (periodo de ajuste lineal múltiple), y otro conjunto de datos para evaluar la performance de cada una de las ecuaciones desarrolladas (periodo de validación).

En general, las medidas que frecuentemente se registran en la mayoría de las estaciones son temperatura y humedad del aire y, en alguna circunstancia, radiación

solar. Esto significa que a partir de estas variables es posible la estimación de la radiación neta con relativa sencillez. Sin embargo debe considerarse que, en caso de no estar disponible el dato de radiación, este puede ser estimado a partir de la nubosidad o la heliofanía relativa. De un modo u otro, las ecuaciones obtenidas comprenden aproximaciones interesantes que permitirían extender la serie de datos de radiación neta en el área de trabajo.

El conocimiento del flujo diario de esta variable sobre una superficie con cobertura, permite cuantificar la energía que es utilizada en la evaporación del agua y transpiración de las plantas, el calentamiento del aire y del suelo, el almacenamiento de calor en las plantas y la fotosíntesis. Particularmente, en agricultura, la radiación neta es un factor importante en la protección contra heladas, ya que conociendo el flujo de energía disponible, es posible manipular alguno de los componentes del balance de energía y ajustar el almacenamiento de calor en las plantas. Para cálculos de la evapotranspiración, también cobra importancia la estimación de la radiación neta, porque ante la ausencia del dato medido de radiación neta, este podría obtenerse a partir de alguna de las ecuaciones propuestas.

En un contexto más amplio, la radiación neta juega un rol de gran importancia en el balance de energía global, donde en la actualidad su análisis forma una parte esencial en los modelos que estudian las transformaciones en el sistema tierra-atmósfera, precisamente lo concerniente a variabilidad climática y calentamiento planetario.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) por los fondos otorgados para desarrollar esta investigación (Beca de estudio Resolución N° 6, 4/4/2011 y Resolución N°1940, 10/06/2011).

## REFERENCIAS

- [1] R.G. Allen, L. S. Pereira, R. Dirk, and S. Martin. 1998. FAO Irrigation and Drainage. Paper N° 56. Crop Evapotranspiration.
- [2] S. Irmak, A. Irmak, J. W. Jones, T. A. Howell, J. M. Jacobs. 2003. Predicting Daily Net Radiation Using Minimum Climatological Data. Journal Of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 256-269.
- [3] W. Brutsaert. 2010. Evaporation into the Atmosphere. Theory, history and

applications. Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holland. 1-11, 128-153.

- [4] ASCE-EWRI. 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Report 0-7844-0805-X, ASCE Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.
- [5] D. Ocampo, R. Rivas. 2011. Evaluación de métodos de estimación de la evapotranspiración a escala mensual y anual en argentina: aplicación en zonas húmedas y áridas. CUADERNOS DEL CURIHAM, Vol 17, Pp 10. En prensa.
- [6] S. Ortega-Farías, R. Antonioletti, A. Olioso. 2000. Net radiation model evaluation at hourly time step for mediterranean conditions. Agronomie, 20,157-164.
- [7] F. Carmona, R. Rivas, D. Ocampo, J. Schirmbeck, M. Holzman. 2011. Sensors for the measurement and validation of hydrological variables at local and regional scales from energy balance. Journal Aqualac, 3 (1): 26-36, <http://www.unesco.org/uy/phi/aqualac/en/home.html>
- [8] M. F. Salinas, C. Z. Silva. 2007. Modelos de Regresión y Correlación II. Regresión Lineal Múltiple. Ciencia & Trabajo, 23, 39-41.
- [9] C. J. Willmott. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society, 63 (11), 1309-1369.
- ESTE TRABAJO PARTICIPA EN EL "CONCURSO PARA JÓVENES INVESTIGADORES"

# Composición Elemental de las Partículas del Aire de una Zona de Montevideo, Uruguay

## RESUMEN

Debido al impacto en la población que tiene la calidad del aire, es importante poder identificar y cuantificar los elementos químicos presentes en las fracciones de material particulado del aire PM 10 y PM 2,5.

En el presente estudio se considera el efecto de interferencia provocado por las cenizas del volcán Puyehue en el monitoreo de material particulado del aire iniciado en Montevideo en febrero de 2011.

Se utilizó un muestreador dicotómico Andersen y filtros de policarbonato expuestos por 24 horas. Se analizó la composición química elemental de las fracciones PM 2,5 y PM 10 en aproximadamente 100 membranas nucleopore utilizando fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía (EDXRF). Se midieron las membranas de la fracción PM 2.5 por reflectometría para estimar la concentración de Black Carbon.

Se analizaron los siguientes elementos: Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Pb. Sobre los resultados obtenidos se aplicó análisis de componentes principales (ACP) utilizando la herramienta estadística SPSS.

Se observó que el V y S se asocian mayoritariamente a la fracción PM 2,5 y los valores promedios de Pb y de material particulado PM 2,5 y PM 10 son menores a los límites recomendados por EPA antes del evento asociado a la erupción del volcán. Se identificaron fuentes de emisión que corresponden a suelo, tráfico, central térmica y refinería de petróleo.

María del Rosario Odino (1),  
Adriana M. Gabrielli (1),  
Lourdes A. Piuma (1),

Ethel A. Reina (2),  
Roberto Suárez Antola (1, 3).

1- Ministerio de Industria, Energía y Minería – Laboratorio de Tecnogestión, Hervidero 2861, Montevideo, Uruguay.

2- Dirección Nacional de Minería y Geología – Laboratorio de Tecnogestión, Hervidero 2861, Montevideo, Uruguay

3- Centro de Investigación y Desarrollo, Universidad Católica del Uruguay, 8 de Octubre 2801, Montevideo, Uruguay

[rosario.odino@miem.gub.uy](mailto:rosario.odino@miem.gub.uy)

Se observó un incremento de Si, Ca, Al, Fe y Sr en la fracción PM 10 en los días en que se reportó en Montevideo presencia de cenizas provocadas por el volcán. También se colectó polvo sedimentado que fue analizado por EDXRF. Los resultados del análisis químico elemental efectuado en el polvo sedimentado muestran una buena correlación con los resultados del análisis efectuado sobre los filtros en los días en que se observó el incidente.

Se analizó el polvo sedimentado por Espectrometría Gamma de Alta Resolución. Se detectó la presencia de <sup>7</sup>Be provocada por la interacción del polvo con los protones de los rayos cósmicos.

## INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se considera el efecto de interferencia provocado por las cenizas del volcán Puyehue en el monitoreo de material particulado del aire iniciado en Montevideo, Uruguay, en febrero de 2011.

La ciudad se localiza en las coordenadas 34° S 56° W extendida en la margen izquierda de Río de la Plata cuyo ordenamiento territorial evolucionó a partir de un puerto natural. Tiene aproximadamente una población de 1 900 000 habitantes que representan más de la mitad de la población total del país. Su clima se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 16.5 y 17 °C, una humedad relativa media anual 75-77%, una presión atmosférica media anual 1015.2-1015.4 HPa, una precipitación media anual que se registra regularmente a lo largo del año y es de

1000 a 1100 mm; una intensidad de vientos 5.5-6.0 (m/s) [1]. El invierno es húmedo, ventoso y nublado. En la ciudad los temporales y tormentas eléctricas son frecuentes. Los huracanes son excepcionales. En invierno es frecuente la irrupción de vientos helados relativamente secos o masas de aire polar continental con sensaciones térmicas negativas. El verano es cálido y húmedo, con poco viento.

En nuestro laboratorio se realiza en forma rutinaria la caracterización química elemental de las fracciones comprendidas entre 2,5 y 10  $\mu\text{m}$  de ahora en adelante abreviada como PM 10 y la fracción menor a 2,5  $\mu\text{m}$  de ahora en adelante abreviada como PM 2,5 [2] del material particulado del aire con el propósito de poder identificar y cuantificar fuentes de emisión asociadas al tráfico vehicular y a la operación de una central termoléctrica y una refinería de petróleo.

A partir de junio de 2011 se detectan eventos de intrusión de cenizas volcánicas en la ciudad que interfirieron con el proceso de muestreo de material particulado proveniente de las fuentes de emisión locales. Durante el muestreo de rutina la colecta del material particulado se realiza en intervalos de tiempo de 24 horas.

Se comenzó a percibir el fenómeno cuando el equipo de muestreo se detuvo antes de tiempo debido a que no fue capaz de mantener el flujo dentro los parámetros pre-establecidos. Luego las cenizas se hicieron visibles como polvo sedimentado el cual fue colectado para su análisis por Fluorescencia de Rayos X dispersiva en Energía y por Espectrometría Gamma de Alta Resolución.

En este trabajo se efectúa una comparación de las características (masa, composición elemental) de las muestras afectadas y no afectadas por los eventos de interferencia. Además mediante el uso de modelos de transporte se investigaron correlaciones entre los eventos locales y las emisiones del volcán Puyehue.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

El material particulado del aire fue colectado utilizando un muestreador dicotómico<sup>1</sup> equipado con cabezales PM 10 y PM 2,5 y membranas Nucleopore®. Dado que el muestreador utilizado esta diseñado para operar con flujos bajos, tiene la limitante

de que un aumento moderado de la resistencia aerodinámica del filtro interrumpe la operación de muestreo. Debido a esto el máximo intervalo de tiempo de operación y el volumen total de aire que atraviesa los filtros varía significativamente de acuerdo a las condiciones atmosféricas. Esto condujo a que los períodos de muestreo se establecieran entre 6 y 24 horas dependiendo de las condiciones de la atmósfera. El muestreador fue ubicado a una distancia mayor de 2 metros de altura para evitar la interferencia de las edificaciones y árboles circundantes. Las calles más cercanas se localizan a una distancia de 50 metros (Figura 1). El área de estudio constituye una zona en las cercanías a una ruta de acceso a la ciudad, una refinería de petróleo, una central termoeléctrica y al puerto principal del país (Figura 2).

Un total de 126 membranas (PM 10 N = 63, PM 2,5 N = 63) fueron colectadas en el período de Febrero a Septiembre de 2011.

Las membranas fueron acondicionadas y mantenidas en condiciones de humedad controlada ( $40 \pm 5\%$  HR) utilizando barras de <sup>210</sup>Po para eliminar la carga electrostática en los filtros por un período de más de 24 horas antes y después de la colecta del material particulado. Las mismas fueron pesadas utilizando una microbalanza<sup>2</sup> y medidas por Reflectometría<sup>3</sup> y por Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía (EDXRF)<sup>4</sup> [3]. La reflectancia de las membranas PM 2,5 fue medida siguiendo el procedimiento establecido por la Norma ISO 9835 [4] utilizando un reflectómetro previamente calibrado utilizando el mismo tipo de membrana para determinar el Black Carbon.

Mediante EDXRF fueron determinados los siguientes elementos: Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Pb con distinto grado de precisión y exactitud para las fracciones PM 10 y PM 2,5. El polvo sedimentado fue colectado el día 9 de junio de 2011 y fue analizado por EDXRF y por Espectrometría Gamma de Alta Resolución<sup>5</sup>. [5] Para el control de la metodología analítica se utilizó el material de referencia NIST 2783.

1 Andersen Dichotomous Sampler Serie 240.

2 Sartorius Filter microbalance M5P-00V001.

3 EEL Smoke Stain Reflectometer Modelo 43D.

4 Spectro Xepos.

5 Cadena Espectrometría Gamma (Detector de Ge modelo Canberra GC 3020).





Figura 1. Ubicación del muestreador Andersen

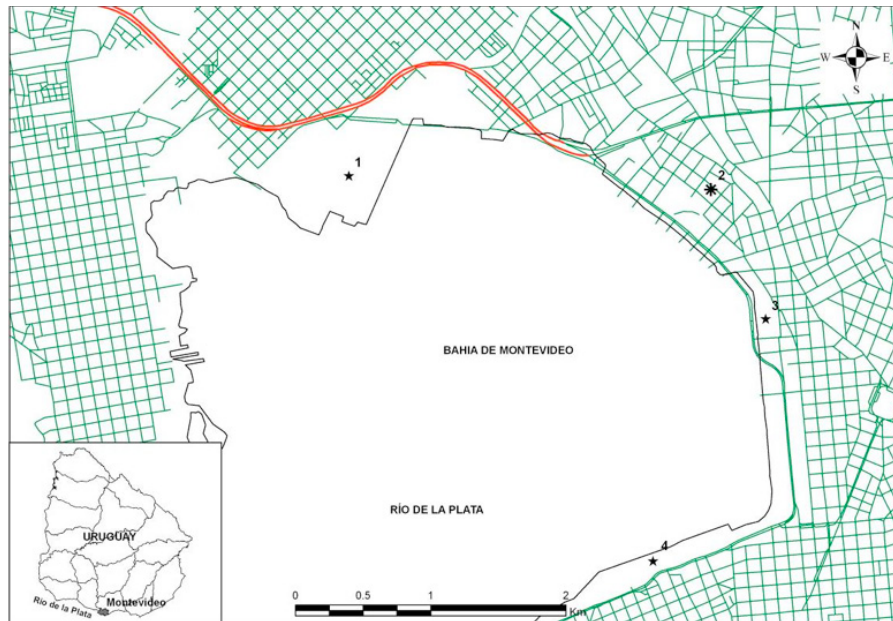


Figura 2. Área de estudio. En rojo: ruta de acceso a la ciudad. 1. Refinería de Petróleo; 2. Sitio de muestreo; 3. Central termoeléctrica; 4. Puerto

### Análisis de datos

Para comprobar si existe una diferencia significativa en los parámetros medidos en el estudio antes y durante el período en que ocurrió el evento, se utilizó el Test Estadístico de Mann-Whitney. Este test se aplicó para las fracciones PM 2,5 y PM10 y la relación PM2,5/PM10 en la concentración en masas y elementos. Esta herramienta se aplica cuando las variables no se comportan en forma normal y la varianza de las dos poblaciones de datos no es homogénea.

Los datos analíticos fueron procesados utilizando componentes principales [6] y rotación Varimax [7] para la identificación de las principales fuentes que afectan la composición química de las fracciones PM 10 y PM 2,5. Se realizaron dos análisis, uno considerando la totalidad de los datos obtenidos durante el estudio y otro quitando los días de la aparición de la interferencia. Para establecer el posible origen de la interferencia se aplicaron los modelos Hysplit para retro trayectorias de las partículas y para la dispersión de cenizas volcánicas [8].

### RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidencian un aumento significativo en las fracciones PM 2,5 y PM 10 para los elementos Al, Si, K, Ti, V, Mn, Fe, Cu, Pb. Mientras que el Ca mostró un aumento significativo solamente en PM 2.5. Ver Tabla I.

Parámetro	PM 2,5		Diferencia Significativa
	Febrero-Mayo	Junio-Setiembre	
	Mínimo-Máximo	Mínimo-Máximo	
Al (ng/m <sup>3</sup> )	<10 - 91	<10 - 677	Si
Si (ng/m <sup>3</sup> )	<10 - 706	13 - 4459	Si
S (ng/m <sup>3</sup> )	154 - 999	62 - 1376	No
Cl (ng/m <sup>3</sup> )	44 - 1541	94 - 3538	No
K (ng/m <sup>3</sup> )	43 - 1279	114 - 1959	Si
Ca (ng/m <sup>3</sup> )	57 - 345	58 - 723	Si
Ti (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 15	<5 - 49	Si
V (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 64	<5 - 56	Si
Mn (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 32	14 - 238	Si
Fe (ng/m <sup>3</sup> )	49 - 338	199 - 3166	Si
Cu (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 17	<5 - 56	Si
Zn (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 124	<5 - 31	Si
Pb (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 61	11 - 70	Si

PM 10			
Parámetro	Febrero-Mayo	Junio-Setiembre	Diferencia Significativa
	Mínimo-Máximo	Mínimo-Máximo	
Al (ng/m <sup>3</sup> )	<10 - 454	40 - 2643	Si
Si (ng/m <sup>3</sup> )	156 - 2099	191 - 15756	Si
S (ng/m <sup>3</sup> )	33 - 208	<10 - 244	Si
Cl (ng/m <sup>3</sup> )	186 - 3260	104 - 4301	Si
K (ng/m <sup>3</sup> )	106 - 480	94 - 3239	Si
Ca (ng/m <sup>3</sup> )	314 - 1178	207 - 1825	No
Ti (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 73	8 - 460	Si
V (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 22	2 - 90	Si
Mn (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 36	19 - 280	Si
Fe (ng/m <sup>3</sup> )	155 - 855	395 - 4697	Si
Cu (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 15	<5 - 60	Si
Zn (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 41	<5 - 29	No
Pb (ng/m <sup>3</sup> )	<5 - 9	7 - 79	Si
Masa (µg/m <sup>3</sup> )	2 - 44	2 - 207	Si

Tabla I. Intervalo de valores para los elementos (ng/m<sup>3</sup>); fracciones PM 2,5 y PM 10 (µg/m<sup>3</sup>) analizados antes (febrero – mayo) y durante la aparición de la interferencia (junio – setiembre).

Como se observa en la Tabla II, la relación PM 2,5 / PM 10 muestra que Al, Si, Ca, Ti, Mn y Fe se asocian mayoritariamente a la fracción PM 10. Mientras que S, K, V, Cu, Zn y Pb se asocian mayoritariamente a la fracción 2.5. Esta misma asociación se observa antes y después del evento. La relación PM 2,5/ PM 10 aumentó para S, Cl, Ca, Fe, mientras que para Al, Si, K, Ti, Mn, Cu se mantuvo constante. La relación en masas PM 2,5/PM10 no mostró variación.

PM 2,5/PM 10			
Relación	Febrero-Mayo	Junio-Setiembre	Diferencia Significativa
	Promedio	Promedio	
Al (ng/m <sup>3</sup> )	0.18	0.21	No
Si (ng/m <sup>3</sup> )	0.14	0.15	No
S (ng/m <sup>3</sup> )	4.0	15.0	Si
Cl (ng/m <sup>3</sup> )	0.40	1.1	Si
K (ng/m <sup>3</sup> )	1.3	1.1	No
Ca (ng/m <sup>3</sup> )	0.23	0.31	Si
Ti (ng/m <sup>3</sup> )	0.29	0.30	No
V (ng/m <sup>3</sup> )	3.2	1.7	Si
Mn (ng/m <sup>3</sup> )	0.66	0.74	No
Fe (ng/m <sup>3</sup> )	0.38	0.57	Si
Cu (ng/m <sup>3</sup> )	1.3	1.3	No
Zn (ng/m <sup>3</sup> )	3.0	2.0	Si
Pb (ng/m <sup>3</sup> )	2.4	1.4	Si
Masa (µg/m <sup>3</sup> )	0.94	0.72	No

Tabla II. Relación PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> expresada como promedio para cada elemento considerando un periodo previo al evento de interferencia y el periodo en que se produjo el evento.

Es destacable el aumento de las concentraciones V y Pb en la fracción PM 10 durante la ocurrencia del fenómeno dado que la relación de PM<sub>2,5</sub> / PM<sub>10</sub> disminuyó para estos elementos. Ver figura 3.

Los valores de Pb en ambas fracciones son menores a los límites recomendados por EPA (150 ng/m<sup>3</sup>). En algunos días del período en que se produjo el evento las concentraciones de PM 2,5 y PM<sub>10</sub> superaron los límites recomendados por EPA (PM 2,5 = 35 µg/m<sup>3</sup>; PM 10 = 150 µg/m<sup>3</sup>). Ver figuras 4 y 5.

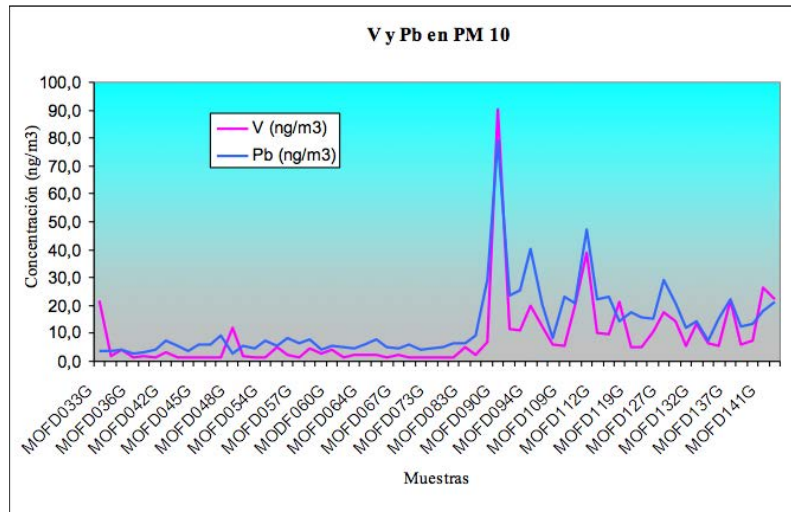


Figura 3. Concentraciones de V y Pb (ng/m<sup>3</sup>) en la fracción PM 10 durante todo el intervalo de tiempo estudiado. A partir de la muestra MOFD090 (9 de junio) se observa el aumento en las concentraciones.

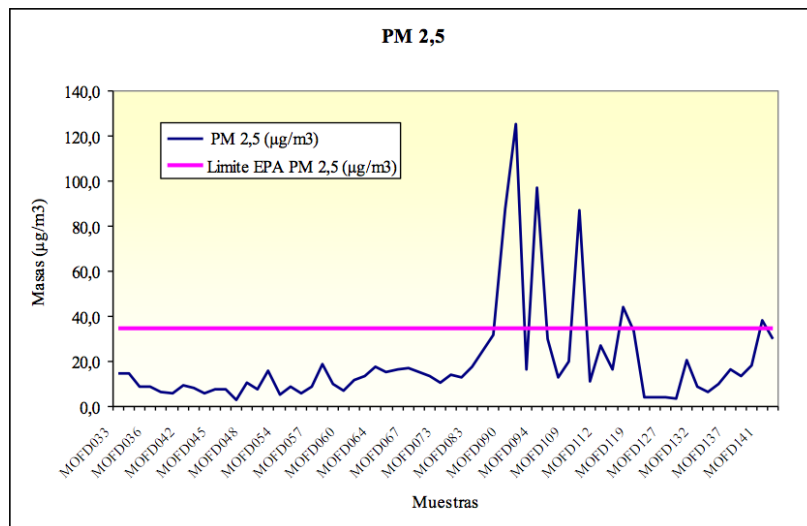


Figura 4. Concentraciones de la fracción PM 2,5 (µg/m<sup>3</sup>) durante todo el intervalo de tiempo estudiado. A partir de la muestra MOFD090 (9 de junio) se observa el aumento en las concentraciones superando los límites recomendados por EPA.

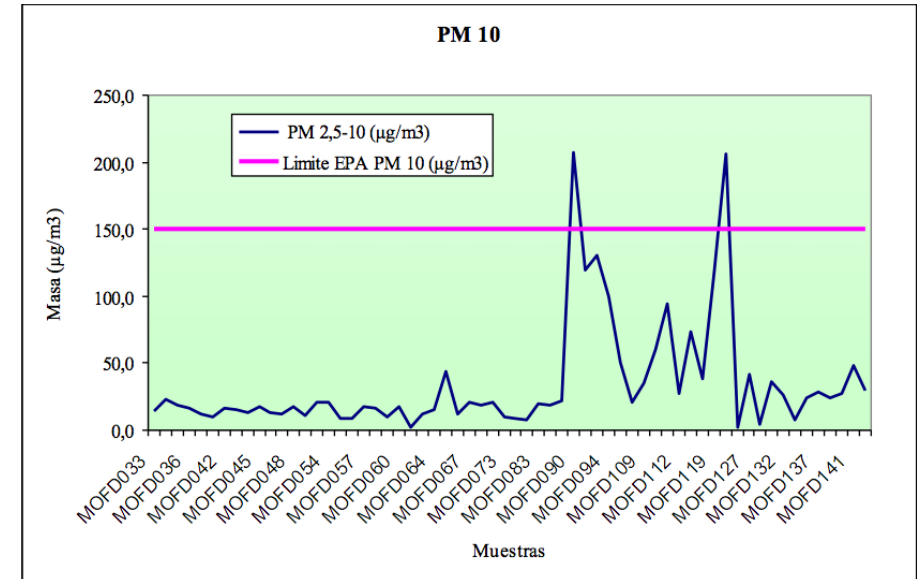


Figura 5. Concentraciones de la fracción PM 10 (µg/m<sup>3</sup>) durante todo el intervalo de tiempo estudiado. A partir de la muestra MOFD090 (9 de junio) se observa el aumento en las concentraciones, durante dos días del estudio se supera el límite recomendado por EPA en dos oportunidades.

En el análisis de componentes principales para la fracción PM 2,5 quitando los datos que muestran la interferencia se obtuvieron 4 componentes (fuentes). Estos componentes explican el 77.7 % de la varianza. Ver tabla III. El primer componente, muestra una alta correlación entre los elementos mayoritarios Si, Cl, K, Ca y Fe que están claramente ligados a la corteza terrestre. El segundo componente muestra una afinidad entre Mn, Fe, Cu y Pb que es consistente con fuentes antropogénicas ligadas a la actividad metalúrgica de la zona. El tercer factor está asociado a S, V que se pueden deber a combustible utilizado en transporte pesado, a la operación de la central térmica próxima y a la refinera de petróleo. El cuarto factor muestra una buena correlación entre Zn y Black Carbon que puede estar asociado al alto tránsito de la zona.

	Componente			
	1 % Varianza 25,4	2 % Varianza 20.8	3 % Varianza 16.0	4 % Varianza 15.5
Si (ng/m3)	<b>,922</b>	,181	,033	,030
S (ng/m3)	,325	-,032	<b>,829</b>	,334
Cl (ng/m3)	<b>,800</b>	-,190	-,114	,051
K (ng/m3)	<b>,660</b>	,193	,449	,079
Ca (ng/m3)	<b>,804</b>	,295	,224	-,084
V (ng/m3)	-,013	,227	<b>,834</b>	-,085
Mn (ng/m3)	,266	<b>,776</b>	,160	-,486
Fe (ng/m3)	<b>,504</b>	<b>,720</b>	,136	-,349
Cu (ng/m3)	-,147	<b>,629</b>	,429	,089
Zn (ng/m3)	-,036	,105	-,027	<b>,799</b>
Pb (ng/m3)	,098	<b>,844</b>	-,021	,276
Black Carbon (ng/m3)	,102	-,096	,206	<b>,801</b>

Tabla III. Resultados en la fracción PM 2,5 sin considerar la interferencia. Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. En negritas se señalan los factores considerados (loading factor > 0.5).

En el análisis de componentes principales para la fracción PM 2,5 considerando la totalidad de los datos del período de estudio se obtuvieron 3 componentes (fuentes) que explican el 72.6 % de la varianza. Ver tabla IV. El primer componente, muestra una correlación entre Ca, Ti, V, Mn, Fe, Cu y Pb. Estos elementos son algunos de los que aumentaron en forma significativa durante la aparición del evento por lo que esta fuente se podría asociar a la contribución de las cenizas volcánicas que ocasionaron la interferencia. En el segundo componente se observa asociación en Al, Si, Cl, K, Ca, BC que es consistente con elementos asociados a la corteza terrestre, quema de biomasa y a cenizas volcánicas (Al, Si, K) ya que en estos elementos su concentración aumentó significativamente durante el evento.

El tercer factor esta asociado a S, V, Zn y BC que se pueden deber a combustible utilizado en transporte pesado, a la operación de la central térmica próxima y a la refinería de petróleo.

	Componente		
	1 % Varianza 34.6	2 % Varianza 25.2	3 % Varianza 12.8
Al (ng/m3)	,397	<b>,867</b>	-,077
Si (ng/m3)	,378	<b>,888</b>	-,055
S (ng/m3)	,327	,285	<b>,757</b>
Cl (ng/m3)	-,129	<b>,798</b>	,103
K (ng/m3)	,321	<b>,738</b>	,258
Ca (ng/m3)	<b>,781</b>	<b>,535</b>	,073
Ti (ng/m3)	<b>,747</b>	,195	-,165
V (ng/m3)	<b>,524</b>	-,192	<b>,541</b>
Mn (ng/m3)	<b>,909</b>	,129	,003
Fe (ng/m3)	<b>,917</b>	,279	-,020
Cu (ng/m3)	<b>,758</b>	,047	,104
Zn (ng/m3)	-,102	-,047	<b>,618</b>
Pb (ng/m3)	<b>,780</b>	,084	,198
Black Carbon (ng/m3)	-,129	<b>,513</b>	<b>,609</b>

Tabla IV. Resultados en la fracción PM 2,5 considerando la interferencia. Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. En negritas se señalan los factores considerados (loading factor > 0.5).

Como se observa en las tablas V y VI para la fracción PM 10 se obtuvieron tres componentes al efectuar los análisis de componentes principales.

El primer componente muestra elementos asociados a la corteza terrestre en ambos casos. El segundo componente se ve afectado por la presencia de las cenizas volcánicas ya que el aumento de las concentraciones de V, Mn, Cu, Pb en PM 10 ocasiona que aumente el porcentaje del componente en la varianza.



	Componente		
	1 % Varianza 46.0	2 % Varianza 23.8	3 % Varianza 13.1
Al(ng/m3)	<b>,980</b>	-,137	,011
Si(ng/m3)	<b>,972</b>	-,071	,107
S (ng/m3)	-,012	<b>,864</b>	-,230
Cl (ng/m3)	-,201	<b>,848</b>	-,036
K (ng/m3)	<b>,978</b>	-,060	,096
Ca(ng/m3)	<b>,589</b>	,432	,385
Ti (ng/m3)	<b>,958</b>	,010	,024
Mn(ng/m3)	<b>,636</b>	-,509	,495
Fe(ng/m3)	<b>,920</b>	-,305	,209
Cu (ng/m3)	,032	-,037	<b>,891</b>
Zn (ng/m3)	,018	<b>,703</b>	,095
Pb (ng/m3)	,327	-,573	<b>,505</b>

Tabla V. Resultados en la fracción PM 10 sin considerar la interferencia. Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. En negritas se señalan los factores considerados (loading factor > 0.5).

	Componente		
	1 % Varianza 44.0	2 % Varianza 25.1	3 % Varianza 16.9
Al(ng/m3)	<b>,957</b>	,213	-,091
Si(ng/m3)	<b>,966</b>	,221	-,045
S (ng/m3)	-,043	-,330	<b>,865</b>
Cl (ng/m3)	-,030	-,148	<b>,909</b>
K (ng/m3)	<b>,961</b>	,248	-,032
Ca(ng/m3)	<b>,794</b>	,349	,277
Ti (ng/m3)	<b>,974</b>	,072	-,046
V (ng/m3)	,104	<b>,921</b>	-,030
Mn(ng/m3)	<b>,643</b>	<b>,733</b>	-,139
Fe(ng/m3)	<b>,859</b>	,487	-,095
Cu (ng/m3)	,233	<b>,624</b>	-,010
Zn (ng/m3)	-,001	,276	<b>,706</b>
Pb (ng/m3)	,380	<b>,874</b>	-,100

Tabla VI. Resultados en la fracción PM 10 considerando la interferencia. Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. En negritas se señalan los factores considerados (loading factor > 0.5).

La figura 6 muestra la buena correlación existente entre los elementos mayoritarios Al y Si durante el período de estudio. Existe una buena correlación entre los elementos durante todo el período, esto muestra que el Al y Si provienen del mismo tipo de fuente antes y durante el evento. Por otro lado en la figura 7 se muestra la correlación existente entre Vanadio y Azufre en la fracción PM 2,5 antes y durante el evento. Antes del mismo se observa que existe una buena correlación entre los elementos ( $R^2 = 0.81$ ) y durante el evento la correlación claramente se ve disminuida ( $R^2 = 0.21$ ). Esto sugiere que existe una contribución proveniente del evento que interfiere en la correlación inicial de estos elementos.

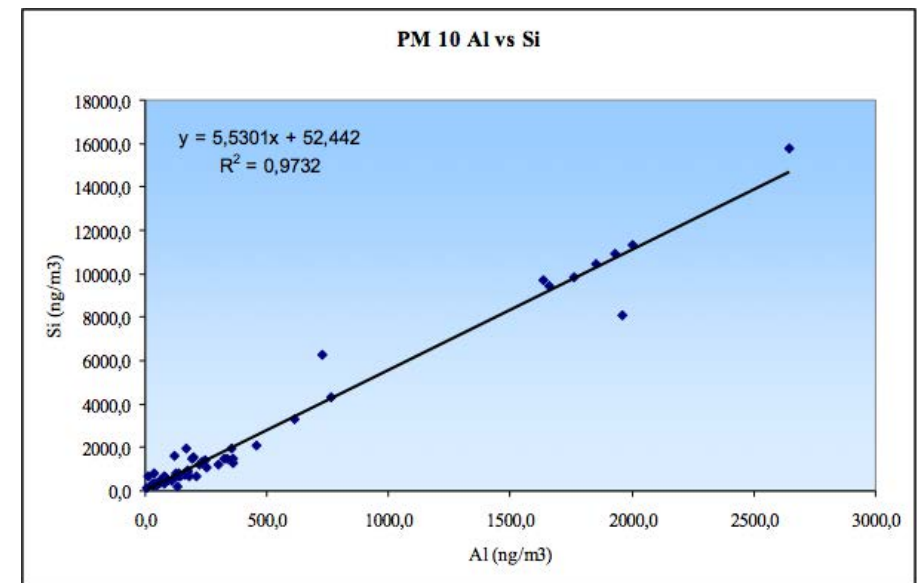


Figura 6. Correlación entre Al y Si en la fracción PM 10 en el período Febrero-Setiembre.



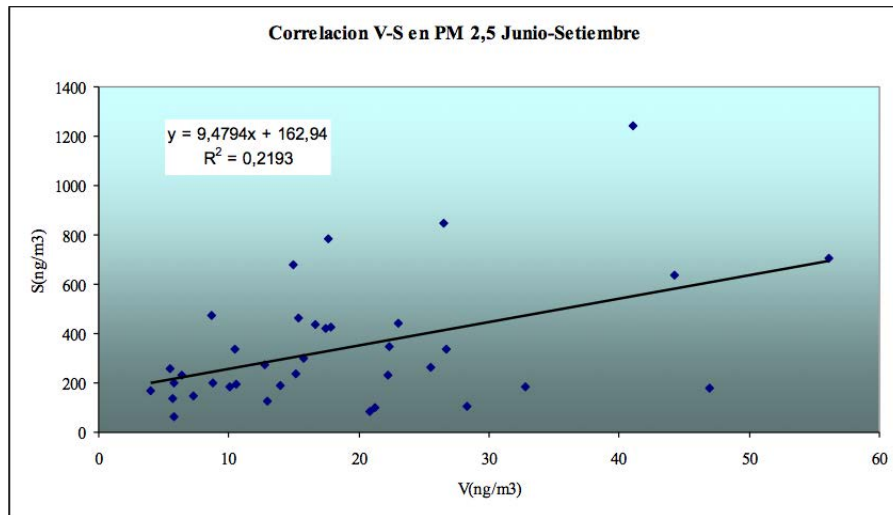
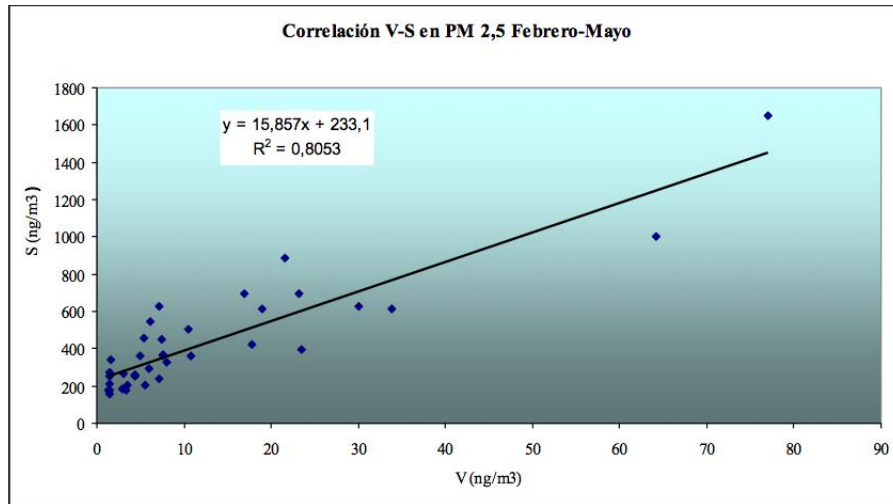


Figura 6. Correlación entre V y S en la fracción PM 2,5. En el gráfico superior se muestra la correlación en el período Febrero –Mayo. En el gráfico inferior se muestra la correlación durante el evento.

El análisis del polvo sedimentado por EDXRF se muestra en la tabla VII en donde se observan elementos (Si, Al, Ca, Fe, K, Ti, Mn, Pb, V y Cu) que mostraron una alteración significativa de concentración en las fracciones de material particulado estudiadas.

Elemento	Concentración	Unidades
Silicio	24 ± 2	%
Aluminio	4.4 ± 0.5	%
Calcio	3.0 ± 0.3	%
Hierro	3.0 ± 0.3	%
Potasio	1.9 ± 0.3	%
Azufre	0.62 ± 0.06	%
Titanio	0.41 ± 0.04	%
Cloro	0.39 ± 0.04	%
Fósforo	0.27 ± 0.03	%
Manganeso	681 ± 60	µg/g
Zinc	622 ± 60	µg/g
Bario	610 ± 60	µg/g
Zirconio	364 ± 40	µg/g
Estroncio	188 ± 20	µg/g
Plomo	157 ± 20	µg/g
Vanadio	141 ± 15	µg/g
Cobre	130 ± 15	µg/g
Rubidio	83 ± 8	µg/g
Cromo	78 ± 8	µg/g
Niquel	71 ± 8	µg/g
Arsénico	9 ± 1	µg/g
Estaño	9 ± 1	µg/g

Tabla VII Resultados del análisis del polvo sedimentado analizado por EDXRF.

En la figura 7 se muestran dos espectros del análisis efectuado por EDXRF en donde se señalan los picos de los elementos cuantificados en el polvo sedimentado que provocaron el fenómeno de interferencia.

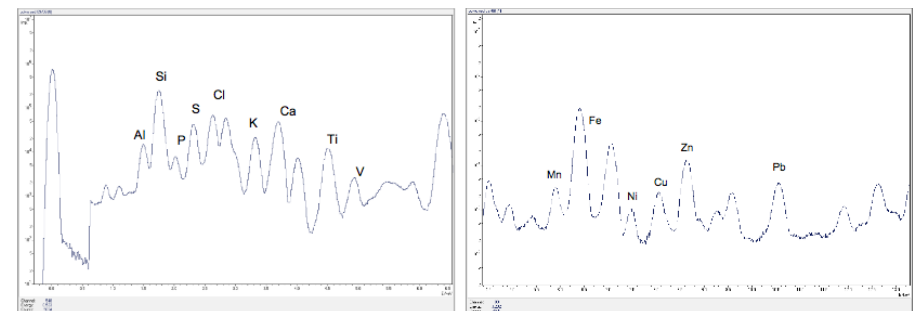


Figura 7. Espectro de EDXRF del polvo sedimentado.

En el análisis por Espectrometría Gamma de Alta Resolución se detectó la presencia de un pico en la región de 477- 478 KeV que se corresponde con un pico de  ${}^7\text{Be}$ . Este es un radionucleido de origen cosmogénico, con una semivida de desintegración de 57 días, que se produce por la interacción de los protones altamente energéticos de la radiación cósmica con el N y O de las capas más altas de la atmósfera. Estos hechos evidencian que el polvo sedimentado analizado fue transportado a través de las altas capas de la atmósfera, por encima de la estratosfera, donde se producen este tipo fenómenos [9].

Al aplicar el modelo Hysplit para la dispersión de cenizas volcánicas del volcán Puyehue, en los días que se detectaron los episodios (9, 13 y 15 de junio; 7, 11, 13, 25, 26, 27, 28 y 29 de julio, 2, 26 de agosto, 2, 7, 8, 9, 13 y 15 de setiembre) se corroboró la presencia de la nube de cenizas volcánicas procedentes del volcán Puyehue sobre la ciudad de Montevideo.

Este modelo se encuentra disponible online en la siguiente dirección:

<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html> y su uso es muy sencillo debido a que la mayor parte de los datos ya están precargados y actualizados. Los datos a ingresar dependen del uso que se le va a dar al modelo. En el caso de este trabajo se utilizó en una primera instancia el modelo para estimar retro trayectorias. Al hacer esto se encontraron dificultades en la identificación del origen. Estas se relacionan con la especificación de alturas sobre la superficie de la tierra al correr el modelo. No obstante esto las retro trayectorias apuntaban a que el origen de la interferencia provenía del volcán Puyehue. En vista de este resultado se realizó una corrida del modelo en la modalidad dispersión de cenizas (modalidad predictiva). Ver ejemplo en la figura 8 para el día 8 y 9 de junio de 2011.

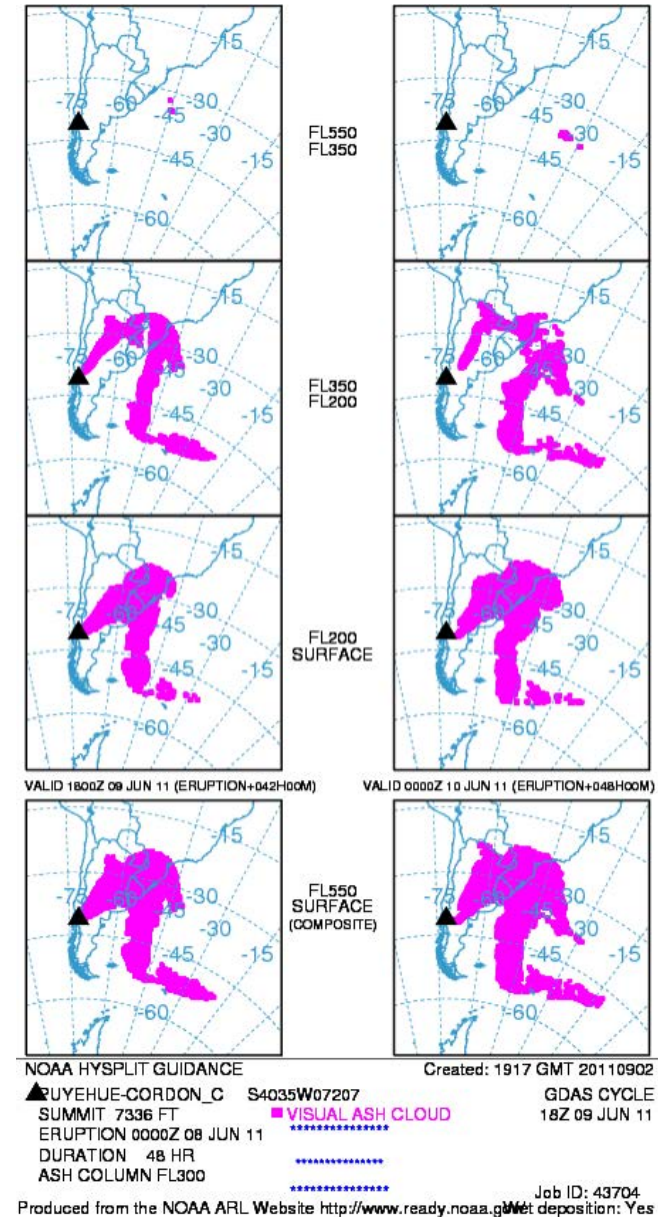


Figura 8. Gráfico del modelo de dispersión de cenizas del volcán Puyehue en el período del 8 a 9 de junio de 2011.

## CONCLUSIONES

La identificación de fuentes de emisión de partículas de origen local, utilizando los métodos estadísticos (componentes principales), se vio impedida debido a la alteración en las asociaciones entre los elementos químicos analizados.

La aparición del pico de  $^7\text{Be}$  en el polvo sedimentado suministra una evidencia que sugiere que éste proviene de una erupción volcánica.

La utilización del modelo Hysplit para dispersión de cenizas precedido por el modelo de retrotrayectoria permitió identificar el volcán que originó el fenómeno de interferencia.

Con todas las evidencias obtenidas se puede concluir que la interferencia observada en el período de estudio proviene de la erupción del volcán Puyehue.

## REFERENCIAS

- [1] Dirección Nacional de Meteorología, 1961-1990, (<http://www.meteorologia.gub.uy/index.php/caracteristicas-climaticas.html>).
- [2] EPA, 1999, Compendium Method IO-2.2, Sampling of Air for PM 10 Using an Andersen Dichotomous Sampler.
- [3] Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, 1999, Determination of Metals in Ambient Particulate Matter using X-Ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy.
- [4] Internacional Estándar ISO 9835, 1993, Ambient Air- Determination of a Black Smoke Index, Reference Number ISO 9835:1993(E).
- [5] Michael F. L`Annunziata, 2003. Handbook of Radioactivity Analysis, Second Edition.
- [6] Manual del usuario del sistema básico IBM SPSS Statistics 19.
- [7] Kaiser H F., 1958, The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis, Psychometrika, 23:187-200.
- [8] R.R. Draxler and G.D. Rolph, 2003, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD., (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>).
- [9] <http://www.physics.isu.edu/radinf/natural.htm>

# Caracterización fisicoquímica y radioquímica de polvo sedimentado en los departamentos de Colonia y Soriano de Uruguay

## RESUMEN

En el presente trabajo se caracteriza polvo sedimentado en los Departamentos de Colonia y de Soriano de Uruguay como resultado de un evento inusual que ocurrió en el mes de julio del año 2010.

Con el fin de poder identificar el polvo sedimentado se efectuó una caracterización fisicoquímica, un análisis por Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía (EDXRF) y un análisis por Espectrometría Gamma de Alta Resolución.

Con los resultados obtenidos por EDXRF se calculó el Factor de Enriquecimiento utilizando la matriz de Mason.

El análisis macroscópico indicó que se trata de una muestra homogénea de color ocre –beige. En el análisis microscópico se observó la presencia de sedimento limo arenoso con clastos de cuarzo y de feldespato.

La composición química indicó la presencia de un material mineral compuesto principalmente por Al y Si, Fe, Mn y en menor porcentaje Ca. Se observó la presencia de S, Cl, P, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb, Th.

El cálculo del factor de enriquecimiento mostró que los elementos As y Zn se encuentran enriquecidos en un factor mayor de 40.

María del Rosario Odino (1),  
Adriana M. Gabrielli (1),  
Lourdes A. Piñuma (1),

Ethel A. Reina (2),  
Roberto Suárez Antola (1, 3).

1- Ministerio de Industria, Energía y Minería – Laboratorio de Tecnogestión, Hervidero 2861, Montevideo, Uruguay.

2- Dirección Nacional de Minería y Geología – Laboratorio de Tecnogestión, Hervidero 2861, Montevideo, Uruguay

3- Centro de Investigación y Desarrollo, Universidad Católica del Uruguay, 8 de Octubre 2801, Montevideo, Uruguay

[rosario.odino@miem.gub.uy](mailto:rosario.odino@miem.gub.uy)

Del análisis por Espectrometría Gamma de Alta Resolución se identificaron radionucleidos naturales y entre ellos la presencia de  $^7\text{Be}$  en alta concentración de actividad, indicando que dicho material ha sido transportado por vía atmosférica.

Se realizaron simulaciones digitales aplicando el modelo de retrotrayectorias - NOAA HYSPLIT MODEL para intentar identificar el origen del evento.

## INTRODUCCIÓN

En la última semana del mes de julio del año 2010 en los departamentos de Colonia y Soriano, Uruguay se detectó la presencia de un polvo sedimentado de origen desconocido, asociado a una lluvia. Ver Figura 1. Esto motivó la inquietud y consulta por parte de la población para poder establecer su identificación y posible origen del mismo. En el laboratorio se recibieron dos muestras de dicho polvo.

La primera interrogante que se planteó fue si el polvo sedimentado era ocasionado por un fenómeno natural o por el contrario era antropogénico.

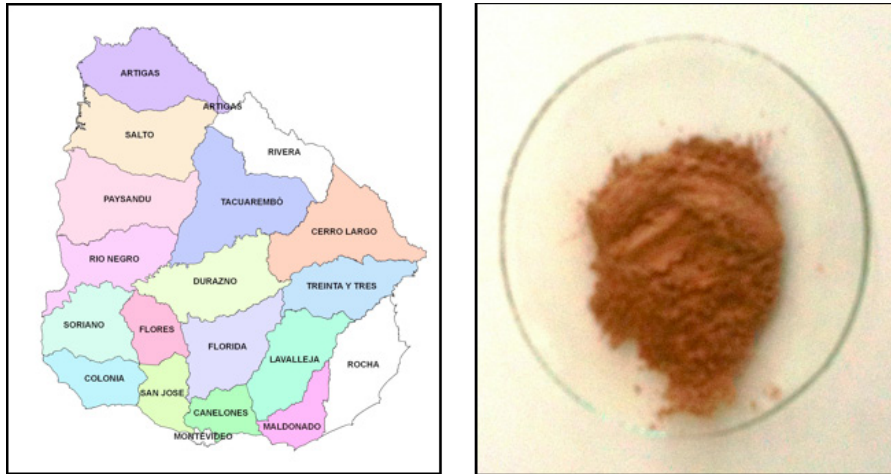


Figura 1. Se señala en rojo la zona de aparición del polvo sedimentado. A la derecha una foto del polvo recogido.

Para intentar establecer la identidad del polvo se realizó una caracterización macroscópica, una caracterización fisicoquímica y un análisis por Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía (EDXRF) <sup>1</sup>. De esta manera se determinó cuantitativamente la composición química elemental. Debido a que la deposición del polvo ocurrió luego de una precipitación se manejó la hipótesis de que el polvo estuvo suspendido en la atmósfera un período de tiempo indeterminado y la lluvia fue causante de que el polvo se depositara. Considerando que las partículas que permanecen mucho tiempo en la atmósfera son las que se encuentran viajando a grandes alturas y son transportadas grandes distancias se realizó al polvo sedimentado un análisis por Espectrometría Gamma de Alta Resolución <sup>2</sup> para poder confirmar este hecho.

Luego de que se detectó la presencia de un pico de <sup>7</sup>Be, se obtuvo evidencia de que las partículas podrían haber permanecido un tiempo prolongado en capas altas de la atmósfera [1]. Esto último de ser cierto implicaría que el origen del polvo no sería ocasionado por una actividad antropogénica local.

1 *Spectro Xepos*

2 *Cadena Espectrometría Gamma (Detector de Ge modelo Canberra GC 3020).*

Es entonces que se decidió aplicar el modelo Hysplit [2] en su modalidad predictiva y de retrotrayectorias para conocer las posibles ubicaciones de las fuentes de origen del polvo.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

Con el fin de poder identificar el polvo sedimentado se efectuó una caracterización fisicoquímica, un análisis por Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía (EDXRF) y un análisis por Espectrometría Gamma de Alta Resolución [3].

### Caracterización macroscópica, microscópica y fisicoquímica

Se observa el polvo y se describe sus características macroscópicas. Se prepara un frotis para la observación al microscopio <sup>3</sup>. Se analiza la solubilidad en agua y en ácido clorhídrico concentrado. Se determinan el % de humedad ( $50 \pm 5$  °C), materia orgánica ( $500 \pm 10$  °C) y pérdida por calcinación ( $1000 \pm 10$  °C).

### Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energías

La muestra seca se irradia con la energía de distintos blancos secundarios. Con cada blanco secundario se obtiene un espectro en el cual se identifican cualitativamente y cuantitativamente elementos presentes en la muestra con distinto grado de precisión y exactitud. Para el control de la metodología analítica se utilizó los materiales de referencia certificados NIST 2704 (Buffalo River Sediment), IAEA - SOIL 7, IAEA - SL - 1 (Trace and Minor Elements in Lake Sediment) y BCR - 2 (Basalt Columbia River)

### Espectrometría Gamma de Alta Resolución

Se realiza una medición por Espectrometría Gamma de Alta Resolución durante 9000 segundos.

### Análisis de Datos

A los elementos determinados cuantitativamente a través de EDXRF se le realizó el cálculo de factor de enriquecimiento utilizando la matriz de Mason. Si bien en ciertos casos, la concentración absoluta de un elemento proporciona buena información, a veces resulta ser limitada, por tal motivo se han definido diferentes factores como el Factor de Enriquecimiento para evaluar fuentes adicionales de un elemento con respecto a una fuente principal de referencia. Este factor permite evaluar la contribución de las

3 *Zeiss Axioplan*



fuentes adicionales de un elemento dado con respecto a una fuente de tipo natural.

La Dirección Nacional de Medio Ambiente de Uruguay informó que el polvo que motiva este trabajo y se detectó sobre el territorio uruguayo el 19 de Julio de 2010 estaba asociado a un evento producido en Bolivia. En esa misma época se registró un fenómeno similar en la ciudad de Buenos Aires y alrededores. Las fotos satelitales tomadas a través del sistema MODIS del satélite Aqua de la NASA el día 18 de Julio de 2010 [4], indican la presencia de una tormenta muy importante de polvo rojizo en el sureste de Bolivia y norte argentino. Ver figura 2.

Por este motivo se estableció la hipótesis de que el polvo estudiado provenía de Bolivia. Se aplicó el modelo HYSPLIT en las modalidades predictivas y retrotrayectorias. Se fijaron los siguientes parámetros: Fechas 18 y 19 de julio y las coordenadas geográficas para Bolivia (predictiva) y para el departamento de Colonia (retrotrayectorias). También se aplicó el modelo Hysplit para dispersión de cenizas considerando diferentes puntos de origen en Bolivia.

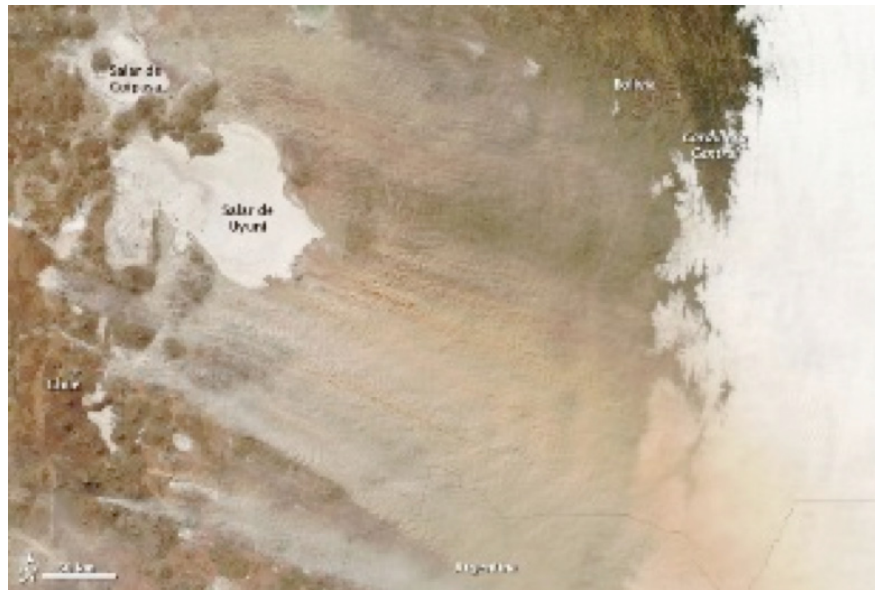


Figura 2. Fotografía MODIS del satélite Aqua de la NASA el día 18 de Julio de 2010.

## RESULTADOS

El análisis macroscópico indicó que se trata de un polvo homogéneo micronizado de color ocre –beige. En el análisis microscópico se observó la presencia de clastos de cuarzo y feldespato, así como opacos y algunos fragmentos cristalinos no reconocidos de color naranja. Ocasionalmente se reconocen algunas caras cristalinas en feldespatos indicando disminución en el flujo de transporte. Los tamaños granulométricos oscilan entre 0,1 y 0,5 mm, esto en referencia a la fracción que se puede medir, el resto son partículas inferiores <sup>4</sup>. Las características fisicoquímicas muestran que se trata de un polvo soluble en agua, con un leve desprendimiento gaseoso en ácido clorhídrico concentrado, que indica la presencia de carbonatos.

La humedad es de  $1,8 \pm 0,2$  %. El contenido de materia orgánica es de  $5,8 \pm 0,6$  %. La pérdida por calcinación es de  $3,5 \pm 0,4$  %.

El análisis del polvo sedimentado por EDXRF se muestra en la tabla I en donde se observan elementos mayoritarios expresados como óxidos (Si, Al, K, Ca, Ti y Fe) y vestigios de S, P, Cl, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb, Th.

El cálculo del factor de enriquecimiento mostró que los elementos As y Zn se encuentran enriquecidos en un factor mayor de 40. Ver Figuras 3 a, b y 4 a, b.

Elemento	Concentración	Unidades
SiO <sub>2</sub>	61 ± 6	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15 ± 2	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.5 ± 0.5	%
CaO	4.2 ± 0.5	%
K <sub>2</sub> O	2.8 ± 0.3	%
TiO <sub>2</sub>	0.9 ± 0.1	%
Mn	746 ± 75	µg/g
S	908 ± 90	µg/g
P	1071 ± 100	µg/g
Cl	145 ± 15	µg/g
V	98 ± 10	µg/g
Cr	65 ± 6	µg/g
Ni	27.7 ± 3.0	µg/g
Cu	100.5 ± 10	µg/g
Zn	4847 ± 500	µg/g
Ga	26.3 ± 3.0	µg/g
As	81.9 ± 9.0	µg/g
Br	3.1 ± 0.5	µg/g
Rb	123.6 ± 13.0	µg/g
Sr	396.7 ± 40.0	µg/g
Y	20.8 ± 2.0	µg/g
Zr	162 ± 16	µg/g
Nb	11.6 ± 1.0	µg/g
Ba	812 ± 80	µg/g
Pb	44.8 ± 4.5	µg/g
Th	13 ± 2	µg/g

Tabla I. Resultados del análisis del polvo sedimentado analizado por EDXRF.

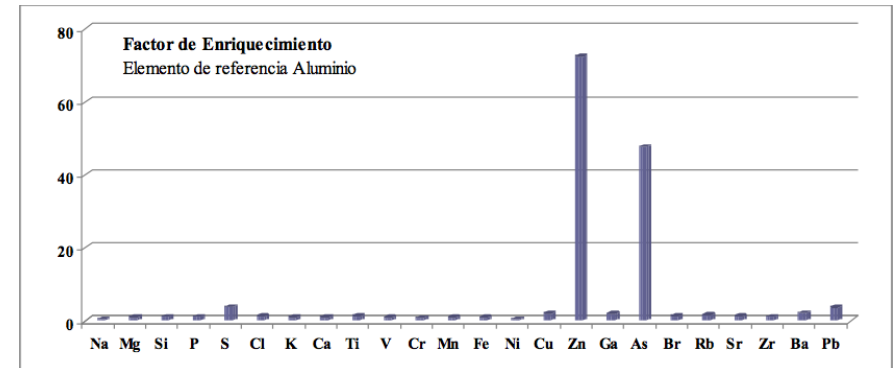


Figura 3 a. Factor de Enriquecimiento utilizando como elemento de referencia el Aluminio.

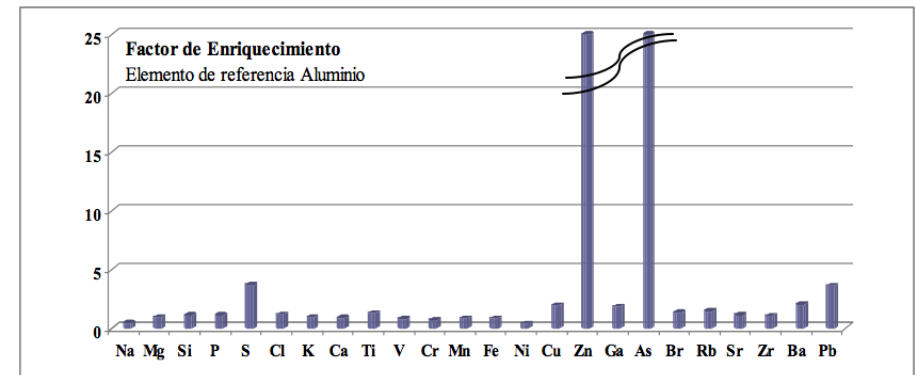


Figura 3 b. Factor de Enriquecimiento (ampliación de la imagen anterior)

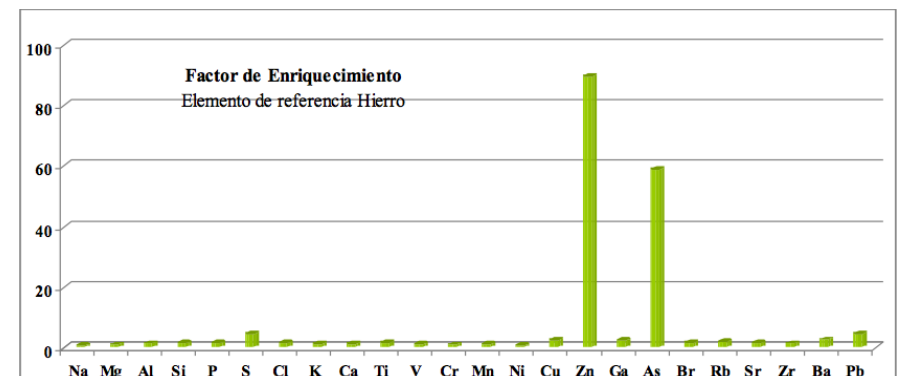


Figura 4 a. Factor de Enriquecimiento utilizando como elemento de referencia el Hierro.

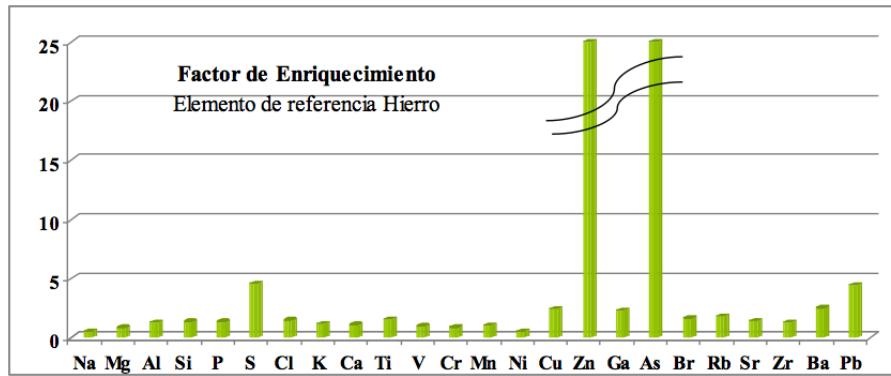


Figura 4 b. Factor de Enriquecimiento (ampliación de la imagen anterior)

En el análisis por Espectrometría Gamma de Alta Resolución se detectó la presencia de radionucleidos de origen natural como  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  y un pico en la región de 477- 478 KeV que corresponde a  $^7\text{Be}$ . Ver figura 5. Este es un radionucleido de origen cosmogénico, con una semivida de desintegración de 57 días, que se produce por la interacción de los protones altamente energéticos de la radiación cósmica con el N y O de las capas más altas de la atmósfera. Estos hechos evidencian que el polvo sedimentado analizado fue transportado a través de las altas capas de la atmósfera, por encima de la estratosfera, donde se producen este tipo fenómenos [4].

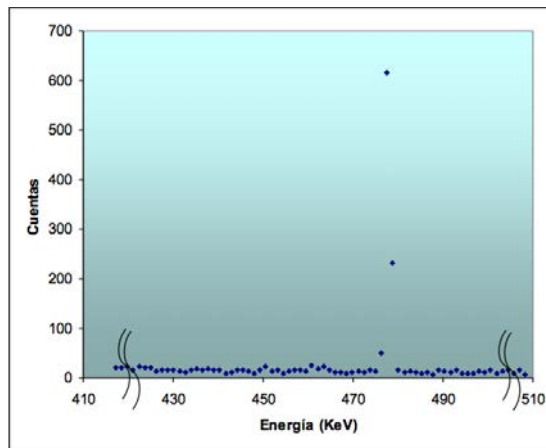
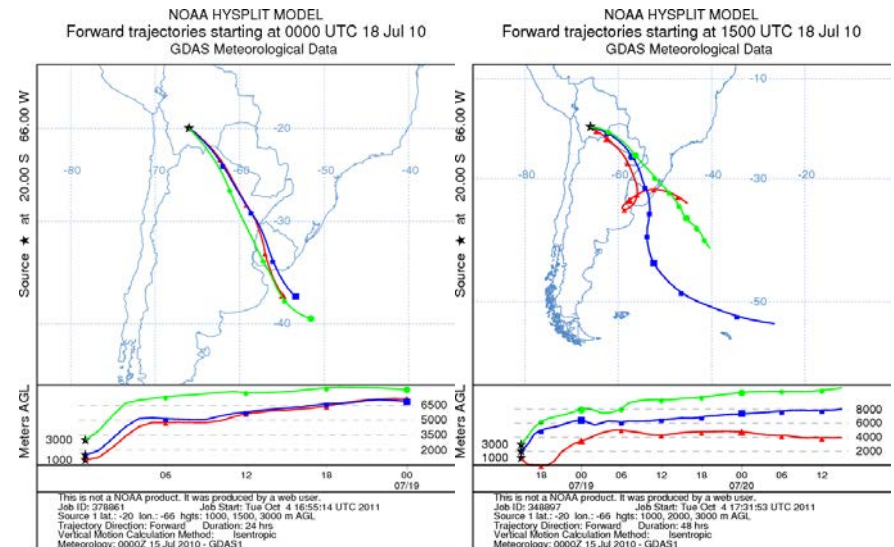


Figura 5 Espectro obtenido mediante Espectrometría Gamma de Alta Resolución durante 9000 segundos. Se muestra la porción del espectro donde se encuentra el pico de  $^7\text{Be}$ .

Los resultados de la aplicación del modelo Hysplit se muestran en las Figuras 6 y 7. Dado que no disponemos de la hora exacta en que comenzó el evento; la elección de este parámetro en forma arbitraria introduce una incertidumbre al modelo. Se corrió el modelo predictivo el día 18 de Julio con una diferencia de 18 horas (0, 18 horas). En los dos casos se detecta el fenómeno sobre Uruguay; en el primer caso el evento se registra el día 18 de Julio, en el segundo caso el fenómeno se observa el 19 de Julio.

Además, en el modelo existe una incertidumbre asociada al establecimiento del parámetro de alturas; por lo que en este caso se han seleccionado diferentes alturas para ver si los resultados arrojan resultados concordantes entre sí.

Al correr el modelo predictivo y fijar una altura inicial de 1000, 3000, 8000 metros desde Bolivia las trayectorias muestran que las partículas alcanzan el territorio de Uruguay a 4000 y a más de 6500 metros de altura. Considerando las alturas 4000, 6000, 8000 en el lugar en donde se registró el evento y aplicar el modelo de retro-trayectorias, se observa que las partículas estuvieron en la región de Bolivia entre 2000 y 4000 metros.



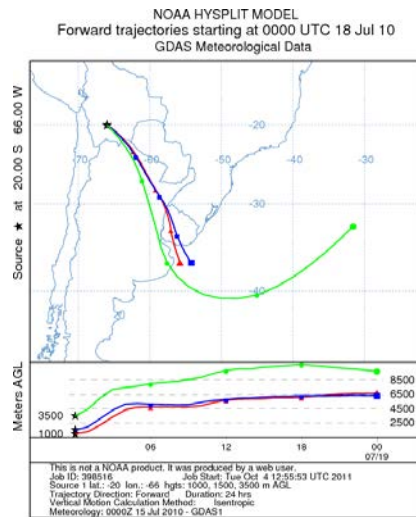


Figura 6. Modelo Hysplit modalidad predictiva (forward); en la parte superior se comparan los modelos partiendo el día 18 de julio a las 0 y 18 horas. En las tres imágenes se observa las corridas partiendo de diferentes alturas desde Bolivia.

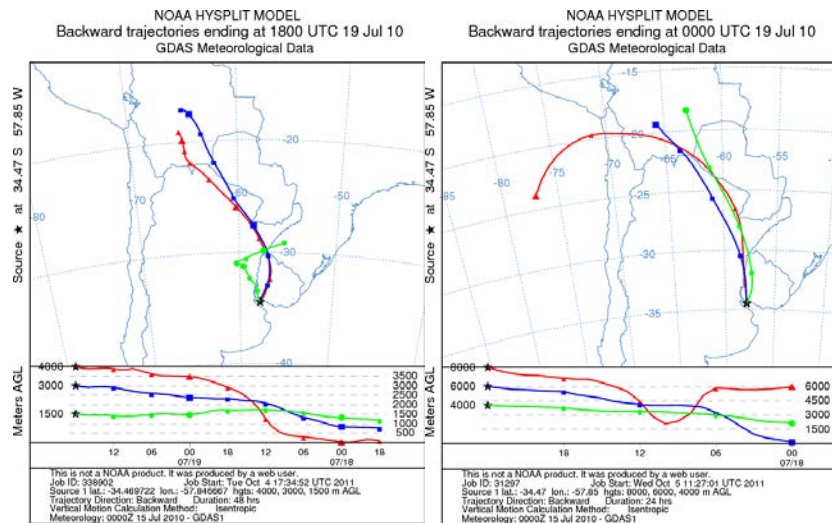


Figura 7. Modelo Hysplit modalidad retrotrayectoria (backward); en las dos imágenes se observa las corridas partiendo de diferentes alturas desde el lugar donde se registró el evento (Colonia, Soriano).

## CONCLUSIONES

Por EDXRF se midieron altas concentraciones de arsénico. Si nos basamos en la hipótesis descrita anteriormente de que el polvo podría provenir de Bolivia, las altas concentraciones de As medidas en el polvo sedimentado podrían deberse a los problemas de contaminación por As en la región sur oeste de Bolivia. [5].

Por Espectrometría Gamma de alta resolución se midió un pico correspondiente al  $^{7}\text{Be}$ , que sugiere que el material particulado fue transportado a través de las capas superiores de la atmósfera. Habría que estudiar con mayor profundidad si la conjetura de que el polvo sedimentado proviene de una tormenta de arena es compatible con las altas concentraciones de  $^{7}\text{Be}$  encontradas.

En todos los escenarios planteados para el modelo Hysplit se observó que la conjetura sobre el origen del polvo es compatible con los resultados de la simulación digital del transporte en la atmósfera.

Pese a toda esta información no es posible afirmar que el material particulado detectado en Uruguay provenía de una tormenta de arena en Bolivia, pero se puede tener una razonable certeza sobre que no proviene de una actividad antropogénica local. No obstante los resultados analíticos suministraron datos importantes para la toma de decisiones por parte de los gobiernos municipales.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.physics.isu.edu/radinf/natural.htm>
- [2] R.R. Draxler and G.D. Rolph, 2003, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD., (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>)
- [3] Michael F. L'Annunziata, 2003. Handbook of Radioactivity Analysis, Second Edition.
- [4] <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=44686>
- [5] Workshop: "ANDINOARSEN: El Arsénico en la Macro Región Centro – Sur Andina" ([http://www.uta.cl/prontus\\_uta/site/artic/20091125/pags/20091125185719.html](http://www.uta.cl/prontus_uta/site/artic/20091125/pags/20091125185719.html))

# Caracterización geoecológica de la cuenca Río de Balcosna, departamento Paclín, provincia de Catamarca, Argentina

A.I. Ovejero (1),  
M. A. Díaz (1),  
M. E. García (1),  
E. G. Márquez (1).

1- *Departamento de Geología. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca.*

[ingridovejero@hotmail.com](mailto:ingridovejero@hotmail.com)

## RESUMEN

En este trabajo se desarrolla el estudio geológico preliminar con elaboración de una carta temática que visualiza la distribución espacial de variables geológicas en la cuenca del Río de Balcosna. Este estudio pretende delimitar, sectorizar y caracterizar espacios de potencialidad geoturístico, como aporte al desarrollo socio-económico sustentable de la localidad. Supone aplicar una metodología de investigación científica que valore los recursos especialmente geológicos en villas turísticas, sean integrados al patrimonio natural y se constituyan un diseño temático de itinerarios. La metodología que se aplica es de análisis, interpretativa y descriptiva, a partir de la interpretación y, correlación de cartas geológicas se elabora una carta temática de síntesis con selección de sectores y de caracteres específicos. Todas ellas reúnen rasgos sobresalientes de la gea de significado estratigráfico, hidrológico, paleontológico, geomorfológico, minero y ambiental que deben ser priorizados y valorados como georrecursos. Concluimos que la cuenca hídrica es un bien natural, caracterizado por un espacio potencial geoecológico, viabiliza políticas estratégicas de conservación sustentable para ser utilizables en itinerarios e incrementar la capacidad de atracción del territorio en el que se ubican, en consecuencia mejorar la calidad de vida población y de su entorno.

## INTRODUCCIÓN

La Localidad de Balcosna, es un paraje natural ubicado en la provincia de Catamarca y al límite con Tucumán, en la confluencia con la Ruta N° 38 del corredor nacional y Ruta N° 9 provincial. Presenta variadas y atractivas riquezas biogeográficas, geomorfológicas de zonas cumbres, lomadas y valles con formaciones y estructuras

sedimentarias, yacimientos fosilíferos y mineralógicos, en yuxtaposición a una unidad ambiental de yungas Boliviano-Tucumana. Esta comunicación pretende valorar los recursos geológicos que, contribuyan a incrementar la capacidad de atracción del territorio, y en consecuencia a mejorar la calidad de vida de la población. Lo mencionado precedentemente es el objetivo del presente trabajo: propender a la revalorización de la localidad, como estrategia se visualiza delimitar, sectorizar y caracterizar los recursos en la cuenca hídrica, que permita el desarrollo de un producto óptimo, de promoción y conservación sustentable de inclusión en uno de los siete circuitos potenciales turísticos, los Balcones del Valle propuesto para el funcionamiento del corredor N° 38 de Catamarca y provincias vecinas (CFI, 2001).

## CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HÍDRICA DE BALCOSNA

La Localidad de estudio que circunscribe a la cuenca hídrica de Balcosna, se ubica en el extremo norte de la Sierra de Ancasti, y al sur del área de transición, que González Bonorino F., (1950) define como un enlace de dos elementos conspicuos la sierra de Aconquija y el grupo Ancasti-Ambato. La cuenca hídrica cubre una superficie de 112 Km<sup>2</sup>, se caracteriza desde el punto de vista geomorfológico, por laderas umbrías, cumbres, superficie de aplanamiento y relieves de lomadas (Sosa Luna R. 2009). El río de Balcosna, el mayor exponente hidrográfico de la región, forma el eje de la cuenca y el enclave urbano con un recorrido de sur a norte aproximadamente unos 8 km, para derramar sus aguas en territorio tucumano con el nombre de san Ignacio. Geológicamente, se encuentra en la provincia de Sierras Pampeanas compuesta por un basamento de rocas metamórficas, granitos y rocas de mezcla de



edad precámbrica a paleozoica (Miró R., 1999). En discordancia angular los estratos terciarios representada por areniscas, arcillitas y limolitas lacustres, correlacionado con la F. Rio Salí. (Rojas R. (1988). Por último los sedimentos post-terciarios consisten en sedimentos aluviales gruesos, conglomerados, arenas y gravas adosados al pie de los cordones montañosos donde forman terrazas y abanicos coalescentes, (Figura 1).

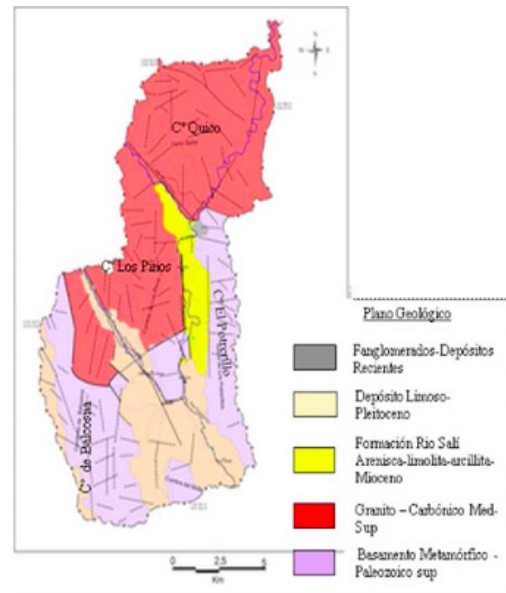


Figura 1. Mapa Geológico cuenca del Río de Balcosna, escala 1:50.000. (Sosa Luna R. 2009).

Las estructuras de la región responden al diseño en bloques de sierras pampeanas (Miro R.1999), se trata de bloques fracturados y limitados por fallas de alto ángulo de carácter regional y edad plio-pleistocena. Las principales serranías vinculadas a la cuenca son al norte el Cerro Quico, al oeste la Cumbre de Los Pinos, la Cumbre de Balcosna, al sur la Cumbre del Molle y al este la Cumbre El Potrillo, actúan como barreras geográficas y climáticas, ya que interceptan la humedad contenida en los vientos provenientes del Atlántico, favoreciendo la condensación y precipitación. La cubierta vegetal en la localidad es regular, predominando zonas cultivadas, ya que la vegetación ha sido extraída para poder realizar la actividad agraria. En las serranías aledañas a la zona urbana, se puede diferenciar en bosques de pinos, frutales silvestres, para pasar en transición al bosque tropical tucumano, en el extremo NE del área. (González Bonorino, R. 1950).

### Selección y caracterización

La selección y caracterización de sectores de interés se realizó por correlación geológica a partir de cartografías temáticas, (Sosa Luna R., 2009) de la cuenca del río Balcosna, que delimita a la localidad del mismo nombre y se relaciona a una carta de síntesis que describe el espacio, localiza caracteres geológicos y la importancia de los fenómenos en forma distributiva, a escalas cartográficas pequeñas.



Figura 2. Distribución de sectores de interés geológico. Localidad de Balcosna-Dpto. Paclín-Catamarca.

### Descripción de sectores de interés

**Sector Noroeste. Acceso:** Se accede por la Ruta Provincial N° 124, a 5 Km. de la Villa de Balcosna, en la localidad de Las Lajas. Al norte se encuentra el Cerro Quico y en dirección oeste se ubica la Cumbre de Los Pinos. Geológicamente: Comprende rocas intrusivas graníticas correspondiente al carbónico medio, paleozoico superior. Afloran en el Cerro Quico, Cumbre de Los Pinos, y Cumbre de Balcosna. (Sosa Luna R., 2009), con cuerpos de pegmatitas Geomorfología: De laderas cumbrales, son los más altos cubierta de sedimentos limosos y constituye la antigua superficie de aplanamiento pre-terciaria que fue basculada por los movimientos ándicos y afecta a todo

el sistema de sierras pampeanas. Vegetación: pastizal de altura Caracterización: Los bosques de yungas, representan una unidad ambiental de gran importancia regional y local por la elevada diversidad y principalmente, por su papel en la regulación hídrica y protección de cuenca. En yuxtaposición se encuentra la mina de Piedras Blancas, estudiada a inicio de 1978 por distintos autores manifestando posibilidades económicas de minerales metálicos de wolframita y cobre donde también se han explotado piedras preciosas, de variedad de aguamarina, (Ramírez M., Barber E. 1994) Es un espacio que puede no tener un excepcional valor científico pero sí una alta potencialidad para una utilización geoturística. Actualmente se encuentra en estado de abandono. Rasgos generales: Geológico-minero-ambiental-vertientes. (Figura 3)



Figura 3. Cumbre de Los Pinos: zona cumbre, parte más elevada corresponde a la antigua superficie de aplanamiento pre-terciaria: Zona intermedia de piedemonte de influencia agroganadera.

**Sector Central del valle. Acceso:** Comprende el tramo urbano-hídrico de las localidades de Balcosna y Las Lajas. Es la parte más baja de la cuenca y se encuentra linealmente orientada de sur a norte al río de Balcosna. Geológicamente: Predominan areniscas, limolitas y arcillitas correlacionadas con la formación Río Salí, de caracte-

rísticas lacustres, (Rojas R. 1988). Corresponde al mioceno-terciario y se apoyan en discordancia sobre el intrusivo granítico y el basamento cristalino. Geomorfología: relieve de lomas áreas cubiertas por cultivos. Vegetación: pastizal casi sin vegetación Caracterización: Los faldeos de las cumbres reúnen vertientes y cursos de aguas menores, los que se deslizan volcando sus aguas en el colector principal del Río de Balcosna, lo cual conforma la zona de mayor incidencia y atractivo turístico. Rasgos generales: Estratigráfico-hídrico-terrazas-vertientes. (Figura N° 4 y Figura N° 5)



Figura 4. Sedimentos de características lacustres del mioceno del terciario. Ubicados al pie de la cumbre El potrerillo y en la zona de El Saltón.





Figura 5. Formación sedimentaria del mioceno-terciario-de características lacustre, pliegue volcado al pie de la cumbre de los Pinos en la quebrada El Boquerón de la localidad de Las Lajas.

**Sector Sureste. Ubicación:** Se ubica al este de la ruta 9, en el acceso a la localidad de Balcosna y en las laderas de la cumbre El Potrerillo. Geológicamente: predominan los depósitos limosos del pleistoceno-cuartario y al este en las laderas del sistema serrano rocas metamórficas del precámbrico superior, correspondiente a la formación Ancasti. Geomorfología: relieve de lomas. Áreas cubiertas por cultivo Vegetación: pastizal Caracterización: Numerosos trabajos científicos han descripto y resaltado el interés de yacimientos paleontológicos al sur del valle central, en eestructuras cubiertas por materiales sedimentarios, representado por mamíferos fósiles correspondiente a Gliptodontes y Pilosos entre 0,5 y 1 millón de antigüedad. (Medina, S. 2000), Rasgos generales: paleontológico-productivo agrario. (Figura N° 6)



Figura 6. Formaciones de sedimentos limosos del pleistoceno-cuartario, de escasa altura, representados por una mega-fauna prehistórica de gliptodontes, en confluencia de la Ruta N° 9 y Ruta N° 124.

**Sector Suroeste. Ubicación:** Se ubica entre las rutas Provincial N° 9 que conduce a Singuil y la Ruta N° 124 a Las Lajas, cubriendo el sur del valle y se extiende al oeste en las laderas del sistema serrano de la cumbre de Balcosna. Geológicamente: comprende rocas metamórficas; esquistos bandeados del precámbrico superior de la formación Ancasti, en la margen derecha a la Ruta N° 9 en el acceso por el viejo camino a la localidad de San Antonio, Geomorfología: el relieve corresponde a lomadas, con espesos depósitos loesicos en el valle y en las laderas serranas. Vegetación: pastizal sin vegetación Caracterización: Zonas de cultivos en las lomadas, se vinculan con importantes vertientes que se extienden hasta los faldeos de la Cumbre de Balcosna. Rasgos: cuevas de rocas, vertientes y áreas cultivables.



Figura 7. Depósitos limosos del pleistoceno-cuartario parte mas baja y en las laderas del sistema serrano rocas metamórficas en correlación a la formación Ancasti de edad precámbrico y con granito fino.

## MÉTODOS Y TECNICA PRELIMINAR

Se reconocen en este estudio distintas etapas

1. La etapa de análisis del área de trabajo a nivel local, comprende el compilado, el análisis y revisión bibliográfica de documentos y materiales publicados (mapas, comunicaciones, etc.). El registro bibliográfico se ha reunido en la red del aula virtual de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas para facilitar la discusión y la reflexión e implementación de la metodología a seguir (Corvea P. 2001).
2. La etapa de gabinete inicia con la selección preliminar y/o estudio previo, a partir de cartografías, tomado como base los trabajos inéditos de Geología de la cuenca hídrica de la Localidad de Balcosna (Sosa Luna R., 2009), y Planificación para el Desarrollo Turístico Sostenible para la Villa de Balcosna (Ovejero A. 2007), que conduce a elaborar una carta temática de análisis y síntesis para visualizar los fenómenos y la distribución espacial de variables geológicas, rasgos sobresalientes, y problemáticas en los distintos sectores.

3. La etapa de campo, de control, revisión, priorización de los distintos recursos, se basa en construir fichas técnicas, para clasificar los recursos por el tipo de observación y por áreas de conocimientos. Estos comprenden los más destacados por algún rasgo o fenómeno (pliegue, cárcava, terraza, una especie vegetal, valle, macizo, cerro, bosque, etc.) en función de lo que se pretenda transmitir de la gea si es geomorfológica, hidrogeológica, paleontológica, mineralógica, ambiental etc.
4. Dependiendo de los resultados se podrán tomar las decisiones para la gestión e inversión económica de un producto de conservación sustentable en la cuenca hídrica de Río de Balcosna.

## Planteo del Problema

La cuenca hídrica es un espacio físico-natural geológico en un sistema ecológico de yungas de valor patrimonial, las actuaciones sobre este territorio indican que la dimensión ambiental no ha sido visualizada como factor esencial para la gestión de los recursos naturales para el desarrollo sustentable de la cuenca. Históricamente se caracteriza, por ser un espacio de identidad cultural campesina, altamente productiva agro-ganadera y ocupa el segundo lugar en la provincia en llegadas del turismo, al mismo tiempo en época estival, el recursos hídrico de gran importancia como atractivo, turístico se ve afectadas por desechos, basuras producidas por ambas actividades. Son fuentes principales económicas locales, donde el rio tiene un papel fundamental para sostener estas labores productivas. Se estima que el sector orientado en una franja lineal y paralela al rio de Balcosna, constituye el sector más vulnerable en caso de gestión y desarrollo sustentable del geoturismo.

## Análisis de datos

Los sectores seleccionado en una carta de análisis y síntesis, asocian fenómenos geológicos, estratigráficos, rocas en el tiempo, un ambiente fosilífero, hídrico, vinculados a una unidad ambiental de transición de yungas, ampliamente favorables para la inclusión en rutas o circuitos turísticos. El cerro Quico que se ubica en el extremo norte de la cuenca, en el límite con Tucumán tiene características geológicas similares al sector noroeste (1), diferenciada por una topografía abrupta, de vegetación tupida y poca accesibilidad. Las zonas preseleccionadas sureste y suroeste ( 3 y 4) constituyen relieves de lomas donde los suelos han sido transformados para agricultura y, teniendo en cuenta la situación de estos recursos en la relación, suelo-vegetación-agua, la situación agraria, el sobrepastoreo, y ubicación de potreros se

considera que, puede generar un desequilibrio incrementando procesos erosivos y modificando el medio ambiente, especialmente si afecta a la selva pedemontana que reúne recursos naturales representativos de conservación. Así mismo el sector del valle central (2), presenta masiva incidencia turística en época estival y perturba el recurso hídrico de la cuenca. Todas ellas son en general ambientalmente sensibles, por las actividades productivas agroganaderas y turísticas preferentemente, el valle central y noroeste de la cuenca hídrica.

### RESULTADOS PRELIMINARES

La caracterización de sitios geológicos basada en la correlación geológica a partir de cartas temáticas, facilita el ordenamiento y la gestión territorial, planifica los espacios para ser utilizables en actividades del turismo e incrementar la capacidad de atracción de la región en el que se ubican.

La delimitación de sectores en una carta de análisis y síntesis, asocian fenómenos geológicos, litológicos, rocas en el tiempo, recursos hídricos, ambientes naturales que constituyen un conjunto de elementos de valor geoecológico que, deben ser gestionados adecuadamente para su conservación sustentable.

La Localidad de Balcosna, circunscribe a la cuenca Rio de Balcosna, un medio físico que reúne un rico patrimonio geológico, fosilífero, mineralógico en un sistema ecológico de yungas viabiliza políticas estratégicas de control, revisión y planificación especialmente el cuadrante noroeste, centro y sur de la cuenca. -La definición de caracteres específicos de la gea de incumbencia minero, estratigráfico, paleontológico, geomorfológico, y ecológico, deben ser priorizados y valorados con fichas técnicas para la selección definitiva de un producto óptimo de gestión y conservación en espacios rurales o villas turísticas. -Los itinerarios de rutas y circuitos turísticos pueden ser vías sustentables de interpretación y resguardo de zonas de alta vulnerabilidad en cuanto a su entorno natural y cultural. Se clasifica a la cuenca hídrica de interés por su utilización en socio-económico y por su influencia en nacional y regional. -La valorización del norte de Paclín respondería a las líneas prioritarias de acción estratégicas de la provincia acerca la necesidad de registro de la información, organización del patrimonio y definición de rutas en el espacio provincial.

### REFERENCIAS

- [1] F. Aceñolaza, A Toselli, 1977. Esquema Geológico de La Sierra de Ancasti, Provincia de Catamarca. Acta Geológica Lilloana, 14: 233-256. 1977.
- [2] R. Caminos, R. Miro, 1999 Geología Argentina Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos minerales .Buenos aires anales 29
- [3] J. Corvea Porras. 2001. Guía de Puntos de Interés Didáctico del Norte de la Comunidad de Madrid. Cátedra Unesco de Educación Científica para América Latina y El Caribe (Universidad de Alcalá) ISBN: 84-689-8566-X.
- [4] F. González Bonorino. 1950. Descripción Geológica de la Hoja 13e, Villa Alberdi, Provincia de Tucumán. Boletín de la Dirección Nacional de Minería 74: 78 P. Buenos Aires.
- [5] A. Ovejero. 2007. Planteamiento para el Desarrollo Sostenible de La Villa de Balconea. Tesis de Maestría UNIA. España.
- [6] R. Rojas. 1988 Estudio y Correlación de las Formaciones Terciarias de la Cuenca Alta del Valle Central. Trabajo Final. Licenciatura en Geología .Universidad Nacional de Catamarca.
- [7] R. Sosa Luna. 2009 La Geología de La Cuenca del Rio de Balcosna. Tesis de Grado. Facultad De Tecnología y Cs. Aplicadas. UNCa.
- [8] M. de Ramírez, E Barber. 1994. El Granito de San Ignacio. Encuentro Internacional de Minería I, paginas 16 al 28.



# Historia ambiental de bosques de *Prosopis flexuosa* de cauce activo en el Desierto del Monte, NE de Mendoza

## RESUMEN

Se presenta un estudio sobre la historia ambiental de bosques riparios de *Prosopis flexuosa* DC en el Desierto del Monte, NE de Mendoza, distribuidos en la gran unidad ambiental fluvio-lacustre del Río San Juan.

Se ubicaron 2 parcelas de aproximadamente 1000m<sup>2</sup> (50m x 20m). En cada parcela se midieron variables dendrológicas: altura del árbol, diámetro a altura de pecho y basal, diámetro mayor y menor de copa. De cada árbol vivo se extrajeron dos muestras mediante barrenos mecánicos. Para reconstruir el bosque pasado y los eventos de disturbio, de cada tocón (lo que queda del tronco de un árbol una vez talado) se extrajo una rodaja. Las muestras fueron lijadas, datadas y medidas. La calidad del datado fue evaluada a través de análisis visual y estadístico.

El análisis de los individuos vivos facilitó la construcción de cronologías y el análisis de los tocones permitió fechar los momentos de corte. La cronología de árboles vivos fue comparada con otras desarrolladas para otras sub-unidades geomorfológicas, pertenecientes a la misma gran unidad ambiental.

Los bosques riparios presentan valores más altos de las características dendrológicas respecto a los bosques presentes en las otras sub-unidades. Se pudo fechar con exactitud, gracias a la técnica dendrocronológica, los momentos de tala, y analizar el posible impacto de la tala sobre los árboles remanentes en la actualidad. Se generó además información sobre el turno óptimo de corte para un correcto aprovechamiento del recurso forestal por parte de los "puesteros".

S. Piraino (1),  
E. M. Abraham (1),  
F.A. Roig Juñent (2).

1- LADyOT-IADIZA-CCT Mendoza, Av. Ruiz Leal S/N, Mendoza, Argentina.

2- Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental-IANIGLA-CCT Mendoza, Av. Ruiz Leal S/N, Mendoza, Argentina.

[sergio.piraino@gmail.com](mailto:sergio.piraino@gmail.com)

Se subraya la importancia de este trabajo ya que se trata de la primera descripción dendrocronológica y dendroecológica de bosques distribuidos a lo largo de cauces activos en el Desierto del Monte perteneciente a la Provincia de Mendoza.

## Palabras Clave:

Dendrocronología, *Prosopis flexuosa*, historia ambiental

## INTRODUCCIÓN

El género *Prosopis* L. (Fabaceae, Mimosoideae) incluye 45 especies distribuidas principalmente en regiones áridas y semi-áridas de América, Asia Sur-oriental y norte de África. Este género incluye árboles, arbustos y ocasionalmente sub-arbustos [1]. En Sud América, y particularmente en Argentina, se encuentran 31 especies del género *Prosopis* [2].

La Provincia Biogeográfica del Monte (conocida también como Desierto del Monte) ocupa aproximadamente 460.000 km<sup>2</sup> de la diagonal árida argentina [3]. Desde un punto de vista climático, es una región árida y semi-árida, en la cual las precipitaciones varían de 30 hasta 350 mm por año, y las temperaturas desde una máxima de 25.2 °C y una mínima de 10.2 °C en su parte más septentrional, a 20.4 y 7.3 °C en la parte meridional.

*Prosopis flexuosa* DC es una especie freatófita que domina los bosques abiertos en el Desierto del Monte Central [4, 5], cuyo establecimiento y crecimiento es sustentado principalmente por la contribución de agua de napa freática que deriva de los

ríos andinos [6]. La especie alcanza esta napa freática a una profundidad de 6–14 m, presentando una alta plasticidad fenotípica en lo que concierne el aparato radical y distintas respuestas a la sequía mediante mecanismos de protección estomático [7, 8]. En estas regiones, las precipitaciones son esporádicas y concentradas sobre todo en el periodo de primavera-verano. Debido a la alta evapotranspiración, la especie presenta un crecimiento radial concentrado en los meses que van de octubre hasta mayo, mayormente afectados por la disponibilidad de agua [9].

La importancia ecológica y económica de los algarrobales para los habitantes del desierto del Monte (“puesteros”) confiere a la especie la potencialidad para programas de restauración en áreas degradadas [1].

Varios trabajos han descrito la estructura, productividad, y las características dendrocronológicas y dendroclimatológicas de *P. flexuosa* en el Desierto del Monte Central [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Sin embargo, muy poco se conoce sobre las características de los bosques riparios de algarrobo dulce que acompañan los cauces de los ríos San Juan y Mendoza. Los bosques riparios de *Prosopis flexuosa* DC, al igual que los otros bosques instalados en el Desierto del Monte Central, han sufrido modificaciones físicas y biológicas a lo largo del último siglo, por ejemplo a causa de la alteración del régimen natural de escurrimiento superficial y la modificación y supresión de los procesos fluviales, y además por la explotación del recurso maderero [16, 17].

La dendrocronología es la ciencia que se ocupa de la identificación calendaría de los anillo de crecimiento de árboles y arbustos [18]. A través de esta metodología es posible no solamente conocer la edad biológica de un árbol, sino también reconstruir la historia ambiental de un sitio, analizar la influencia del ambiente sobre los individuos arbóreos, y las posibles interacciones entre individuos del mismo bosque.

Los objetivos de este trabajo son:

- determinar las características dendrológicas y dendrocronológicas de los algarrobales riparios del Desierto del Monte Central distribuidos en Lavalle, Mendoza, Argentina, y analizar las posibles diferencias con bosques de la misma especie instalados en distintas unidades geomorfológicas;
- analizar la historia ambiental de estos bosques a través de la metodología dendrocronológica, identificando los momentos de disturbios (tala) y sus posibles

influencias, y obtener informaciones sobre un manejo y aprovechamiento conciente del recurso maderero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en la sub-unidad de cauce activo perteneciente a la gran unidad ambiental de la planicie fluvio-lacustre del río San Juan [19, 20]. Se eligió un sitio de interés ubicado en el Puesto “El Mateo” (Figura 1), localidad de Tres Cruces (32°15′03.4″ S, 67°41′27.9″ O) en el Departamento de Lavalle, Provincia de Mendoza, Argentina. Estos bosques crecen en las proximidades del río San Juan.

Como primer paso, se eligieron al azar 30 árboles con el fin de construir una cronología de referencia para el ambiente examinado. Luego, se midió la estructura de los bosques presentes en la actualidad a través del establecimiento de 2 parcelas de aproximadamente 1000 m<sup>2</sup> (20m x 50m). En cada parcela se midieron las características dasonómicas de los individuos arbóreos, tales como diámetro a altura de pecho (1.30 m de altura), diámetro basal del fuste, altura, y diámetro de copa (diámetro mayor y menor). Las parcelas fueron localizadas según la presencia de tocones, ya que uno de los objetivos de este trabajo es analizar la posible influencia de la tala sobre la dinámica temporal de los algarrobales.

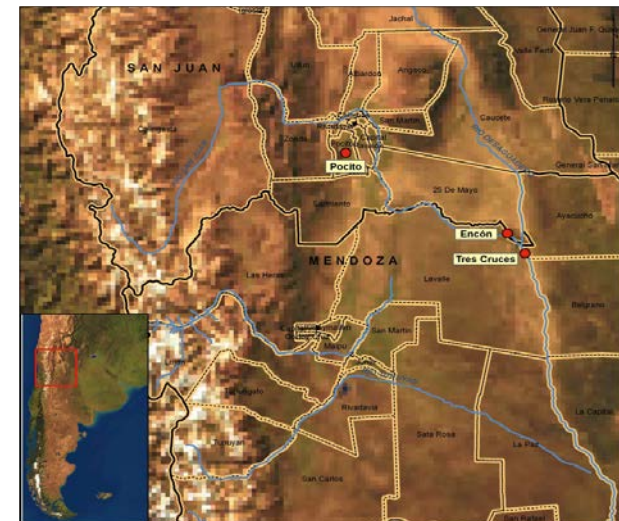


Figura 1. Sitio de muestreo.

Para obtener más informaciones sobre los momentos puntuales de disturbio (tala) se muestrearon además otros tocones elegidos al azar además de los muestreados en las dos parcelas.

La metodología dendrocronológica siguió protocolos internacionales. De cada tocón se extrajo una rodaja, mientras que por cada árbol vivo se extrajeron dos muestras con barrenos mecánicos, en la medida de lo posible en la parte más gruesa y más basal de cada ejemplar. Las muestras fueron lijadas según las técnicas propuestas por Stokes y Smiley [21]. Los anillos fueron identificados, datados, las muestras escaneadas y luego medidos los anillos mediante el software IPWin32 (v4.5, Media Cybernetics, EEUU). La calidad del datado fue controlada a través de técnicas visuales mediante el programa CATRAS [22] y estadísticas mediante el software COFECHA [23]. A través del análisis conocido como inter-datación, se logró fechar los tocones e identificar el momento exacto de corte. Para identificar posibles influencias de la tala sobre el crecimiento radial de los árboles vivos, se recurrió al cálculo conocido como cambios de crecimiento expresado en porcentaje (percentage growth change: %GC) [24]. Este método compara periodos sucesivos de valores anuales de ancho de anillos, generalmente en periodos de 10 años, a fin de identificar cambios abruptos (pulsos de liberación y/o supresión) en el crecimiento radial. El análisis se expresa a través de la fórmula:

$$\%GC = (M2 - M1) / M1$$

Si por ejemplo se busca calcular un valor de cambio para el año 1950, M2 se refiere al periodo que va desde 1951 hasta 1960, mientras que M1 al periodo 1940-1950. A tal fin, se calibró la metodología propuesta por Nowacki y Abrams [24] considerando las características de los bosques analizados (fuerte presencia de individuos de distintas edades; bosques generalmente de edades menores o iguales a los 100 años), empleando una ventana temporal de 5 y 7 años, y calculando el %GC utilizando alternativamente valores anuales de ancho de anillo y de área basal ya que la segunda ha demostrado su utilidad en bosques fuertemente disetáneos [25]. Finalmente, se decidió utilizar una ventana temporal de 7 años y los valores anuales de área basal. Se eligieron 3 niveles porcentuales para ordenar los cambios en el crecimiento: 25-50% (cambio moderato), 50-100% (cambio fuerte) y >100% (cambios abruptos).

Debido a la explotación maderera del área, y a las necesidades por parte de los "puesteros", quisimos además generar información que ayude a un correcto aprovechamiento del recurso forestal en estos ambientes que han sufrido disturbios. Por esta razón se calculó el turno óptimo biológico de corta. Se estimó entonces el valor anual de productividad (área basal), y por el otro lado el incremento medio anual, calculable simplemente como promedio de todos los incrementos anuales desde el año 1 to al año t (dividiendo el incremento acumulado para ese año por el número de años). El turno teórico de rotación o turno biológico se cumple cuando el valor anual de productividad iguale al del incremento medio anual [26]. Se utilizaron entonces datos dendrocronológicos obtenidos desde árboles vivos y tocones de las dos parcelas, eliminando de este análisis el tocón que fue talado más antiguamente, debido a la falta de información segura sobre talas anteriores a la del primer tocón fechado. Por este cálculo se utilizaron muestras de 32 individuos. En el caso de las muestras que no alcanzaron la medula, pero que tenían los arcos internos completos, se utilizó el método geométrico de Duncan modificado por Rozas [27] para estimar la cantidad de anillos faltantes hasta el centro (Figura 2). Este método asume un crecimiento concéntrico, de manera que los límites de los anillos pueden ser considerados como arcos de circunferencias centrados en la medula.

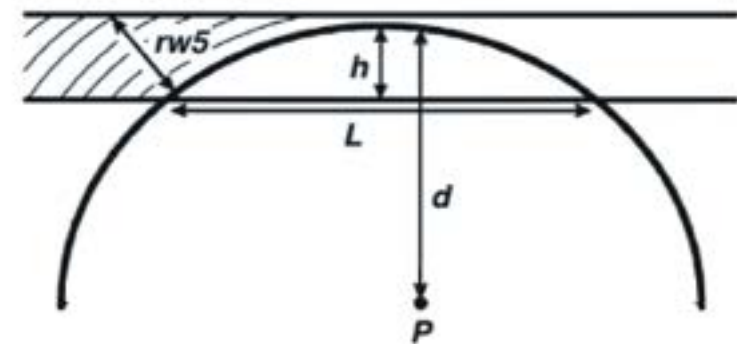


Figura 2. Esquema de una muestra de barrenos que presenta la medula (P) y el mayor arco visible. Modificado de Rozas [27]. Altura del arco (h), largo (L), el radio de la medula (d), promedio de los anchos de los 5 anillos adyacentes (rw5).

De esta manera es posible calcular el tamaño del radio faltante mediante la ecuación:

$$d = (L^2 + 4h^2) / 8h$$

donde d es el radio de la medula, h la altura del arco y L el largo del arco.

El valor de r fue luego dividido por el promedio de los valores de ancho de anillos de los primeros 5 años medidos, para poder inferir el número de anillos faltantes para llegar a la médula. Esta ecuación fue aplicada a 10 muestras que no llegaron a la medula, sobre un total de 25 muestras extraídas con barreno mecánico (40%).

**RESULTADOS**

Como primer resultado, obtuvimos datos sobre las características dendrológicas de los bosques de cauce activo y los comparamos con los valores de bosques de paleocauce y bajo intermedanos, otros dos ambientes de la gran unidad ambiental de la planicie fluvio-lacustre del río San Juan, caracterizados por la presencia de bosques de P. flexuosa (Tabla 1).

	DBH (cm)	H (m)	Dbase (cm)	Dcopa (m)
<b>Cauce</b>	32.6 (14.9)	7.5 (3)	36 (16.7)	7.7 (3)
<b>Paleocauce</b>	17.4 (7.3)	4 (1.1)	26.3 (10.1)	5.3 (1.8)
<b>Bajo intermedanos</b>	15 (4.9)	3.6 (1)	17.3 (6.6)	3.9 (1.4)

Tabla 1. Datos dendrológicos para las tres sub-unidades. Entre paréntesis desvío estándar. DBH: diámetro a altura de pecho; H: altura del árbol; Dbase: diámetro del árbol a altura de la base; Dcopa: promedio de los diámetros mayores y menores de copa.

Los bosques de cauce activo presentan valores mayores en todas las características medidas. Un simple análisis de la varianza nos muestra además como estas diferencias son estadísticamente significativas para el diámetro basal (F = 11.04; p = 0.0001), diámetro a altura de pecho (F = 17.04; p < 0.0001), diámetro de copa (F = 19.38; p < 0.0001), y para altura de los árboles (F = 34.24; p < 0.0001).

La medición de las muestras de árboles vivos elegidos al azar permitió la construcción de una cronología de referencia (Figura 3. La cronología se construyó partir de 21 árboles (26 muestras), cuyas edades cubren el período 1934-2008. La correla-

ción entre series, r = 0.500 (99% de confianza), indica que entre estos árboles existe un porcentaje aceptable de variabilidad común, lo que en otras palabras significa que un mismo factor influye sobre el crecimiento radial de los árboles examinados. La cronología de cauce activo presenta diferencias en el crecimiento radial, expresadas a través de diferencias en el valor promedio del ancho del anillo, respecto a las cronologías desarrolladas por los otros dos ambientes (cauce activo: 1.86 mm; paleocauce: 1.37 mm; bajo intermedanos: 1.06 mm).

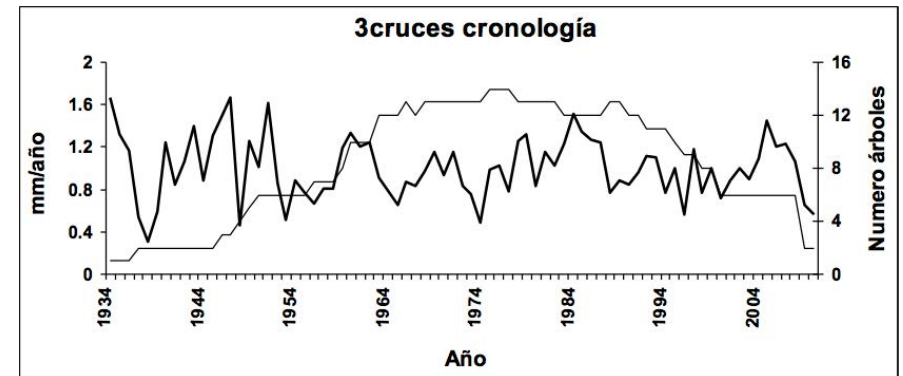


Figura 3. Cronología de referencia. La línea fina se indica el numero de árboles empleados.

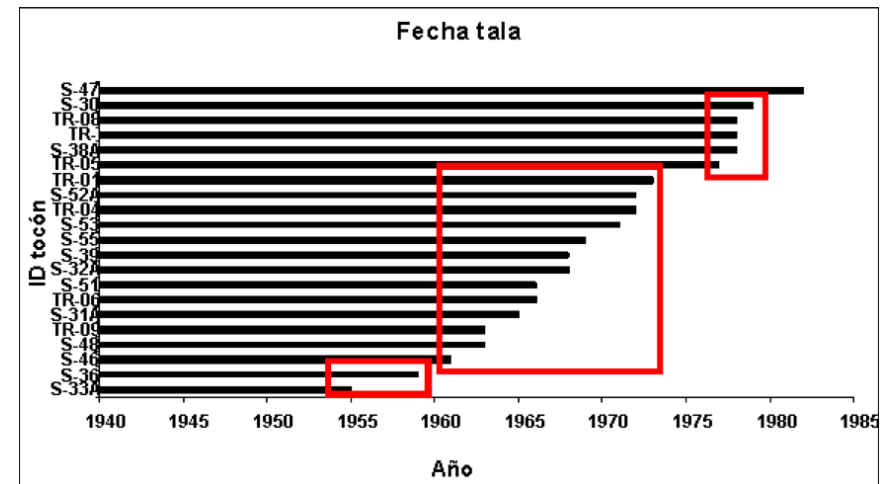


Figura 4. Fecha de corte obtenido del análisis de los tocones. Los cuadrados rojos evidencian periodos de tala.

La construcción de la cronología de referencia permitió fechar exitosamente un total de 21 tocones. El análisis de los tocones indica 3 momentos principales de intervención en los bosques. La tala parece haber tenido lugar primero desde la segunda mitad de la década de 1950 hasta los primeros años de los 60s, luego de mediados de los 60s hasta la segunda mitad de los 70 y a fin de los 70 (Figura 4).

En la tabla 2 se presentan los valores de liberación que encontramos en las dos parcelas. Omitimos las supresiones ya que se encontraron esporádicamente y en número no comparable con las liberaciones. Desde un simple análisis de los resultados de la tabla, podemos evidenciar como, excluyendo el periodo que va desde el año 2000 hasta el 2005, las mayor presencia de liberaciones se encuentra con un cierto grado de sincronía con los momentos de tala.

Esto se encuentra, por ejemplo, para el periodo 1965-69 (11 liberaciones mayores al 100% en coincidencia con la tala de dos individuos), y 1980-84 (36 liberaciones después de la tala de un individuo) por la parcela 1, y por el periodo que va desde el 1960 hasta el 1989 en la parcela 2, periodo en el cual tuvo lugar la tala de un total de 7 árboles con el resultado de 79 liberaciones mayores al nivel del 100%. Además, se puede notar una ausencia casi total de liberaciones mayores al 100% en los periodos anteriores a la tala (parcela 1:1930-55; parcela 2: 1930-60)

Liberación	parcel1			muerte	Liberación	parcel2			muerte
	>100	50-100	50-25	tocón		>100	50-100	50-25	tocón
1930	0	2	3		1930	3	1	0	
1935	0	3	2		1935	0	2	1	
1940	1	2	2		1940	1	2	1	
1945	0	1	3		1945	0	0	0	
1950	0	1	3		1950	0	0	0	
1955	0	0	2	1	1955	0	3	0	
1960	2	5	2		1960	8	0	0	2
1965	11	4	3	2	1965	10	7	1	1
1970	7	11	7		1970	6	5	6	1
1975	33	17	5	1	1975	12	23	12	3
1980	36	18	10		1980	23	14	6	
1985	34	14	22		1985	20	15	11	
1990	18	12	14		1990	17	17	13	
1995	16	10	13		1995	16	14	27	
2000	22	25	12		2000	19	23	23	

Tabla 2. Análisis del cambio de crecimiento expresado en porcentaje (%GC) a partir de análisis dendrocronológico en las dos parcelas.

El cálculo del turno biológico de corta nos indicó como la madurez en la productividad primaria de los bosques de cauce activo de algarrobo dulce se alcanza a una edad biológica de 83 años (Figura 5). Esta edad correspondese a un diámetro de tronco mayor a 26 cm.

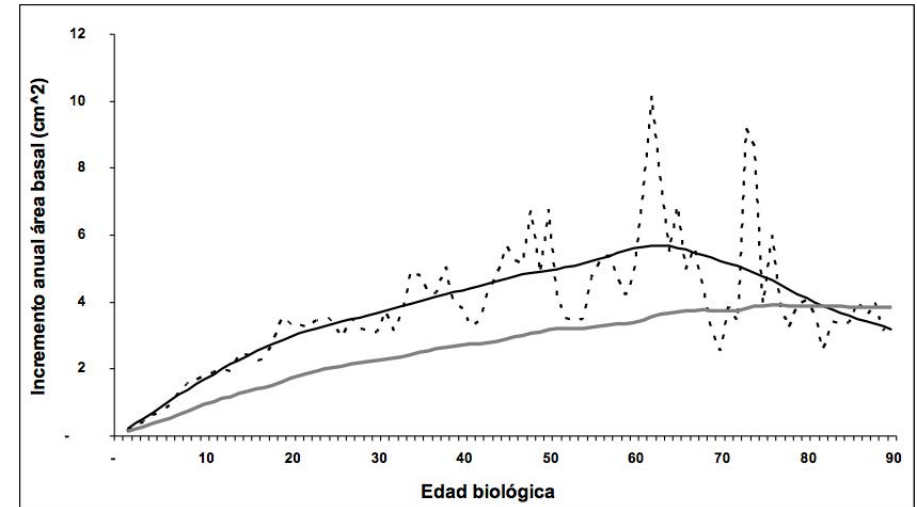


Figura 5. Incremento anual corriente (línea punteada), promedio (línea continua gris) y curva polinomial cúbica (línea continua negra) para los algarrobales de cauce activo en el Desierto del Monte Central. El punto de cruce entre el incremento anual promedio y la curva polinomial cúbica representa el momento óptimo de corta para estos bosques.

### DISCUSIÓN

Este trabajo representa un primer intento descriptivo sobre el crecimiento y dinámica en bosques de cauce activo de *P. flexuosa* en el Desierto del Monte Central, a partir de técnicas dendrocronológicas.

Los bosques riparios de algarrobo dulce presentan valores mayores de las características dasonómicas respecto a otros bosques instalados en distintas sub-unidades ambientales, además de una tasa de crecimiento mayor. Para explicar estos resultados podemos suponer que estas diferencias pueden deberse a las características geográficas y geomorfológicas de las 3 sub-unidades. La cercanía/lejanía respecto de la fuente de agua superficial (en este caso el río San Juan) y las diferentes texturas



del suelo (arenoso vs. arcilloso) pueden derivarse en diferencias de disponibilidad de agua, considerando que *P. flexuosa* se define como especie freatófita facultativa. La medición de los anillos de crecimiento en los tocones permitió fechar con exactitud los momentos de tala. Estos resultados representan un avance muy valioso, ya que por primera vez se logra datar series de datos dendrocronológicos provenientes de muestras de material muerto de *Prosopis flexuosa*, cuya madera, en superficie y no enterrada (observación de campo) se preserva por décadas. Asimismo por primera vez se podrá confrontar datos de la historia oral de los habitantes del lugar con registros ambientales, para identificar los momentos de disturbio en estos bosques en la segunda mitad del siglo XX.

La tala de árboles parece influir sobre el crecimiento radial de los individuos remanentes. Generalmente el cálculo del %GC se ha empleado en bosques templados del norte y sur del mundo [28, 29]. Los resultados presentados en este trabajo representan, según el conocimiento de los autores, una primera aplicación de esta fórmula en zonas semi-áridas. Para que se pueda emplear la fórmula propuesta por Nowacki y Abrams, hay 2 puntos que respetar (G. Nowacki, comunicación personal). En primer lugar, conocer la historia del lugar, o sea, obtener datos sobre las intervenciones en el bosque (ejemplo: fecha en la cual tuvo lugar la tala de uno o más individuos); en segundo lugar, que los árboles remanentes hayan vivido los momentos de disturbios. Ya que se respetaron estos dos requisitos, el cálculo del %GC es posible en nuestro ambiente.

La remoción de individuos de *P. flexuosa* parece tener como consecuencia pulsos de liberación de periodos distintos (ejemplo: desde 3 hasta 10 años) sobre el crecimiento radial de individuos cercanos a los talados. Este resultado puede interpretarse considerando como que la tala de un árbol puede tener consecuencia en la caída de ramas y hojas, con consecuente aumento de nutrientes en el suelo a corto plazo; la eliminación de un competidor directo [30, 31], con consecuente growing space por el individuo sobreviviente [32]. Además, mecanismos fisiológicos pasivos, como los denominados hydraulic lift e hydraulic distribution [33], lo que se han demostrado para áreas semi-áridas y que además pueden tener lugar aunque se haya eliminado la parte aérea de una planta [34, 35], pueden explicar parcialmente los resultados obtenidos.

El cálculo del turno óptimo de corta nos permitió obtener informaciones cuantitativas sobre la dinámica temporal de los algarrobales riparios. Cabe igualmente aclarar que este trabajo en ningún momento busca otorgar informaciones para una explotación a larga escala de estos bosques (por ejemplo por parte de la industria maderera), sino simplemente la de crear una herramienta para las necesidades de los habitantes del desierto. En este sentido, este trabajo indica que es aconsejable cortar árboles de edad biológica de 83 años, correspondiente a un diámetro mayor de 26cm. Este resultado representa una información valiosa para un aprovechamiento conciente del recurso forestal por parte de los puesteros, considerando como los tocones muestreados a lo largo de este análisis han sido talados en edades biológicas desde 20 hasta 85 años, pero con un 88% de individuos talados con una edad inferior a los 50 años (lejos entonces de la madurez que los individuos alcanzan a una edad de 83 años). Esto se debe muy probablemente a las necesidades de los mismos puesteros: es posible de hecho que tocones de árboles "monumentales" hayan sido cortados para producción de carbón; por el otro lado, los tocones más "jóvenes", pueden haber servido como postes para construcción de casas.

Estudios anteriores han calculado el turno de corta para *P. flexuosa* en otras áreas del Chaco Árido. En Chancaní (Córdoba), Perpiñal et al. establecen un turno de 70 años para la especie, equivalente a 23 cm de diámetro [36]. Villagra et al. indican valores de diámetros desde 11 hasta 18.5 cm por ejemplares de 60 años instalados en las Reservas Telteca y Ñacuñan (Mendoza), en el Desierto del Monte [12]. Álvarez et al. analizan las posibles diferencias entre el crecimiento en individuos unifustales y multifustales en la Reserva Telteca y encuentran que es aconsejable cortar árboles con un diámetro mayor a 27 cm, evidenciando como en los multifustales el turno corresponde a individuos de 80 años de edad, mientras que este valor es de 104 años para los ejemplares unifustales (dato obtenido a partir de la edad del árbol más viejo que los autores han encontrado en su sitio de muestreo) [13].

Nuestro resultado se diferencia de los encontrados para la Provincia de Mendoza [12, 13]. Comparando con el trabajo de Álvarez et al. [13], cabe aclarar que en este estudio no se consideró la distinción entre individuos uni y multifustales: esto se debe a la elección en fase de muestreo de la altura de extracción de muestra. Buscando de hecho la mayor uniformidad posible en fase de obtención de las muestras, extrajimos las mismas en la parte más basal y más gruesa posible de los árboles

vivos, independientemente de si estos fuesen uni o multifustal, para poder así comparar el crecimiento radial en árboles vivos con lo de los tocones. Igualmente, la velocidad alcanzada por los bosques examinados en este trabajo, que parece mayor respecto a lo determinado por Álvarez et al. [13] puede ser explicarse considerando la mayor disponibilidad de agua sub-superficial, gracias a la cercanía del río San Juan.

### CONCLUSIONES Y FUTUROS ANÁLISIS

Este trabajo describe por primera vez los algarrobales riparios del Desierto del Monte Central, en la zona del Departamento de Lavalle, NE de la Provincia de Mendoza. La dendrocronología demostró su utilidad en el análisis sobre las características de crecimiento de la especie en este ambiente, y otorgó información de gran importancia sobre la historia ambiental de estos bosques, además que datos útiles para un correcto aprovechamiento del recurso forestal por parte de los habitantes del desierto.

En el futuro, se entiende extender estos tipos de análisis a bosques instalados en otras sub-unidades pertenecientes a la gran unidad ambiental de la planicie fluvio-lacustre del Río San Juan, cuales ambientes de paleocauce, médano, y bajo íntermédanosos.

### AGRADECIMIENTOS

Estamos enormemente agradecidos y en deuda con la Familia Agüero. Sin su disponibilidad en alojarnos, contarnos la historia de sus bosques, e indicarnos sitios de interés, este trabajo no habría sido posible. Muchas gracias además a quienes han colaborado en la tarea de campo: Hugo Debandi, Eduardo Barrio, Darío Soria, Ricardo Fernández y Cecilia Rubio, que además ayudó en la elaboración de imágenes. Finalmente, gracias también a los Dres. Juan Álvarez y Mariano Amoroso del IANIGLA-CCT Mendoza por sus importantes sugerencias.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] P.E. Villagra, A. Vilela, C.V. Giordano, J.A. Alvarez 2010. Ecophysiology of *Prosopis* species from the arid lands of Argentina: what do we know about adaptation to stressful environments? In: Ramawat KG (ed) *Desert plants. Biology and Biotechnology*, Berlin, pp 321–340
- [2] A. Burkart, B.B. Simpson 1977. The genus *Prosopis* and annotated key to the species of the world. In: Simpson B.B. (ed) *Mesquite. Its biology in two desert scrub ecosystems*. US/IBP Synthesis Series 4. Hutchinson & Ross, Dowden, pp 201-216
- [3] AL. Cabrera, 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. In: Kugler WF (ed) *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Editorial ACME, Buenos Aires, 85 pp.
- [4] P. Rundel, P.E. Villagra, M.O. Dillon, S.A. Roig-Juñent, G. Debandi, 2007. Arid and semi-arid ecosystems. In: Veblen TT, Young K, Orme A (eds) *The physical geography of South America*. Oxford University Press, Oxford, pp 158-183
- [5] J. Morello, 1958. La Provincia Fitogeográfica del Monte. *Opera Lilloana*, 2,5-115.
- [6] E. Torres y J. Zambran, 2000. Hidrogeología de la Provincia de Mendoza. Páginas 49-58 en E. M. Abraham and F. Rodríguez Martínez, editors. *Argentina. Recursos y problemas ambientales de la zona árida*. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja. Junta de Gobierno de Andalucía - Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina, Mendoza.
- [7] A. Guevara, C.V. Giordano, J. Aranibar, M. Quiroga, P.E. Villagra. 2010. Phenotypic plasticity of the coarse root system of *Prosopis flexuosa*, a phreatophyte tree, in the Monte Desert (Argentina). *Plant Soil*, 330, 447–464.
- [8] C.V. Giordano, A. Guevara, H.E. Boccacandro, C. Sartor, P. Villagra, 2011. Water status, drought responses, and growth of *Prosopis flexuosa* trees with different access to the water table in a warm South American desert. *Plant Ecology*, 212, 1123–1134.
- [9] R. Villalba, 1985. Xylem structure and cambial activity in *Prosopis flexuosa* D.C. *IAWA Bulletin*, 6,119-130.
- [10] J.A. Alvarez, P.E. Villagra, M.A. Cony, E. Cesca y J.A. Boninsegna. 2006. Estructura y estado de conservación de los bosques de *Prosopis flexuosa* D.C. en el Noreste de Mendoza, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79,75- 87.
- [11] P.E. Villagra, J.A. Boninsegna, J.A. Alvarez, M. Cony, E. Cesca y R. Villalba, 2005. Dendroecology of *Prosopis flexuosa* woodlands in the Monte desert: Implications for their management. *Dendrochronologia*, 22, 209-213.
- [12] P.E. Villagra, R. Villalba y J.A. Boninsegna,. 2005. Structure and growth rate of *Prosopis flexuosa* woodlands in two contrasting environments of the central Monte desert. *Journal of Arid Environments*, 60, 187-199.
- [13] J.A. Alvarez, P.E. Villagra, R. Villalba, M.A. Cony, M. Alberto, 2011. Wood productivity of *Prosopis flexuosa* D.C. Woodlands in the central Monte: Influence of population structure and tree-growth habit. *Journal of Arid Environments*, 75, 7–13.
- [14] R. Villalba y J.A. Boninsegna,. 1989. Dendrochronological studies on *Prosopis flexuosa* D.C. *IAWA Bulletin*, 10,155-160.
- [15] M.A. Giantomassi, F.A. Roig Juñent, P.E. Villagra, A.M. Srur, 2009. Annual va-

- riation and influence of climate on the ring width and wood hydro system of *Prosopis flexuosa* DC trees using image analysis. *Trees*, 23,117–126.
- [16] E.M. Abraham, M. del R. Prieto, 2000. Viticulture and desertification in Mendoza, Argentine. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, T. I, H. 7/8, 1063-1078, Stuttgart, 2000.
  - [17] P.E. Villagra, G. Defossé, H. Del Valle, M.S. Tabeni, C.M. Rostagno, E. Cesca, y E. Abraham, 2009. Land use and disturbance effects on the dynamics of natural ecosystems of the Monte Desert. Implications for their management. *Journal of Arid Environments*, 73, 202-211.
  - [18] M. Kaennel, F.H. Schweingruber. 1995. Multilingual glossary of dendrochronology. Terms and definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Bern: Paul Haupt Verlag.
  - [19] E.M. Abraham, 2003. Desertificación: bases conceptuales y metodológicas para la planificación y gestión. Aportes a la toma de decisión. *Zonas Áridas*, Lima, Centro de Investigaciones de Zonas Áridas, Univ. Agraria La Molina, N° 7, 19; 68, ISSN-1013-445X.
  - [20] C. Rubio, D. Soria, M. Salomón, E. Abraham, 2009. Delimitación de unidades geomorfológicas mediante la aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes y SIG. Área no irrigada del departamento de Lavalle, Mendoza. *Proyección*, Lugar: Mendoza; Año: 2009 vol. 2, num. 7 p. 1 – 33.
  - [21] M. Stokes, T. Smiley, 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press, Chicago. 73 pp.
  - [22] R.W. Aniol, 1983. Tree-ring analysis using CATRAS. *Dendrochronologia*, 1, 45-53.
  - [23] R. Holmes, 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.*, 43, 69-75.
  - [24] G.J. Nowacki, M.D. Abrams, 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecol. Monogr.*, 67 (2), 225–249.
  - [25] A. Stan, L. Daniels, 2009. Calibrating the radial-growth averaging method for detecting releases in old-growth forests of coastal British Columbia, Canada. *Dendrochronologia*, 28, 135-147.
  - [26] E. Assman, 1970. The principles of forest yield study: studies in the organic production, structure, increment, and yield of forest stands. Oxford. 506 pp.
  - [27] V. Rozas, 2003. Tree age estimates in *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*: testing previous and improved methods. *Plant Ecology*. 167, 193-212.
  - [28] L. DeSoto, J.M. Olano, V. Rozas, y M. De la Cruz, 2010. Release of *Juniperus thurifera* woodlands from herbivore-mediated arrested succession in Spain. *Applied Vegetation Science*, 13, 15–25.
  - [29] M.M. Amoroso, B.C. Larson, 2010. Stand development patterns as a consequence of the mortality in *Austrocedrus chilensis* forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 1981–1992.
  - [30] N. Fowler, 1986. The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17:89–110
  - [31] L. Catalán, 2000. Crecimiento leñoso de *Prosopis flexuosa* DC en una sucesión post-agrícola en el chaco árido: efectos y relaciones de distintos factores de proximidad. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 171pp.
  - [32] C.D. Oliver, B.C. Larson, 1996. *Forest Stand Dynamics*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
  - [33] M.M.Caldwell, T.E. Dawson, y J.H. Richards, 1998. Hydraulic lift: Consequences of water efflux from the roots of plants. *Oecologia*, 113, 151– 161.
  - [34] A.J. Leffler, M.S. Peek, R.J. Ryel, C.Y. Ivans, y M.M. Caldwell, 2005. Hydraulic redistribution through the root systems of senesced plants, *Ecology*, 86, 633–642.
  - [35] R.L. Scott, W.L. Cable y K.R. Hultine, 2008. The ecohydrologic significance of hydraulic redistribution in a semiarid savanna. *Water Resources Research*, 44, W02440. doi:10.1029/2007wr006149.
  - [36] E. Perpiñal, M. Balzarini, L. Catalán, L. Pietrarelli, E. Karlin, 1995. Edad de culminación del crecimiento en *Prosopis flexuosa* D.C. en el Chaco árido argentino. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 4, 45-55.

# Susceptibilidad Ambiental a la Licuefacción de Suelos en el Oasis Productivo de Zonda, Provincia de San Juan, Argentina

## RESUMEN

El Valle de Zonda constituye uno de los oasis productivos más importantes en la provincia de San Juan. Actualmente, este sector es uno de los elegidos para establecerse y desarrollar tareas en beneficio de la sociedad. El área se encuentra ubicada al oeste de la ciudad de San Juan, distante aproximadamente 30 Km de la capital de la provincia y cuya villa cabecera se localiza a los 31°32' 56" S y los 68°43' 48" O.

La licuefacción de suelos es un proceso que afecta a aquellos ambientes geomorfológicos, depósitos y suelos modernos-cuaternarios- con potencialidad de uso. La textura de suelos, la presencia cercana a la superficie de nivel de agua subterránea, un alto contenido de humedad en los suelos y la cercanía a una fuente sismogénica activa, son los indicadores evaluados en esta región para obtener la susceptibilidad de las unidades ambientales a la licuefacción. La depresión tectónica de Zonda sufre la amenaza de un evento sísmico de importante magnitud, registrando catástrofes históricas vinculadas al paso de sistemas de megafracturación de la Sierra Chica de Zonda por el este y de la Sierra Negra de Zonda, por el oeste. El análisis geomorfológico permitió delimitar 6 grandes unidades geoambientales (U.G. 1-6), teniendo en cuenta su morfogénesis y propiedades de litología, pendiente, drenaje y textura de suelos-depósitos entre otras. Los indicadores obtenidos de distintas variables para cada unidad geoambiental fueron integrados en ecuaciones, obteniéndose Índices Territoriales ante la licuefacción. La metodología empleada con técnicas de fotointerpretación, interpretación de imágenes satelitales fue complementada con los apoyos de campo, apertura de minicalicatas de suelos y observaciones periódicas de profundidad del nivel freático. Los resultados muestran que el 70 % de las

María A. Pittaluga (1),  
Graciela M. Suvires (2).

1- Universidad Nacional de San Juan. FCEF. Instituto de Geología. Av. Ignacio de la Rosa y Meglioli. Rivadavia. San Juan. Argentina.

2- CONICET. Universidad Nacional de San Juan. FCEF. Instituto de Geología. Av. Ignacio de la Rosa y Meglioli. Rivadavia. San Juan. Argentina.

[mapitta@unsj.edu.ar](mailto:mapitta@unsj.edu.ar)

unidades geoambientales que ocupan la parte central del valle con mayor potencialidad de uso, tienen una susceptibilidad media a alta a la licuefacción ante un evento sísmico. El mega-abanico aluvial puede superar su umbral geomórfico y generar una inestabilidad en el medio, arrojando una respuesta a los cambios rápida sin ofrecer mayor resistencia, siendo en consecuencia un modelado lábil.

## Palabras Claves:

Indicadores ambientales, neotectónica, ordenamiento territorial, textura y humedad de los suelos, valles fluviales.

## INTRODUCCIÓN

El aumento poblacional que han experimentado numerosos sectores ha llevado al hombre a ocupar espacios en forma desordenada e irracional, y a estar propensos a recibir el impacto de soportes físicos con elevada fragilidad ambiental, acarreamiento consecuencias negativas sociales, económicas y ecológicas. En las regiones del centro y oeste andino de Argentina, las condiciones climáticas de aridez por un lado y la existencia de un variado relieve topográfico (montañosos, planicies, valles, ríos) condicionan la ubicación y el desarrollo de asentamientos humanos con disparidad en su densidad poblacional.

La susceptibilidad de las unidades del relieve-suelos o unidades geoambientales, produce en consecuencia que las mismas tengan sus limitaciones naturales para el uso de la tierra ya sea potencial o actual. Deben por lo tanto analizarse los factores

intrínsecos al sitio tanto como los factores extrínsecos o regionales, ambos deben ser evaluados e integrados para producir una planificación de ordenamiento territorial con sostenibilidad ambiental.

El objetivo del presente trabajo es determinar la susceptibilidad de los ambientes físico-espaciales del valle de Zonda a la licuefacción, mediante el análisis y evaluación de factores intrínsecos y de los extrínsecos de la zona. Se analizan y evalúan: a) Características geomorfológicas del Valle de Ullum – Zonda, b) Información de registros históricos vinculados a la variabilidad de la altura de la capa freática, c) propiedades edafológicas, y d) Características sísmicas de la región. Se provee de una base cartográfica que muestra la zonificación de áreas con diferentes sensibilidades para ser utilizadas en planificaciones preventivas.

La licuefacción de suelos describe el comportamiento de suelos y sedimentos modernos, finos, que ante la eventual presencia de una fuerza externa (carga) y determinadas condiciones intrínsecas del sitio, pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado. Es más probable que la licuefacción ocurra en suelos granulados sueltos saturados o moderadamente saturados con un drenaje pobre, tales como arenas sedimentadas o arenas y gravas que contienen vetas de sedimentos impermeables. La licuefacción es la disrupción in situ del soporte mutuo entre granos, generalmente por una sacudida sísmica, en la que se produce la pérdida total o parcial de la resistencia de cizalla de los materiales afectados [1]. Existen diversos factores y características locales que condicionan este proceso [2]:

- a. Edad de los materiales sedimentarios: no se han registrado, con terremotos actuales, licuefacción en materiales más antiguos que el pleistoceno,
- b. Profundidad de la capa freática: la probabilidad de licuefacción disminuye por debajo de los 3 metros del nivel freático,
- c. Tamaño de grano: arena de tamaño medio a fino,
- d. Densidad y cohesión de los sedimentos: cuando los materiales son más antiguos, en general son más densos y cohesivos, a mayor densidad se necesita mayor presión intersticial para que se produzca la licuefacción,
- e. Origen de los sedimentos: altas tasas de sedimentación favorecen la licuefacción (sedimentos de grano fino, lacustres y fluviales)
- f. Potencia de sedimentos: espesores de arena de más de 3 metros o intercalaciones de arena y limos,

- g. Aceleración interna: depende de la amplitud de la onda sísmica y varía en función de los mecanismos focales del sismo y parámetros locales de los materiales.

Diversos términos son utilizados en la presente, destacando que y según Ayala Carcedo [1]: La **Susceptibilidad** es la propensión o tendencia de una zona a ser afectada físicamente por un peligro, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes o desencadenantes, cualitativo y cuantitativo, cuando las áreas han sido afectadas en el pasado. El **riesgo**, en cambio se refiere a todos los procesos naturales que pueden generar daños sobre el hombre o sus instalaciones., existiendo dos grandes grupos: los riesgos geológicos internos (volcanes, terremotos, tsunamis, diapiros? sus variantes) y los riesgos geológicos externos ( inundaciones, erosión, movimientos de laderas, subsidencias naturales). El término riesgo implica "la evaluación de la mayor o menor probabilidad de que un proceso geológico produzca un daño o catástrofe social en una zona". Por su parte **Peligro o Amenaza** (hazard), es todo proceso natural o tecnológico que puede originar daños a la población, a los bienes materiales o al medio ambiente natural. Finalmente, **Severidad o intensidad**: es el conjunto de características de un peligro natural con incidencia en su capacidad de producir daños.

#### Ubicación del área de estudio

El valle de Zonda se ubica en el departamento homónimo, distante aproximadamente 30 Km. hacia el oeste de la ciudad capital de San Juan. El departamento Zonda constituye uno de los más importantes en la provincia por su cercanía a la ciudad capital, su atractivo turístico y potencial económico. Este valle recibe dos aportes hídricos, uno y principal proveniente del oeste a través del río San Juan y otro en forma secundaria desde el sur por medio del arroyo de la Ciénaga. (Figura 1: Ubicación del área de estudio)





1. Cerro Blanco, 2. Sierra Negra de Zonda, 3. Sierra Chica de Zonda, 4. Arroyo de la Ciénaga, 5. Lomas de Ullum, 6. Parque Provincial Presidente Sarmiento

Figura 1. Ubicación del área de estudio.

## METODOLOGÍA

Se realizó la cartografía preliminar de base, utilizando hojas topográficas, fotogramas aéreos e imágenes satelitales, con esta base se elaboraron los mapas de unidades geomorfológicas, edafológicas, variabilidad de la capa freática y características sísmicas. Mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales (Landsat, TM) se combinaron distintas bandas para obtener imágenes compuestas y así poder analizar y cartografiar las unidades geomorfológicas. El análisis de la geomorfología a nivel de detalle en el área, conjuntamente con la recopilación, selección y análisis de datos tectónicos, hidrológicos y edafológicos permitió zonificar las áreas con la valoración a la susceptibilidad ambiental a este proceso. Las actividades de apoyos de campo fueron intercaladas con las de gabinete, revisándose las unidades geomorfológicas y abriendo mini-calcatas de 50 cm de profundidad para observar texturas de suelos-sedimentos y la presencia o ausencia de nivel freático cercano a la superficie. Se elaboró en consecuencia una propuesta metodológica simple y de fácil aplicación para áreas con características similares a la de estudio.

## CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Los extensos valles longitudinales, paralelos a las serranías de Precordillera, constituyen, dentro del ámbito de la provincia de San Juan, verdaderos oasis o sitios de mayor aptitud para los asentamientos humanos y el consecuente desarrollo agrícola-industrial. El valle de Zonda es un ejemplo concreto de lo anteriormente citado, conforma una zona tectónicamente deprimida, limitada hacia el oeste por la Sierra Negra de Zonda y hacia el este por las Lomas de las Tapias y la Sierra Chica de Zonda. La depresión de Zonda en casi toda su extensión está conformada por un espeso y gran abanico aluvial paraglaciar depositado por el río San Juan. Este abanico está constituido en la porción proximal predominantemente por gravas y arenas mientras que hacia la distal y oriental pasan a limos y arcillas con presencia de lagunas temporarias, casi en el contacto con el borde occidental de la Sierra Chica de Zonda. Según datos geoelectrónicos el espesor de los sedimentos cuaternarios en la porción central del abanico superan los 1000 m. Este espesor se debe a que son depósitos paraglaciar en un valle confinado por cordones montañosos, situación que impidió la dispersión de los sedimentos hacia el este y además el valle está sometido a un constante hundimiento y basculaciones tectónicas [3].

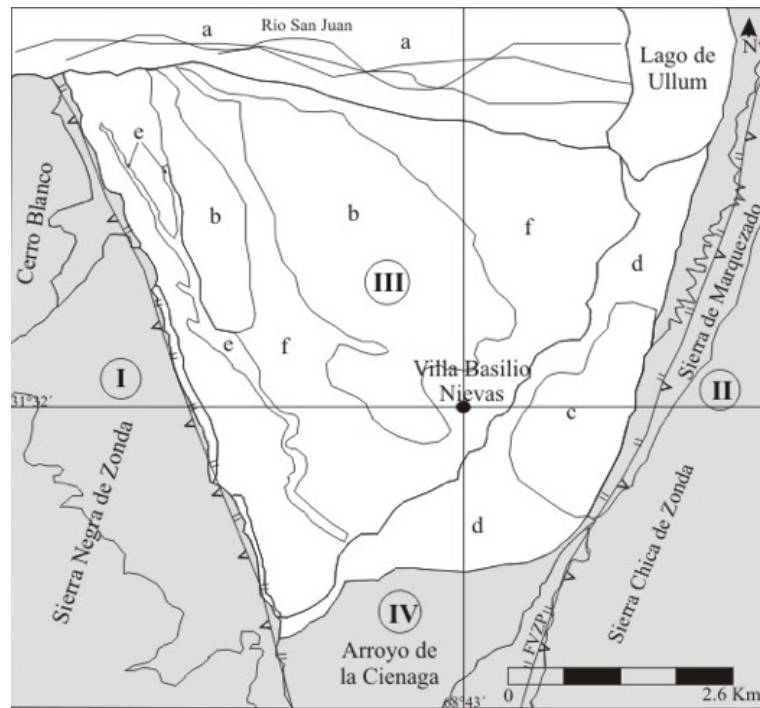
El análisis regional mediante el uso de imágenes Landsat TM y Google Earth, permitió dividir la región en 4 grandes cuencas, citadas como I) Cuenca de Precordillera Central, II) Cuenca de Precordillera Oriental III) Cuenca del Río San Juan y IV) Cuenca del Arroyo la Ciénaga. Las unidades del relieve de la cuenca III, fueron identificadas usando fotos aéreas y fotogramas a escala 1:50.000 y 1:10.000. Las unidades de relieves fueron diferenciados teniendo en cuenta el o las áreas de materiales parentales de aportes, diseños de drenaje, dirección del escurrimiento y tipo de proceso geomorfológico actuante (Figura 2: Unidades Geoambientales).

## Unidades Geomorfológicas

El paisaje del Valle de Zonda, queda integrado por dos regiones físicas de relieve muy distinto: un área elevada de montañas y sierras pertenecientes a las provincias geológicas de Precordillera Oriental (S<sup>o</sup> Chica de Zonda) al este y de Precordillera Central (Sierra Negra de Zonda) al oeste, y otra región baja que constituye la depresión intermontana central del valle.

Durante las épocas glaciales pleistocenas en Cordillera de los Andes, el trabajo erosivo de grandes masas de hielo aportó un abundante material detrítico [4 y 5]. La alternancia con periodos cálidos o interglaciarios, y su correspondiente abundancia de agua y carga detrítica, formaron grandes y espesos abanicos aluviales como el de Zonda a través del río San Juan.

Las unidades geomorfológicas analizadas para determinar su susceptibilidad a la licuefacción, son las correspondientes a la cuenca III (Mega-abanico del río San Juan), debido que en esta gran unidad se concentran todas las actividades antrópicas actuales y se realizan gestiones de planificación de desarrollo futuro. Las seis unidades identificadas y analizadas son:



I. Cuenca de Precordillera Central, II. Cuenca de Precordillera Oriental, III. Cuenca del Río San Juan a) cauce y Llanura de inundación del río San Juan, b) Sector Proximal y cuerpo del mega-abanico, c) Sector distal del mega-abanico con agua en superficie, d) Sector distal del mega-abanico sin agua en superficie e) Paleocauces f) Sectores interfluviales del mega abanico de menor pedregosidad. IV. Cuenca del Arroyo de la Ciénaga. FVZP. Frente tectónico Villicum-Zonda-Pedernal

Figura 2. Unidades geoambientales.

- **Cauce y llanura de inundación del Río San Juan** (unidad a): este sistema actual constituye una unidad geomorfológica representada tanto por el cauce como por la amplia llanura de inundación. Está constituida por gravas, rodados de riolitas, grauvacas, granitos y vulcanitas, limos y arenas. Son depósitos bien drenados y los procesos fluviales están activos. Es una unidad no apta para la planificación territorial por el peligro de inundación y avulsión.
- **Sector Proximal y cuerpo del mega-abanico** (unidad b): Se ubica a la salida del río San Juan desde la Precordillera Central, a la altura del cerro Blanco. Este sector posee gravas medianas de rocas ígneas, vulcanitas, plutonitas y sedimentitas, todas provenientes de Cordillera y parte de Precordillera. Los suelos tienen alta pedregosidad, son bien drenados, sin nivel freático próximo a la superficie. Es una región con potencialidad de uso de la tierra. Los procesos tienen una menor actividad que en la unidad a. Existe una leve incisión fluvial predominando la erosión laminar.
- **Sector distal del mega-abanico con agua en superficie** (unidad c): ocupa la parte final y distal del megaabanico, próxima a la sierra Chica de Zonda. Está formada por arena mediana a fina, limos y arcillas, suelos orgánicos. Tiene mal drenaje y se encuentra afectada por las descargas de agua provenientes del río San Juan y arroyo la Ciénaga. Las fluctuaciones de los caudales de los dos cursos de agua citados, ocasionan variaciones periódicas de los niveles freáticos. Se forman lagunas temporarias como la del Parque Presidente Sarmiento, Reserva natural. Las temporadas de sequías ocasionan una merma en el tamaño de las mismas, produciéndose invasión de plantas exóticas sobre las nativas. La villa cabecera del Departamento Zonda, Basilio Nievas, se encuentra transicionalmente entre esta unidad y la d. Los procesos son de mal drenaje, sedimentación alta y fina, nivel freático temporalmente oscilante, a veces superficial, incendios, tala de totorales, probable contaminación del agua de las lagunas por falta de red clacal.
- **Sector distal del mega-abanico sin agua en superficie** (unidad d): Este sector presenta una litología de sus depósitos y texturas de suelos similares al c (arena, limo y arcilla). Se lo separa por no tener la napa freática próxima a la superficie. Los autores consideramos que esto es una expansión de la unidad c que se formó en periodos de mayor provisión hídrica del río San Juan. Los procesos son escasa sedimentación fluvial, moderado drenaje y también existe aquí una intensa ocupación espontánea agrícola y maderera.

- **Paleocauces** (unidad e): son relieves suavemente cóncavos, elongados y abandonados ubicados principalmente en la porción occidental del mega-abanico con dirección NNO-SSE. Fue identificado como un antiguo cauce o brazo del río San Juan, actualmente abandonado y que parte desde las proximidades al cerro Blanco. Sus suelos tienen algunos rodados de tamaño mediano a pequeño, intercalados con arenas y limos. El drenaje es bueno a moderado drenaje. Los procesos de erosión son activos y canalizan las escasas lluvias estivales. Actúa como drenaje natural dentro del mega-abanico. Su paso es interrumpido por la ubicación de nuevas viviendas.
- **Sectores interfluviales del mega abanico de menor pedregosidad**, (unidad f): en el mega-abanico y muy próximo al borde oriental del piedemonte de la sierra Negra de Zonda se encuentra esta unidad. Esta muy probablemente se deba a la erosión y retrabajamiento de unos afloramientos lacustres y palustres datados recientemente como del Holoceno tardío, 3000 ybp [6]. Estos últimos depósitos se disponen en forma escalonada desde el piedemonte hacia el borde occidental del valle, muy probablemente en coincidencia con el retroceso hacia el Este del lago holoceno que existiera durante un ciclo más húmedo y frío. Son sedimentos finos, arenosos, limosos y arcillosos, pardo amarillentos, y en sectores con moderado material orgánico. Son intensamente aprovechados para agricultura. Esta unidad se encuentra en su parte sur muy próxima a la desembocadura del arroyo la Ciénaga, que drena de sur a norte y que en épocas estivales ocasiona desbordes e inundaciones, alcanzando una ruta nacional. Suelos con moderado a buen drenaje.

## FACTORES INTRÍNSECOS

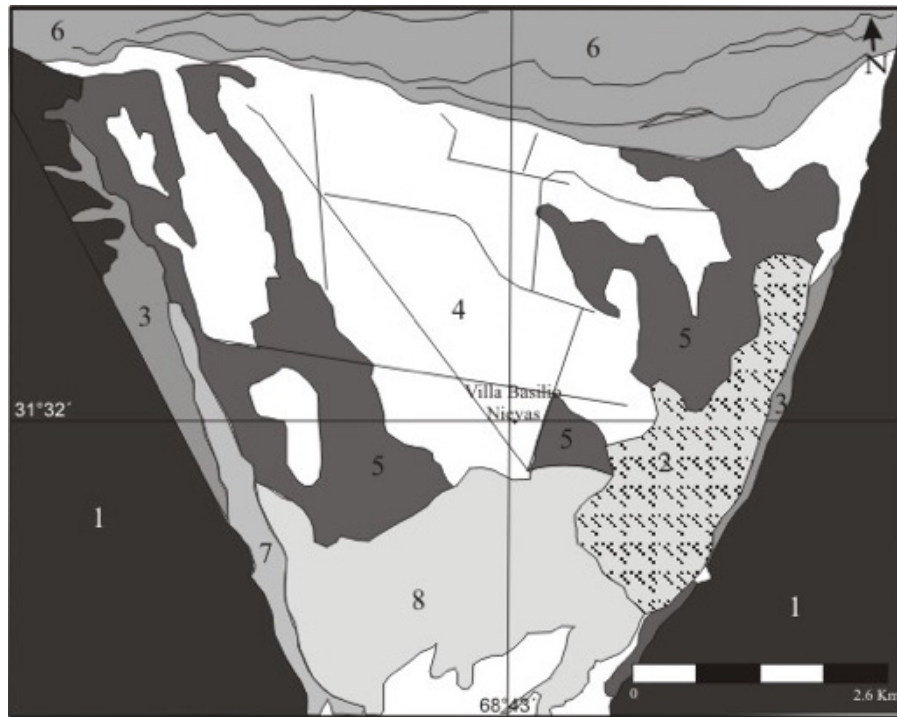
### Suelos

Distintas propiedades edafológicas como textura, estructura y permeabilidad, fueron analizadas a través de observaciones de campo mediante la apertura de minicaticas. Estas se abrieron en aquellos sitios de relieves representativos de un perfil modal de suelos, en cada unidad geoambiental. Sumado a ello, se consultaron las denominaciones de las unidades de mapeo y taxonómicas de esos perfiles de suelos provenientes del relevamiento de suelos del INTA [7]. De este modo se establecieron las asociaciones entre las unidades geoambientales a, b, c, d, e y f, con sus taxones y nombres de las unidades cartográficas (Figura 3: Características Edafológicas).

Unidades geo-ambientales	Nombre de Unidades cartográficas de suelos según INTA (1977)
a. Cauce y llanura de inundación del Río San Juan	Complejo Fluvial
b. Sector Proximal y medio del cuerpo del abanico	Serie El Chilote 1
c. Sector distal con agua en superficie	Complejo Ciénaga
d. Sector distal sin agua en superficie	Serie el Chilote + Serie Ullum
e. Paleocauces	Serie el Chilote
f. Sectores con menor pedregosidad	Serie Ullum + Serie el Chilote

Tabla 1: Correlación Unidades Geoambientales – Características Edafológicas

- Complejo Fluvial: Perfil: se encuentran desde no suelos hasta los representantes de las series y complejos. Su uso está limitado a cultivos eventuales en épocas donde no hay abundancia de agua. Taxonomía: Orden: Entisol, Suborden: Fluvacuents, Grupo y Subgrupo: Torrifluent y Fluvacuents y no suelos.
- Serie el Chilote: En este caso se describirán las dos fases de la Serie el chilote: CH1: Fase moderadamente erosionada y por pendiente y CH2: Fase también definida por pendiente, pero en este caso se presenta fuertemente erosionada Perfil tipo: suelo de textura predominantemente arenoso, a veces con inclusiones de gravas y gravillas, subsuelo constituido por gravas y un sustrato de texturas gruesas. Drenaje: de bueno a excesivamente drenado. Taxonomía: Orden: Entisol, Suborden: Fluventes, Grupo y Subgrupo: Torrifluente Familia: arenosa, mixta, térmica, sobre subsuelo esquelético, arenoso y sustrato arenoso.
- Serie Ullum: Perfil: suelo muy profundo que alcanza hasta los 2 m de profundidad, de textura franco limosa, en algunos perfiles se observaron capas de gravas y gravillas, suele aparecer un subsuelo con textura franco arenosa a arenosa. Drenaje: moderadamente bien drenado. Taxonomía: Orden: Entisol, Suborden: Fluventes, Grupo y Subgrupo: Torrifluente Familia: Franco fino, mixta, térmica.
- Complejo Ciénaga: Perfil: mezcla heterogénea de suelos de variadas características, a demás se encuentran suelos de series ya descriptas. Es frecuente la gleyzación. Taxonomía: Orden: Entisol, Suborden: Fluvacuents, Grupo y Subgrupo: Torrifluente típicos y Fluvacuents mólicos y típicos.



1) Roca, 2) Complejo Ciénaga, 3) Serie Chilote 2, 4) Serie Chilote1, 5) Serie Chilote, 6) Complejo Fluvial  
7) Serie Ullum1, 8) Serie Ullum

Figura 3: Unidades Edafológicas

### Variabilidad de la capa freática

La variabilidad de la capa freática, es una de las variables más importantes a la hora de evaluar la susceptibilidad. Las fluctuaciones de la capa freática proveniente de las descargas del río San Juan, indican su vinculación con un río de régimen nival y glacial estacionario [8]. Esta variación ha motivado que en la década del 70 se instale en la zona, una batería de pozos surgentes que drenan el sector cuando se produce un ascenso de la napa freática o que proveen de agua en las sequías [9]

Gamboa et al. [10] estudia los registros del comportamiento de los niveles freáticos en el valle de Zonda (en un lapso de cuatro décadas), señalando que este acuífero libre tiene una dinámica importante, comprobándose de inmediato la falta o exceso de aporte de caudal principalmente en la zona adyacente al espejo de agua del embalse.

Las cartas de variabilidad de la napa freática, permiten establecer zonas de susceptibilidad al ascenso del nivel freático (Figura 5), que limitarían las actividades antrópicas en forma permanente. Actualmente existe una tendencia a construir las viviendas por encima del nivel del terreno sobre pilotes de madera o cemento, aunque para una ocurrencia de licuefacción estas medidas no resultarían totalmente satisfactorias.

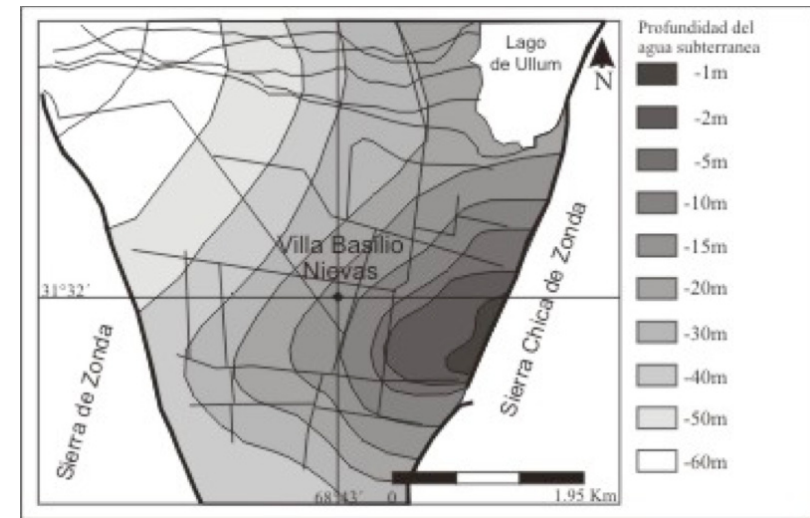


Figura 3: Tomado de INA (2000). Curvas de igual profundidad del agua subterránea variabilidad de la capa freática.

Esta última capa de información fue integrada con la obtenida en la figura 2, estableciendo la susceptibilidad de las distintas unidades geoambientales a la variación periódica de la capa freática, resultando la tabla II.

Unidades geo-ambientales	Profundidad de la capa freática en m
Cauce y llanura de inundación del Río San Juan	-15 a -50
Sector Proximal y medio del cuerpo del abanico	-10 a -50
Sector distal con agua en superficie	Superficial a -2
Sector distal sin agua en superficie	-2 a -5
Paleocauces	-40 a -50
Sectores con menor pedregosidad	-20 a -50

Tabla II: Profundidad de la capa freática en metros.



## FACTOR EXTRINSECO REGIONAL TECTÓNICO

El área de estudio como ya se citara es una depresión tectónica desarrollada entre dos provincias geológicas diferentes, Precordillera Central al oeste y Precordillera Oriental hacia el este [11 y 12]. Gardini [13] define a este sector como una zona triangular que se encuentra limitada hacia el este por la Sierra chica de Zonda y hacia el oeste por la Sierra Negra de Zonda. Esta última serranía forma un anticlinal de 15 Km de longitud cuyo plano axial se encuentra truncado por una falla inversa de bajo ángulo y buzante hacia el oeste, ubicada en una parte del piedemonte oriental de la sierra. Mientras que hacia el este del valle de Zonda y en el límite piedemonte versus Sierra Chica de Zonda cruza el sistema de megafracturación inverso y de alto ángulo en superficie, denominado de Villicum-Zonda-Pedernal. Este último sistema es un corrimiento regional de alto ángulo que inclina hacia el este, involucra el basamento y lo eleva cerca de la superficie. Tello y Perucca [14] estiman para este sistema un sismo de magnitud máxima potencial entre 6.7 y 7.4. Bastias [15] estima un rango de movimiento de 0,6 mm/año. Es un sistema de fracturación con numerosas evidencias de su actividad y peligrosidad en el relieve local.

En la evaluación de los disparadores sísmicos factibles de desencadenar un proceso de licuefacción, se tiene en cuenta la distancia de estos a las distintas unidades evaluadas. Distintos autores [1] señalan que no se conocen casos de licuefacción en lugares a más de 110 Km de la fuente sismogénica para magnitudes entre 7 y 8 y se podría dar a menos de 1 Km para magnitudes de 4. En la provincia de San Juan, afectada por numerosos terremotos, se han detectado fenómenos de licuefacción, en áreas ubicadas a 70 Km del epicentro. [16]

En este estudio, la evaluación del disparador sísmico fue efectuada teniendo en cuenta la distancia en km existente entre los 6 geoambientales y el sistema de fallamiento de Villicum-Zonda-Pedernal. La estimación se realizó con ayuda del programa Google Earth 2010. La decisión de tomar en cuenta solo la distancia entre los sitios y la falla Villicum-Zonda se debe a que existen registros históricos como el del epicentro del sismo del 11 de junio de 1952,  $M_s = 7,0$  [17], que los vinculan a este sistema de fallamiento activo [18]. De esta manera se considero la siguiente ponderación: NC: No Considerado Índices: 1 (Inactivo)- 2(Bajo)-3(Medio)-4(Alto). 1(>6Km), 2(4-6 Km), 3(2-4 Km), 4(<2Km).

## RESULTADOS

Se calcularon tres indicadores parciales, en relación a textura de suelos y/o sedimentos; variabilidad de la freática y a la proximidad al frente tectónico activo (disparador sísmico), en función de escalas numéricas del 1 al 4, que oscilan desde inactivo, bajo hasta alto, respectivamente.

### Indicador a la licuefacción en relación a textura de suelos y/o sedimentos.

NC: No Considerado; Índices: 1 (Inactivo)- 2(Bajo)-3(Medio)-4(Alto): 1(grava), 2 (grava+arena), 3 (Arena+fino), 4 (Arcilla + limo).

Código	Unidades Geoambientales	Índice
a.	Cauce y llanura de inundación del Río San Juan	1
b.	Sector Proximal y medio del cuerpo del abanico	2
c.	Sector distal con agua en superficie	4
d.	Sector distal sin agua en superficie	3
e.	Paleocauces	2
f.	Sectores con menor pedregosidad	3

### Indicador a la licuefacción en relación a variabilidad de la freática.

NC: No Considerado - Índices: 1 (Inactivo)- 2(Bajo)-3(Medio)-4(Alto): 1(>50m), 2(20-40m), 3(5-15m), 4(0-2m).

Código	Unidades Geoambientales	Índice
a.	Cauce y llanura de inundación del Río San Juan	2
b.	Sector Proximal y medio del cuerpo del abanico	2
c.	Sector distal con agua en superficie	4
d.	Sector distal sin agua en superficie	3
e.	Paleocauces	1
f.	Sectores con menor pedregosidad	2



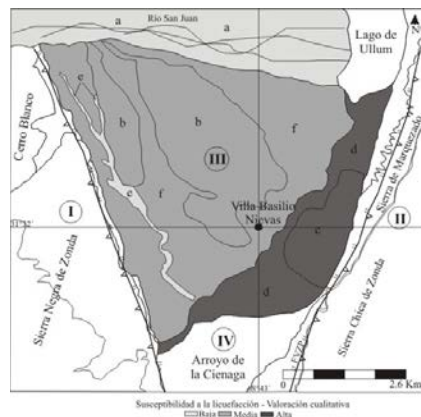
### Indicador a la licuefacción en relación a la proximidad al frente tectónico activo (disparador sísmico).

NC: No Considerado Índices: 1 (Inactivo)- 2(Bajo)-3(Medio)-4(Alto). 1(>6Km), 2(4-6 Km), 3(2-4 Km), 4(<2Km).

Código	Unidades Geoambientales	Índice
a.	Cauce y llanura de inundación del Río San Juan	1
b.	Sector Proximal y medio del cuerpo del abanico	2
c.	Sector distal con agua en superficie	4
d.	Sector distal sin agua en superficie	4
e.	Paleocauces	1
f.	Sectores con menor pedregosidad	2

Una vez obtenidos los indicadores parciales, éstos fueron integrados dando los Índices Territoriales. Tal como lo muestra la tabla VI, considerando la ponderación de la siguiente manera baja: de 1 a 4, Medio de 5 a 9; Alto de 10 o más (Figura 6).

Código	Composición Textural A	Variabilidad Freática B	Disparadores Sísmicos C	Vulnerabilidad a la licuefacción A+B+C	Total	Valoración cualitativa
a.	1	2	1	1+2+1	4	Baja
b.	2	2	2	2+2+2	6	Medio
c.	4	4	4	4+4+4	12	Alta
d.	3	3	4	3+3+4	10	Alta
e.	2	1	1	2+1+1	4	Baja
f.	3	2	2	3+2+2	7	Medio



### CONCLUSIONES

Un 30 % de las unidades territoriales o geoambientales del oasis productivo de Zonda no sufriría procesos de licuefacción ante las condiciones analizadas. Sin embargo el 70 % restante tiene una susceptibilidad media a alta a la licuefacción ante un disparador sísmico.

La susceptibilidad a la licuefacción ha sido determinada mediante el análisis de factores intrínsecos al sitio o unidad tales como suelos y variación de la freática y extrínsecos como la actividad neotectónica.

Las características texturales de los suelos corresponden a las características primigenias de depositación del sedimento y de la geoforma constituyendo un factor pasivo. Mientras que tanto las variaciones en los niveles freáticos como la actividad neotectónica son factores activos. La dinámica de la freática está en vinculación con los caudales y régimen de alimentación del río San Juan. Los cambios climáticos y las precipitaciones nivales cambiantes conducen a que este factor así como el tiempo de ocurrencia de un sismo sean impredecibles. Deben conjugarse y sumarse varias condiciones al momento del sismo para que la licuefacción se produzca.

No obstante cada unidad geoambiental o geomorfológica tiene una susceptibilidad propia establecida por las características primigenias del depósito y del relieve determinadas por el agente interviniente al tiempo de depositación sin sedimentaria. Son condiciones heredadas que no pueden cambiarse tales como la textura y estructura de los suelos, pendiente, y su ubicación en el paisaje, entre otras.

Las porciones distales del mega-abanico aluvial del río San Juan (con y sin agua en superficie) son las unidades de alta Susceptibilidad a la licuefacción de suelos. Este sistema de abanico está en conexión con factores extrínsecos. El factor hídrico-niveles freáticos, si bien pareciera manifestarse a escala de sitio, el mismo está vinculado al sistema regional de la cuenca, siendo un factor extrínseco.

Asimismo, la actividad endógena del sistema de fallamiento Villicum-Zonda-Pederal, de elevación del conjunto serrano y acomodamiento de los relieves, es un factor extrínseco preponderante. Ya sea por tectónica activa o cambio climático, el mega-abanico aluvial puede superar su umbral geomórfico y generar una inestabi-

lidad en el medio. El sistema del mega-abanico de Zonda tendría entonces una respuesta a los cambios rápida sin ofrecer mayor resistencia, siendo en consecuencia un modelado lábil.

La metodología empleada muestra la necesidad del análisis no solo de los sitios o unidades territoriales locales sino particularmente su vinculación con la cuenca o con los sistemas de alimentación hídrica regional y con los sistemas tectónicos. De este modo las 6 unidades con sus correspondientes susceptibilidades integran un único dominio, el fluvial.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ayala Carcedo, F.J. 2008. Introducción a los riesgos geológicos en Riesgos Geológicos, Ayala, F y Durán J. (Eds). IGME, Madrid, 333p.
- [2] Perucca, L y Paredes, J. 2004. Descripción del fallamiento activo en la provincia de San Juan. Tópicos de Geociencias. Un volumen de Estudios Sismológicos, Geodésicos y Geológicos en Homenaje al Ing. Fernando Séptimo Volponi: 269-309, San Juan.
- [3] Suvires, G. 2009. Unidades geomorfológicas del río San Juan en la depresión tectónica de Ullum-Zonda. Provincia de San Juan, Argentina. IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, pp: 294. Resúmenes y trabajos. La Plata.
- [4] Suvires G. y Lloret, G. 2005. Sensibilidad de los ambientes geomorfológicos y edáficos a los cambios ambientales. Un caso de estudio. XVI Congreso Geológico Argentino. Tomo III, pp: 483-490. La Plata, Buenos Aires.
- [5] Lloret, G. y Suvires, G., 2006. Ground water basin of the Tulum Valley, San Juan, Argentina: A morphohydrogeologic analysis of its central area", 2006. Journal of South American Earth Sciences. Volumen 21. Issue 3; pages 267-275. Julio 2006. Elsevier.
- [6] SUVIRE, G.M.; GAMBOA, L., 2011. Primeras Dataciones Del Lago Holoceno Tardío De Zonda, San Juan, Argentina. Revista de la Asociacion Geologica Argentina. En prensa.
- [7] INTA., 1976. Estudios de suelos y drenaje de los valles de tulum, ullum y zonda. San Juan. Argentina. Estación experimental agropecuaria. 1, 2, 210 p (inédito). San Juan.
- [8] INA. Instituto Nacional del Agua y el Ambiente, 2000. Curvas de igual cota de agua subterránea. Septiembre 2000. Documento N° D-37.
- [9] Zambrano, J.J. 1983. Actualización del conocimiento geológico del valle de Ullum-Zonda. Serie Técnica, pps: 261. CRAS. San Juan, pp: 1-120.
- [10] Gamboa, L. y Ocampo, L. 2009. Comportamiento de los niveles freáticos en el valle de zonda, en un lapso de cuatro décadas, su vinculación con el desarrollo agrícola y turístico, provincia de San Juan, argentina. Actas ICES 5, pp:67-70. Malargue, Mendoza.
- [11] Ortiz, Apolo y Juvenal Zambrano (1981)-La provincia geológica Precordillera Oriental. VIII Congreso Geológico Argentino. San Luis. Actas III p.59-74
- [12] INPRES 2006. Listado de terremotos históricos, catálogo on-line (www.inpres.gov.ar).
- [13] Castano, J.C. 1993. La verdadera dimensión del problema sísmico en la provincia de San Juan. Publicación técnica N°18, 46pp. San Juan
- [14] Gardini, M. 1993. Estructura superficial y profunda del valle de Zonda, Precordillera de San Juan. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas N°3, pp 93-99
- [15] Tello, G. y Perucca, L. 1993. El sistema de fallamiento Precordillera Oriental y su relación con los sismos históricos de 1944 y 1952, San Juan, Argentina 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 258-265, Mendoza.
- [16] Perucca, L., Bastias H. 2005. El terremoto Argentino de 1894: Fenómenos de licuefacción asociados a sismos. INSUGEO, Serie Correlación Geológica, 19:55-70
- [17] Baldis, B., Martinez, R., Villegas, C., Pereyra, M. E. y Perez, A.M. 1990. Estructura, Provincialismo Geológico y Unidades Tectonoestratigráficas. 11° Congreso Geológico Argentino, San Juan, Relatorio: 186 211, San Juan.
- [18] Bastias, H. 1986. Fallamiento Cuaternario en la región sismotectónica de Precordillera. Tesis Doctoral, facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. 154 pp. Inedito

# Estudio petrográfico y geoquímico de los basaltos del centro eruptivo Cerro del Mojón, centro-oeste de la provincia de Río Negro

Alexis Daniel Ponce (1),  
Gustavo Walter Bertotto (1).

1- INCITAP (CONICET-Universidad Nacional de La Pampa).  
poncealexis\_wini@hotmail.com

## RESUMEN

El centro eruptivo cerro Del Mojón, ubicado en el sector centro-oeste de la provincia de Río Negro, es una de las manifestaciones del volcanismo de retroarco Cenozoico del norte de la Patagonia extraandina. En este trabajo se dan a conocer los análisis petrográficos y geoquímicos efectuados sobre sus rocas. El cerro está compuesto por coladas de lava y depósitos piroclásticos basálticos, los que contienen inclusiones ultramáficas del manto. Los basaltos presentan textura porfírica con pasta intergranular a intersertal y fenocristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa. En la pasta se observa plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, minerales opacos y vidrio. Se identificaron xenocristales de olivino y piroxeno dispersos y parcialmente reabsorbidos por la pasta, provenientes de la disgregación de las inclusiones ultramáficas; también presentan xenocristales de cuarzo y plagioclasa. La concentración de elementos mayores y traza se obtuvo en roca total mediante la técnica de fluorescencia de rayos X. Las rocas del cerro clasifican como basanitas y, en menor medida, como traquibasaltos en el diagrama TAS, pertenecientes a la serie alcalina. Sobre la base de la distribución de elementos incompatibles en diagramas normalizados y de la relación Ti-Zr, las volcanitas del cerro Del Mojón se corresponden con basaltos de intraplaca. El análisis termobarométrico indica una temperatura de  $1.385 \pm 4$  °C y una presión de  $2,38 \pm 0,04$  GPa para las condiciones de generación del magma primario, a partir del cual derivaron los basaltos estudiados.

## INTRODUCCIÓN

Durante el Cenozoico, al sur de los 33° LS y a partir de la subducción de las placas oceánicas de Nazca y Antártica por debajo de la placa continental Sudamericana, se

generó magmatismo de arco y retroarco. El emplazamiento, desarrollo y evolución de los arcos volcánicos de la Patagonia estuvo condicionado por diferentes factores, entre ellos: la velocidad de convergencia de las placas, la inclinación de la zona de Benioff, la edad de la placa subductada y el espesor de la placa cabalgante [1]. Concomitantemente con el volcanismo de arco, se produjeron múltiples episodios volcánicos vinculados a movimientos extensionales desarrollados en los ámbitos de retroarco e "intraplaca", caracterizados por la presencia de basaltos alcalinos [2]. Los más importantes generaron el Basalto Posadas en el Eoceno (~ 46°S a 50°S); la provincia magmática Somuncura en el Oligoceno Superior a Mioceno Inferior (41°S a 43°S, además de los magmas de similar edad hasta los 46°S); las lavas del Mioceno superior al Plioceno al este del punto triple de Chile (~46°S a 49°S), y la provincia magmática de Payunia (36°S a 38,5°S) [3].

El origen de los basaltos alcalinos patagónicos se puede relacionar con perturbaciones mecánicas o térmicas del manto subcontinental, debidas a la subducción de litosfera oceánica debajo de la placa Sudamericana [4]; pudiéndose vincular también con la actividad de puntos calientes transitorios para explicar la presencia de basaltos alcalinos de retroarco [5].

Un aporte general de referencia, respecto de la petrología de los basaltos patagónicos (al sur de los 33° LS) fue el efectuado por Stern et al. [2]. También existen diversas publicaciones sobre los basaltos de la Patagonia en áreas acotadas, entre ellas las de Skewes y Stern [4] sobre petrología y geoquímica de los basaltos alcalinos e

inclusiones ultramáficas del campo volcánico Pali Aike, y las de Acevedo y Quartino [6], quienes estudiaron los basaltos alcalinos portadores de xenolitos ultramáficos en Tierra del Fuego. Más hacia el norte de la Patagonia, en las provincias de Chubut y Río Negro, Alric [7] estudió los basaltos portadores de xenolitos en las localidades de Paso de Indios y Cerro Cóndor, Remesal et al. [8] investigaron la petrología de la secuencia volcánica cenozoica del arroyo Ranquil Huao y Orihashi et al. [9] efectuaron aportes originales sobre la petrogénesis de los basaltos de Somuncura.

El cerro Del Mojón forma parte del volcanismo de retroarco cenozoico desarrollado al oeste de la provincia magmática Somuncura. Está conformado por un edificio volcánico y una serie de coladas de basaltos. Sobre este cerro sólo se han realizado investigaciones puntuales sobre sus inclusiones ultramáficas. Gelós y Hayase [10] estudiaron los xenolitos ultramáficos en dicho cerro y en la región de Comallo, además de los de otras localidades de las provincias de Río Negro y Chubut; asimismo, Rivalenti et al. [11], Malmann [12] y Bjerg et al. [13] realizaron trabajos petrográficos y geoquímicos sobre las peridotitas de esta localidad. El objetivo de este trabajo es realizar la caracterización petrográfica y geoquímica de las distintas unidades volcánicas que componen el centro eruptivo cerro Del Mojón.

## GEOLOGÍA DEL CERRO

El cerro Del Mojón se encuentra ubicado en el sector centro-oeste de la provincia de Río Negro, departamento Pilcaniyeu, unos 18 Km al sureste de la localidad de Comallo transitando por ruta nacional N° 23 (Figura 1). La ubicación geográfica de los afloramientos es  $41^{\circ}06'S$  y  $70^{\circ}13'O$ . El edificio volcánico consta de dos conos, uno principal y otro secundario, que se alinean siguiendo la dirección  $N65^{\circ}E$  (Figura 2). El cono principal presenta una abertura hacia el NNE. Como unidades litológicas se distinguen una facies lávica compuesta por coladas del tipo pahoehoe; y una facies piroclástica, que comprende aglomerados volcánicos de tamaño lapilli a bomba. Tanto las rocas de la facies lávica como las de la piroclástica son portadoras de xenolitos ultramáficos (Figura 3). Estas inclusiones tienen composición y texturas típicas del manto superior, las cuales han sido incorporadas en profundidad por el magma ascendente. Los basaltos son masivos, de color gris azulado y presentan en conjunto un espesor promedio de 30 metros. Se reconocen 3 niveles de flujo que en su parte media exponen xenolitos ultramáficos muy poco alterados y de tamaños que pueden alcanzar los 12 cm de diámetro. Por encima de las coladas se encuen-

tra la facies piroclástica, compuesta por aglomerados volcánicos con piroclastos de tamaño lapilli a bomba de hasta 1 metro de diámetro, los que forman las paredes de los conos volcánicos (Figura 4). Las rocas del cerro están incluidas dentro de la unidad "Basaltos Trailacahue" [14], a los que se le asignan, por relaciones geológicas, edad pliocena [15].

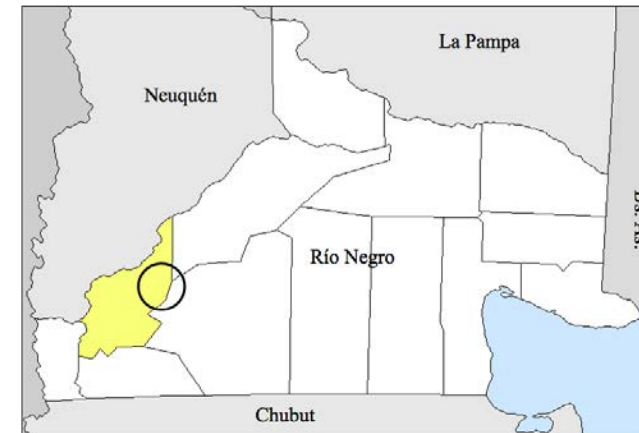


Figura 1. Ubicación general del área de estudio dentro de la provincia de Río Negro. En color amarillo se representa el departamento Pilcaniyeu y el círculo negro delimita el área de estudio.



Figura 2. Cerro Del Mojón y direcciones de coladas hacia el NNE y E, indicadas con flechas amarillas (imagen de Google Earth).





Figura 3. A) Xenolito ultramáfico en colada de lava; B) Xenolito en bomba volcánica.

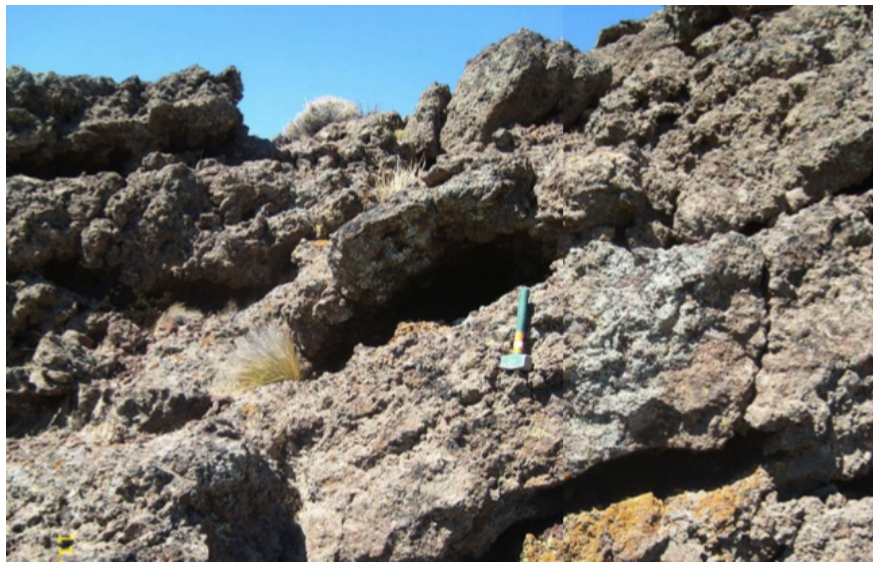


Figura 4. Aglomerado volcánico formando las paredes del cono.

## METODOLOGÍA

De las muestras colectadas durante el trabajo de campo se seleccionaron 9; 6 correspondientes a dos coladas (MJ1, MJ2, MJ3, MJ10, MJ11 y MJ37) y 3 a bombas volcánicas (MJ17, MJ26 y MJ27), sobre las cuales se realizaron análisis petrográficos y geoquímicos. Para el análisis petrográfico se utilizó un microscopio petrográfico marca Nikon y se siguió la nomenclatura propuesta por MacKenzie et al. [16] y Llam-

bías [17]. La geoquímica de elementos mayores y traza, en roca total, se realizó por el método de Fluorescencia de rayos X (FRX) empleando un espectrómetro de Fluorescencia de rayos X marca Phillips modelo PW 1480 perteneciente a la Universidad de Modena (Italia). El estudio geoquímico se basó fundamentalmente en los trabajos de Rollinson [18], Shelley [19] y Pearce [20]. Para la clasificación de las rocas se utilizó un diagrama TAS [21]. También se elaboraron varios diagramas discriminantes de ambientes tectónicos, entre ellos el multielemento normalizado a MORB [20], el Ti vs. Zr (Pearce 1982, en Rollinson [18]). Por último, se estimaron la temperatura y presión de formación del magma primario siguiendo el trabajo de Lee et al. [22].

## RESULTADOS

### Petrografía

En las coladas predominan las texturas porfíricas a glomeroporfíricas. Los fenocristales presentes son olivino, plagioclasa y clinopiroxeno, siendo los diámetros máximos 0,6, 0,7 y 0,5 mm respectivamente. Los olivinos son subhedrales a euhedrales y en algunos casos desarrollan formas esqueléticas. Los clinopiroxenos son mayormente euhedrales, con zonación concéntrica y algunos presentan núcleos cribados. Las plagioclasas son subhedrales. Las pastas más frecuentes son intergranulares y están compuestas por plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, vidrio y minerales opacos. Se observan xenocristales de olivino de hasta 2,5 mm de diámetro máximo, con extinción ondulosa y bordes parcialmente reabsorbidos por la pasta; xenocristales anhedrales de clinopiroxeno de hasta 2,3 mm de diámetro; xenocristales de cuarzo y plagioclasa corroídos, que alcanzan los 2,2 mm de diámetro y xenolitos ultramáficos de hasta 2,5 mm de diámetro (Figura 5).

Las muestras de bombas poseen estructura vesicular, la que alcanza el 50 % en volumen. La textura es porfírica, con fenocristales de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno. Los olivinos son subhedrales a euhedrales, los clinopiroxenos son mayormente euhedrales, con zonación concéntrica y las plagioclasas son subhedrales. Las pastas son hialoofíticas, compuestas de vidrio rojizo y microlitos de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno. Además se identificaron xenocristales fracturados de olivino y xenolitos ultramáficos.



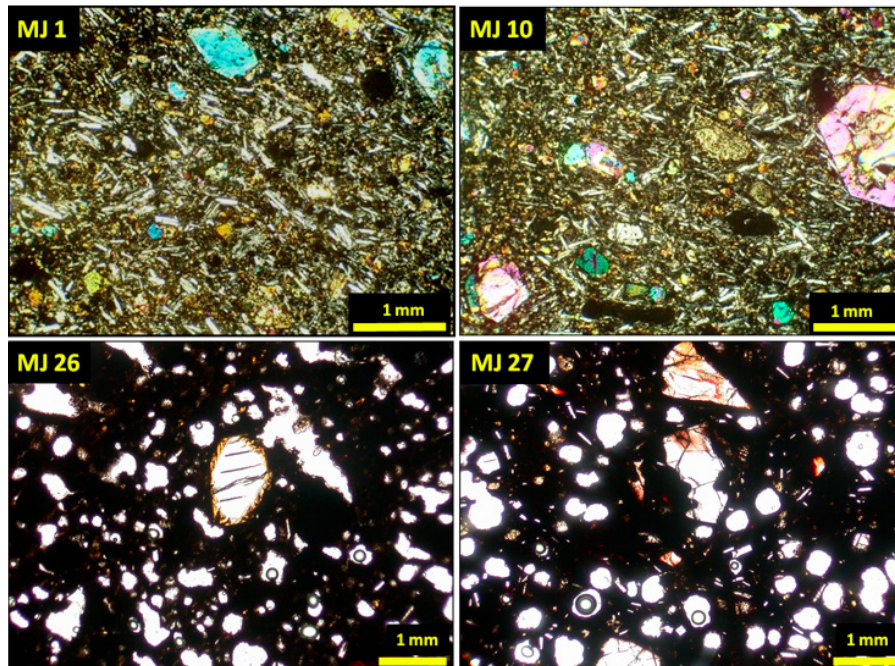


Figura 5. Fotografías de cortes delgados de las muestras analizadas vistos al microscopio óptico. MJ1 y MJ10 muestras de colada (luz polarizada); MJ26 y MJ27 muestras de bombas (luz natural).

### Geoquímica

Sobre las muestras seleccionadas se determinó la composición química (roca total) de 10 elementos mayores y menores, y 16 elementos traza mediante Fluorescencia de rayos X. Los porcentajes en peso de los elementos mayores expresados como óxidos y las concentraciones de los elementos traza expresadas en partes por millón (ppm) se muestran en las Tablas I y II. El error analítico fue aproximadamente de 2 a 5 % para los elementos mayores e inferior al 10 % para los elementos traza, el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  fue determinado como óxido de hierro total y los análisis se recalcularon sobre base anhidra, asumiendo una relación  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 0,3$ .

Muestra	MJ1	MJ2	MJ3	MJ10	MJ11	MJ37	MJ17	MJ26	MJ27
Litotipo	colada	colada	colada	colada	colada	colada	bomba	bomba	bomba
SiO <sub>2</sub>	47.31	47.74	47.66	47.64	47.35	49.15	48.55	50.56	48.52
TiO <sub>2</sub>	1.61	1.59	1.62	1.59	1.62	1.43	1.67	1.79	1.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.42	15.75	15.73	15.65	15.79	16.51	14.86	12.94	14.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tot	9.70	9.57	9.66	9.66	9.74	9.07	10.18	10.71	10.41
MnO	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.16	0.16
MgO	9.79	9.12	9.17	9.29	9.32	8.16	9.82	11.08	10.18
CaO	8.09	8.03	8.08	8.07	8.12	7.78	8.50	7.99	8.43
Na <sub>2</sub> O	4.57	4.60	4.58	4.54	4.51	6.00	4.25	3.02	3.65
K <sub>2</sub> O	2.58	2.66	2.54	2.64	2.62	1.00	1.27	1.48	1.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.78	0.79	0.81	0.79	0.78	0.76	0.74	0.28	0.82
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabla I. Concentración de elementos mayores y menores en roca total.

Muestra	MJ1	MJ2	MJ3	MJ10	MJ11	MJ37	MJ17	MJ26	MJ27
Litotipo	colada	colada	colada	colada	colada	colada	bomba	bomba	bomba
Ni	234	227	231	229	225	245	305	371	312
Co	46	43	45	47	45	47	49	51	49
Cr	331	330	339	324	342	332	362	430	353
V	190	190	190	190	191	181	168	137	176
Ce	90	92	95	93	90	89	84	60	81
Nd	46	46	45	44	44	42	40	28	40
Ba	948	959	954	939	954	891	897	885	891
La	45	47	49	45	45	44	39	31	44
Nb	34	34	34	35	35	35	36	39	38
Zr	271	268	271	270	274	268	272	289	273
Y	24	22	23	23	23	21	23	16	24
Sr	1130	1118	1136	1126	1137	1089	1052	1124	1040
Rb	56	55	54	57	54	39	17	36	26
Pb	2	3	9	7	9	9	10	10	9
Zn	77	78	78	79	78	73	85	94	91
Cu	707	712	709	714	710	704	702	706	717

Tabla II. Concentración de elementos traza en roca total.

### Elementos Mayores

Para clasificar las rocas del Cerro Del Mojón se utilizó el diagrama sílice versus álcalis totales TAS [22]. La distribución de muestras utilizando la sílice como índice de diferenciación permite una buena discriminación de las unidades analizadas. Las rocas pertenecientes a las unidades lávicas y bombas presentan una variación en el contenido de SiO<sub>2</sub> del 47,31% al 50,56%, por lo que clasifican como básicas (Figura 6). Las rocas de colada (MJ1, MJ2, MJ3, MJ10, MJ11) clasifican como basanitas,

excepto MJ37 que lo hace como traquibasalto (hawaiita). Las muestras de bomba MJ17 y MJ27 pertenecen al campo de los traquibasaltos (hawaiitas) y MJ26 al de los basaltos. Todas las muestras pertenecen a la serie alcalina según la división de Macdonald [23] (Figura 6).

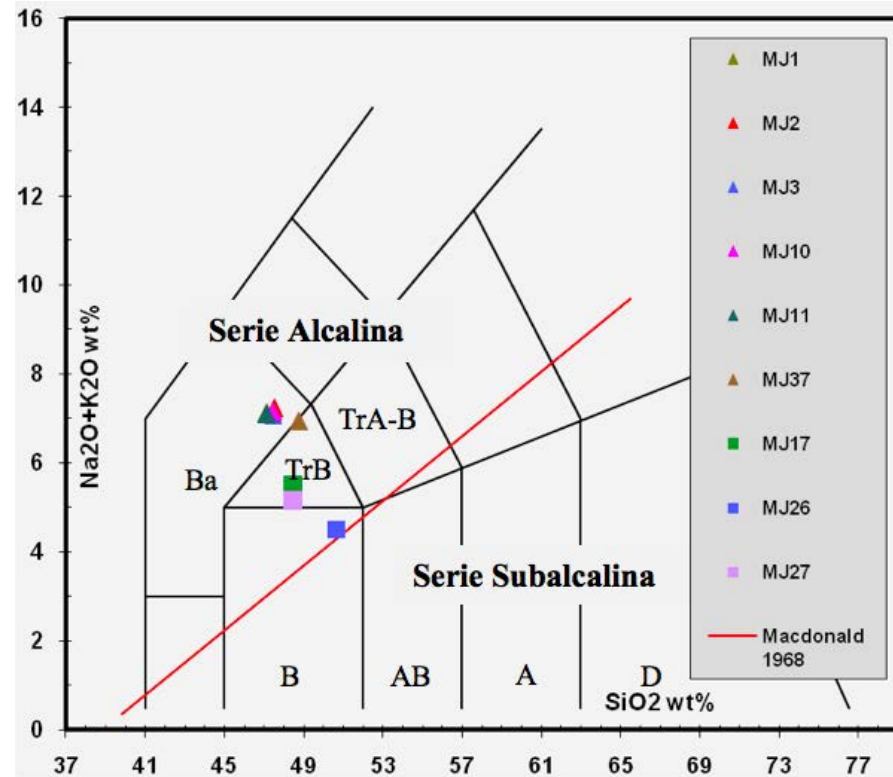


Figura 6. Clasificación de rocas volcánicas [22]. Símbolos: B: basalto; Ba basanita; TrB: traquibasalto; TrA-B: traquiandesita basáltica; AB andesita basáltica; A: andesita; D: dácita; Los triángulos corresponden a las muestras de colada y los cuadrados a bombas.

A partir de los óxidos mayores se calculó la norma C.I.P.W. con el fin de obtener los porcentajes de los minerales normativos (hipotéticos) constituyentes de cada muestra. Los valores (Tabla III) se obtuvieron mediante el software KWare-MAGMA utilizando la relación  $Fe_2O_3/FeO = 0,3$  según Rollinson [18]. Con estos minerales se calculó el "Índice de Diferenciación" ( $ID = Qz + Or + Ab + Nph + Kls + Lct$ ) propuesto

por Thornton y Tuttle, 1960 (en Ragland [24]). Del análisis de este parámetro resulta que las muestras de bombas son más primitivas ( $ID = 34-37$ ) que las muestras de coladas ( $ID = 41-46$ ).

Muestra	Litotipo/Mineral	Qz	Crn	Or	Ab	An	Nph	Di	Hyp	Ol	Mag	Ilm	Ap	Total	ID
MJ1	colada	0	0	15	13	14	14	17	0	19	3	3	2	100	42
MJ2	colada	0	0	16	15	14	13	16	0	18	3	3	2	100	44
MJ3	colada	0	0	15	15	15	13	16	0	18	3	3	2	100	43
MJ10	colada	0	0	15	15	14	13	17	0	18	3	3	2	100	43
MJ11	colada	0	0	15	13	15	13	16	0	19	4	3	2	100	41
MJ37	colada	0	0	6	28	15	12	15	0	16	3	3	2	100	46
MJ17	bomba	0	0	7	24	18	6	16	0	20	4	3	2	100	37
MJ26	bomba	0	0	9	25	17	0	16	8	16	4	3	2	100	34
MJ27	bomba	0	0	9	25	19	3	14	0	21	4	3	2	100	37

Tabla III. Minerales normativos, expresados en % peso, e índice de diferenciación (ID) en rocas de Cerro Del Mojón. De izquierda a derecha los minerales son: cuarzo, corindón, ortosa, albita, anortita, nefelina, diópsido, hiperstena, olivino, magnetita, ilmenita y apatito.

#### Elementos Traza

Los resultados de los análisis de elementos traza por Fluorescencia de rayos X se muestran en la Tabla II. Las rocas de coladas y bombas presentan un contenido de Ni entre 225 y 371 ppm y de Cr entre 324 y 430 ppm. Estos valores de Ni y Cr nos indican un magma con cierto grado de evolución por fraccionamiento de olivinos y clinopiroxenos [20].

Se emplearon diferentes diagramas discriminantes a partir de las concentraciones de los elementos traza y mayores. En primer lugar, Pearce [20] señaló la importancia en la utilización de patrones discriminantes conteniendo elementos traza altamente incompatibles. Este autor expuso los patrones típicos generados por composiciones promedio (normalizadas) de los distintos magmas, quedando de manifiesto entonces, las variaciones para basaltos de dorsales centro-oceánicas (MORB), basaltos de intraplaca (WPB), basaltos de arco volcánico (VAB) y transiciones MORB/WPB, MORB/VAB, VAB/WPB. Luego de normalizar a MORB y graficar los datos de las muestras estudiadas (Figura 7), se observa que todas las muestras de coladas y de las bombas MJ17 y MJ27 presentan un patrón similar; mientras que la restante bomba (MJ26) muestra una anomalía negativa de fósforo (P), posiblemente producto de meteorización, ya que el fósforo es móvil en ambiente acuoso [25]. Además, si comparamos

los patrones obtenidos para las muestras de coladas y bombas con los patrones correspondientes a basaltos alcalinos de intraplaca (WPB) y basaltos calcoalcalinos de arco volcánico (VAB), indicados por Pearce [20], se halla una importante coincidencia con el patrón de los basaltos alcalinos de intraplaca.

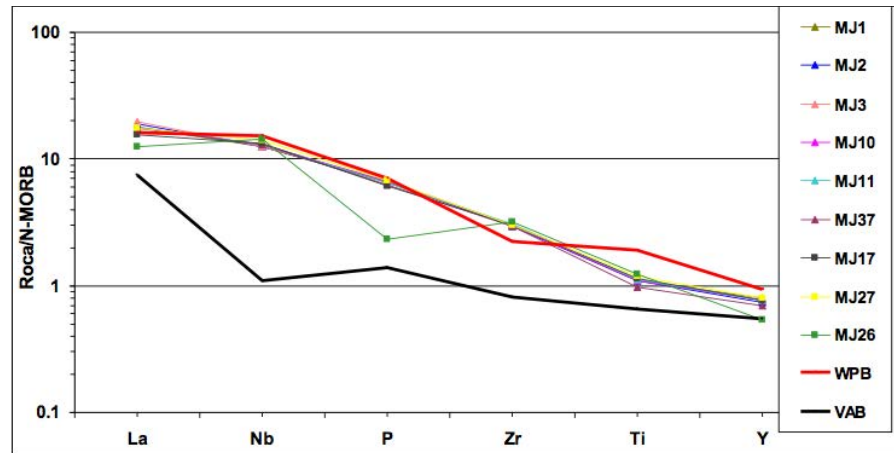


Figura 7. Diagrama multielemental comparando muestras del Cerro Del Mojón con patrones de basaltos de arco calcoalcalino (VAB) y basaltos alcalinos de intraplaca (WPB) [21]. Los triángulos corresponden a las muestras de coladas y los cuadrados a bombas.

Para corroborar estas características de intraplaca que presentan las rocas del centro eruptivo Del Mojón, también se utilizó el diagrama Zr vs. Ti de Pearce, 1982 (en Rollinson [18]). En el mismo las rocas estudiadas clasifican como basaltos de intraplaca (Figura 8).

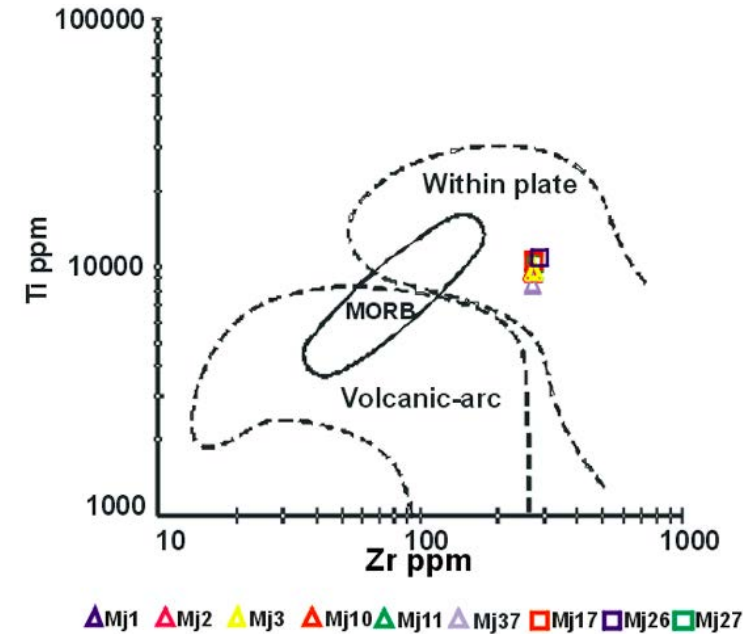


Figura 8. Diagrama discriminatorio para basaltos basado en variaciones de Ti-Zr [18]. Los triángulos corresponden a las muestras de colada y los cuadrados a bombas.

### Termobarometría

Las composiciones de basaltos reflejan las temperaturas y presiones de la zona de generación de magmas, proporcionando una visión del estado térmico del planeta. Un termobarómetro basado en la actividad de la sílice y del magnesio es útil para estimar las condiciones de presión y temperatura de generación de magmas basálticos [22].

La actividad de la sílice es aproximada teniendo en cuenta las interacciones químicas entre los diferentes compuestos de óxidos, esto es, restando del total de sílice, la cantidad que se relaciona con otros cationes para formar especies moleculares, tales como silicatos ferromagnesianos y especies aluminosilicáticas. Asumiendo las especies de óxidos sobre la base de 8 oxígenos, Lee et al. [22] definieron el "índice de sílice" como  $Si_4O_8 = 0,25(SiO_2 - 0,5(FeO + MgO + CaO) - Na_2O - K_2O)$  y hallaron que la siguiente es la mejor ecuación para reproducir los resultados experimentales de presión:



$$P \text{ (GPa)} = \frac{\ln(\text{Si}_4\text{O}_8) - 4,019 + 0,0165(\text{Fe}_4\text{Si}_2\text{O}_8) + 0,0005(\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_8)^2}{-770T^{-1} + 0,0058T^{1/2} - 0,003(\text{H}_{16}\text{O}_8)}$$

Donde  $\text{Si}_4\text{O}_8$ ,  $\text{Fe}_4\text{Si}_2\text{O}_8$ ,  $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_8$  y  $\text{H}_{16}\text{O}_8$  son los porcentajes moleculares de las especies en el líquido, P está expresada en GPa, y T es la temperatura expresada en grados Kelvin. La forma básica de esta ecuación fue escogida con el fin de seguir la expresión termodinámica de la presión (P) en función de la actividad de la sílice ( $\text{Si}_4\text{O}_8$ ) y la temperatura, es decir  $P=(a \ln \text{Si}_4\text{O}_8+b)T$ , donde a y b son constantes que incluyen el volumen molar y los cambios de entropía de la reacción [22].

Por su parte, la temperatura se calcula teniendo en cuenta la actividad de la sílice y el magnesio, de la siguiente manera:

$$T \text{ (}^\circ\text{C)} = 916,45 + 13,68(\text{Mg}_4\text{Si}_2\text{O}_8) + \frac{4580}{(\text{Si}_2\text{O}_8)} - 0,509(\text{H}_{16}\text{O}_8)(\text{Mg}_4\text{Si}_2\text{O}_8)$$

Donde  $\text{H}_{16}\text{O}_8$ ,  $\text{Mg}_4\text{Si}_2\text{O}_8$  y  $\text{Si}_4\text{O}_8$  son los porcentajes moleculares de las especies en el líquido. Este termómetro es consistente con el barómetro y es más simple de aplicar que otros anteriores [26] y [27].

Una condición para el empleo de este termobarómetro es que el contenido de MgO sea superior a 8,5% y que el de  $\text{SiO}_2$  sea mayor a 45%. La presión y temperatura se calculan utilizando una planilla de cálculo; el programa incrementa el contenido de magnesio para contrarrestar la pérdida por cristalización de olivinos y, de esta manera aproximarse a la composición del magma primario.

Las muestras del Cerro Del Mojón sometidas a este termobarómetro indican que las rocas de coladas presentan como condiciones de formación del magma primario una presión de entre 2,34 y 2,42 GPa y temperaturas de entre 1.381 y 1.389°C; por su parte las bombas exponen presiones de entre 1,74 y 2,10 GPa y temperaturas de entre 1.397 y 1.410°C (Figura 9a). Debido a la mayor presencia de xenocristales en las bombas se toma como más válido el valor de las coladas. Sólo quedó fuera del análisis la muestra MJ37 por presentar un contenido de MgO inferior al 8,5% requerido por el método.

Representando el valor promedio de presión y temperatura de las coladas ( $2,38 \pm 0,04\text{GPa}$  y  $1.385 \pm 4^\circ\text{C}$ ) en un diagrama de fases para una lherzolita, se observa que la zona de fusión se corresponde con la zona límite entre una lherzolita granatífera y

una espinélica (Figura 9b). Por lo tanto, se puede inferir que el magma que dio origen a las rocas del centro eruptivo Del Mojón derivó de la fusión de una lherzolita de este tipo, a una profundidad aproximada de 80 Km.

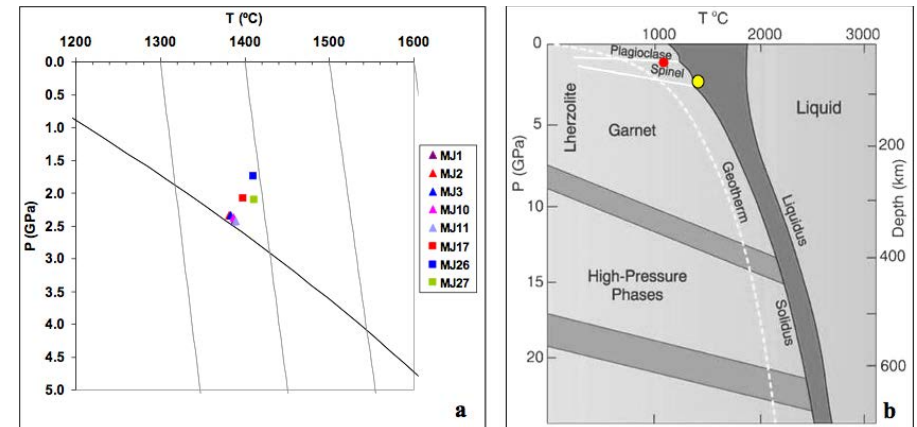


Figura 9. a) Diagrama de Temperatura vs Presión [22] para las rocas de cerro Del Mojón. Triángulos= coladas; cuadrados= bombas. La curva representa la línea del solidus para una lherzolita anhidra. b) Diagrama de fases de lherzolita aluminosa mostrando el intervalo de fusión (gris oscuro), entre solidus y liquidus, y el gradiente geotérmico [28]. El círculo amarillo indica la ubicación de las muestras del Cerro Del Mojón. El círculo rojo representa la posición de los xenolitos que fueron muestreados por los basaltos de dicho cerro según cálculos de Malmann [12].

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las rocas del Cerro Del Mojón presentan características geoquímicas semejantes a basaltos alcalinos de intraplaca, más precisamente de islas oceánicas (OIB), debido a que los contenidos de K<sub>2</sub>O, Ba, Sr, Rb, Zr y Nb de las rocas estudiadas están dentro de los valores promedio de basaltos alcalinos de islas oceánicas, K<sub>2</sub>O (1-7%), Ba (200-1400 ppm), Sr (400-4000 ppm), Rb (15-400 ppm), Zr (200-1000 ppm), Nb (20-160 ppm) [29]. Las semejanzas con basaltos alcalinos de intraplaca y basaltos tipo OIB por parte de las rocas del Cerro Del Mojón también se evidencian en los diagramas discriminantes Zr vs. Ti (Figura 8). Cabe acotar que la génesis de los basaltos semejantes a OIB no es del todo clara, ya que ninguno de los modelos propuestos para la generación de estos basaltos (plumas, "blobs" enriquecidos en el manto superior,

o capas del manto superior enriquecidas en elementos incompatibles) es suficiente para explicar, ya sea por sí solo o en combinación, la distribución mundial de basaltos OIB (de islas oceánicas sensu stricto) y de basaltos tipo OIB [30].

El centro eruptivo Del Mojón se encuentra aproximadamente a 380 Km de la fosa oceánica, sus rocas no exhiben la típica característica de arco volcánico, como es la anomalía negativa de Nb respecto al contenido de Th y Ce (La y P en este trabajo) en el diagrama multielemental normalizado a MORB (Figura 7). Sin embargo, los basaltos aquí estudiados tienen relaciones Ba/La cercanas a 20, por lo que teniendo en cuenta que una relación Ba/La > 20 es propia de arcos volcánicos [3], se puede inferir cierta contaminación con los fluidos de deshidratación de la losa oceánica subductada.

En general, los magmas primarios en equilibrio con mineralogías típicas del manto superior (olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno ± granate ± espinela) deberían tener altos valores de Ni (>400-500 ppm), Cr (>1000 ppm) y no más de 50% de SiO<sub>2</sub>. La presencia de xenolitos del manto en las rocas estudiadas es indicativa de un magma relativamente primario, ya que los xenolitos se deberían sedimentar si ocurre una importante cristalización fraccionada. Sin embargo, los contenidos de Ni (225-371 ppm) y Cr (324-430 ppm) relativamente bajos de las muestras de coladas y bombas del Cerro Del Mojón, comparados con los de un magma primario, indican un magma con un cierto grado de evolución, con escaso fraccionamiento de olivino y clinopiroxeno.

## CONCLUSIONES

El centro eruptivo Cerro Del Mojón está compuesto por coladas de lava y piroclásticas (tamaño lapilli a bomba) que forman las paredes del cono. Ambas unidades son portadoras de inclusiones ultramáficas.

Desde el punto de vista petrográfico son basaltos de textura porfírica con pasta intergranular a intersertal y fenocristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa. En la pasta se observan plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, minerales opacos y vidrio. Contienen xenocristales máficos y félsicos, los que reaccionaron con el fundido.

Geoquímicamente clasifican como basanitas y en menor medida como traquibasaltos, de la serie alcalina.

El patrón de elementos traza de las muestras se corresponde con basaltos alcalinos de intraplaca.

Se estima que las condiciones para la generación del magma primario fue de aproximadamente 1.385 ± 4 °C y 2,38 ± 0,04 GPa, lo que se corresponde con la transición de facies espinela-granate de una lherzolita anhidra, a una profundidad de aproximadamente 80 Km.

## REFERENCIAS

- [1] A. Ardolino, M. Franchi, M. Ramesal y F. Salani, 1999. El Volcanismo en la Patagonia Extraandina. En: R. Caminos (Ed.): Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29, 579-612.
- [2] C. Stern, F. Frey, K. Futa, R. Zartman, Z. Peng and K. Kyser, 1990. Trace-element and Sr, Nd, Pb, and O isotopic composition of Pliocene and Quaternary alkali basalts of the Patagonian Plateau lavas of southernmost South America. *Contrib. to Mineral. and Petrol.*, 104, 294-308.
- [3] S. Kay, M. Gorrington and V. Ramos, 2004. Magmatic sources, setting and causes of Eocene to Recent Patagonian plateau magmatism (36°S to 52°S latitude): *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 59, 556-568.
- [4] M. Skewes and C. Stern, 1979. Petrology and geochemistry of alkali basalts and ultramafic inclusions from the Pali-Aike volcanic field in southern Chile and the origin of the Patagonian plateau lavas. *J. of Volc. and Geoth. Res.*, 6, 3-25.
- [5] S. Kay, A. Ardolino, M. Franchi y V. Ramos, 1993. Origen de la Meseta de Somún Curá: distribución y geoquímica de sus rocas volcánicas máficas. *Actas 12º Congr. Geol. Arg.*, 4, 236-248. Mendoza.
- [6] R. Acevedo y B. Quartino, 2004. Basalto alcalino portador de xenolitos ultramáficos en Tierra del Fuego. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 59, 411-415.
- [7] V. Alric, 1996. Los basaltos portadores de xenolitos aflorantes en las localidades Paso de Indios y Cerro Cóndor, departamento de Paso de Indios, provincia del Chubut. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco". (Inédito).
- [8] M. Remesal, M. Mendez y M. Gagliardo, 2002. Petrología de la secuencia volcánica cenozoica en el área del arroyo Ranquil Huao: Meseta de Somún Cura. Patagonia Extraandina. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 57, 260-270.
- [9] Y. Orihashi, A. Motoki, M. Haller and H. Sumino, 2006. Petrogenesis of Somun-



- cura plateau basalt in an extra-back arc province: Melting of hydrous wadsleyite beneath northern Patagonia. Goldschmidt Conference Abstracts 2006.
- [10] E. Gelós y K. Hayase, 1979. Estudio de las inclusiones peridotíticas en un basalto de la región de Comallo y de otras localidades de las provincias de Río Negro y Chubut. *Actas 6º Congr. Geol. Arg.*, 2, 69-82.
  - [11] G. Rivalenti, M. Mazzucchelli, A. Laurora, S. Ciuffi, A. Zanetti, R. Vannucci and C. Cingolani, 2004. The backarc mantle lithosphere in Patagonia, South America. *J. of South Am. Earth Sc.*, 17, 121-152.
  - [12] G. Malmann, 2004. *Processos e Componentes Mantélicos no Norte da Patagônia (Argentina) e Relações com a Subducção Andina: Evidências Petrográficas, Geoquímicas e Isotópicas em Xenólitos Ultramáficos Mantélicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre.
  - [13] E. Bjerg, T. Ntaflou, G. Kurat, G. Dobosi and C. Labudis, 2005. The upper mantle beneath Patagonia, Argentina, documented by xenoliths from alkali basalts. *J. of South Am. Earth Sc.*, 18, 125-145.
  - [14] P. González, 1998. Geología y estratigrafía del magmatismo Fanerozoico de la Comarca Norpatagónica entre Comallo y Anecón Grande, Río Negro, Argentina. *10º Congr. Lat. de Geol.*, 1, 78-83.
  - [15] SEGEMAR, 2000. Mapa Geológico 1:250.000 de la Hoja Geológica 4169-III Ing. Jacobacci Río Negro. *Boletín* 311.
  - [16] W. MacKenzie, C. Donaldson and C. Guilford, 1982. *Atlas of igneous rocks and their textures*. John Wiley and Sons, New York.
  - [17] E. Llambías, 2008. *Geología de los cuerpos ígneos*. Asociación Geológica Argentina. Serie B-Didáctica y Complementaria Nº 29. Buenos Aires.
  - [18] H. Rollinson, 1993. *Using Geochemical Data*. Longman Scientific and Technical, Essex.
  - [19] D. Shelley, 1993. *Igneous and Metamorphic Rocks Under the Microscope*. Chapman and Hall, London.
  - [20] J. Pearce, 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. En: Wyman, D. A. (Ed.): *Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration*. *Geol. Assoc. of Canada, Short Course Notes*, 12, 79-113.
  - [21] R. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin, M. Le Bas, B. Bonin, P. Bateman, G. Bellieni, A. Dudek, S. Efremova, J. Keller, J. Lamire, P. Sabine, R. Schmid, H. Sorensen, and A. Woolley, 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press, Cambridge.
  - [22] A. Lee, P. Luffi, T. Plank, H. Dalton and W. Leeman, 2009. Constraints on the depths and temperatures of basaltic magma generation on Earth and other terrestrial planets using new thermobarometers for mafic magmas. *E. and Planet. Sc. Lett.*, 279, 22-33.
  - [23] G. Macdonald, 1968. Composition and origin of hawaiian lavas. En: Coats, R. R., Hay, R. L. and Anderson, C. A. (Eds): *Studies in volcanology: a memoir in honor of Howel Williams*. *Geol. Soc. of Am. Memoir*, 116, 477-522.
  - [24] P. Ragland, 1989. *Basic Analytical Petrology*. Oxford University Press, Oxford.
  - [25] G. Jenner, 1996. Trace Element Geochemistry of Igneous Rocks: Geochemical Nomenclature and Analytical Geochemistry. En Wyman, D.A., ed., *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications For Massive Sulphide Exploration*; *Geol. Assoc. of Canada, Short Course Notes*, 12, 51-77.
  - [26] K. Putirka, 2005. Mantle potential temperatures at Hawaii, Iceland, and the midocean ridge system, as inferred from olivine phenocrysts: evidence for thermally driven mantle plumes. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 6, Q05L08.
  - [27] K. Putirka, M. Perfit, F. Ryerson y M. Jackson, 2007. Ambient and excess mantle temperatures, olivine thermometry, and active vs. passive upwelling. *Chem. Geol.*, 241, 177-206.
  - [28] J. Winter, 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, New York.
  - [29] M. Wilson, 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London.
  - [30] J. Fitton, 2007. The OIB paradox. In: Foulger, G.R., and Jurdy, D.M. (eds.), *Plates, Plumes, and Planetary Processes*. *Geol. Soc. of Am. Sp. Paper*, 430.

# El Cambio Climático y destinos turísticos vulnerables. Una metodología para su estudio

## RESUMEN

El turismo seguirá siendo un elemento fundamental en la economía mundial y contribuirá de forma significativa a los Objetivos de Desarrollo del Milenio. En este contexto el clima cobra relevancia por cuanto es un recurso clave para el turismo, siendo éste sumamente sensible a las repercusiones del Cambio Climático. Los problemas que éste representa para un ecosistema, involucra siempre (en el corto o largo plazo), la seguridad física y la salud del ser humano. Estos problemas o hechos entendidos como tales, tienen un componente vital que tiene que ver con la percepción que la sociedad o una parte de ella tienen de la existencia de los mismos.

A modo de hipótesis se afirma que "la principal vulnerabilidad de un destino turístico está dada por el desconocimiento y la inacción de sus comunidades frente al Cambio Climático.

El objetivo del presente escrito es identificar y describir la relación que existe entre la vulnerabilidad de un destino turístico frente al cambio climático con las acciones de adaptación llevada a cabo por su poblaciones y la percepción que tienen del fenómeno.

Se observaron las poblaciones del Delta del Río Paraná (Municipio de Tigre y San Fernando) y del Centro Turístico San Clemente del Tuyu. La identificación de los destinos vulnerables al CC se obtuvo procesando en matrices y gráficos la información, obtenida de fuentes secundarias. También Se elaboró un conjunto de matrices para volcar la información obtenida de la observación directa de los sitios webs de los destinos turísticos seleccionados y, para realizar el barómetro social del cambio climático se empleó una entrevista semiestructurada.

Hilda Puccio (1),  
Nazarena Grana (1),  
Gabriel Bianchi (1),

1- INDICAT Universidad de Morón, Cabildo 134 Morón, Buenos Aires, Argentina.

[hpuccio@gmail.com](mailto:hpuccio@gmail.com)

Sabrina Olmos (1),  
Florencia Rial (1).

En esta fase exploratoria se han individualizaron los territorios turísticos de Argentina afectados por el Cambio Climático (CC); la filiación de los actores involucrados, sus acciones y sus percepciones ante el CC, y por último la tipificación de las vulnerabilidades locales y regionales.

## Palabras Claves:

Cambio Climático; destinos turísticos; vulnerabilidad; comunidades

## INTRODUCCIÓN

A fines del siglo XX y en este siglo XXI, se intensifican los estudios sobre el factor humano en las causas y las consecuencias del Cambio Climático, y dado que tales cambios afectan la vida en todo el planeta, estos problemas ambientales deben ser conocidos y entendidos, no sólo por técnicos y científicos, sino también por la población en general. Precisamente las poblaciones, que habitan en lugares que son o serán impactados por los efectos del cambio climático serán quienes sufran las consecuencias, pero también serán ellos los que actúen para prevenir, mitigar o adaptarse a dichos cambios.

Con relación a las consecuencias se vienen elaborando modelos predictivos sobre el clima de tipo global como de tipo local o regional más acotados a problemas de "los lugares". En esa línea de predicciones están las que se corresponden a los denominados "escenarios climáticos futuros" generados por modelos matemático computacional, que vaticinan cambios y eventos climáticos extremos globales y locales. En base de tales predicciones Argentina conjuntamente con el PNUD han diseñado El Programa Nacional de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres y Desarrollo

llo Territorial (PNUD – ARG. 05/ 20 del 2010), el mismo es un insumo fundamental para la toma de decisiones en materia de adaptación y mitigación. En tal contexto político, social, ambiental y normativo el turismo en Argentina se encuentra en pleno proceso de desarrollo sostenible, según los lineamientos del PFET (Plan Federal Estratégico de Turismo 2020). Para el logro de esta finalidad se requiere entre otras cuestiones la participación activa y el involucramiento de las comunidades receptoras. En materia de sostenibilidad ambiental frente a los riesgos que representan los cambios geomorfológicos, económicos y sociales que deviene del Cambio Climático, se requiere además de las poblaciones locales, no solo la participación política en la formulación del plan, sino que se deben avocar a temas tales como la mitigación, y la adaptación a los cambios que se avecinan.

¿Cuáles serían esos impactos en el Turismo? ¿Dónde impactaría? ¿A quiénes afectaría? El sector turístico se lo configura para su estudio en diversos modelos, entre los cuales existe uno muy difundido y utilizado que integra y relaciona entre sí 4 elementos en un sistema para lograr un objetivo (Figura N° 1). Cualquier cambio en uno de los elementos del sistema turístico o en cualquiera de sus componentes afecta al resto de elementos y al sistema en sí mismo.

El clima, en este sistema, es uno de los múltiples componentes que integra el elemento espacio geográfico y se configura como activo fundamental para el turismo dado que actúa o puede actuar como factor de localización, recurso y atractivo turístico. Tal componente imprime cambios sustanciales al resto de los componentes del sistema generando reajustes en el sistema. (Figura N° 2).

En la bibliografía especializada en el tema se le presta atención especial a la demanda, de la cual dependería la oferta y los operadores y todo el sistema turístico, pero se ha dejado olvidado o relegado a la comunidad receptora, residente o no residente en el territorio de la oferta, quienes a nuestro criterio son los que sufren los desastres y enfrentan a diario los diferentes riesgos climáticos no sólo desde la dimensión económica, sino en la dimensión de los social



Figura N° 1 elementos del sistema turístico.

En el INDICAT desde esta última línea argumentativa se sostiene que el reajuste del sistema tiene como centro a las comunidades receptoras (ver Figura N° 3)

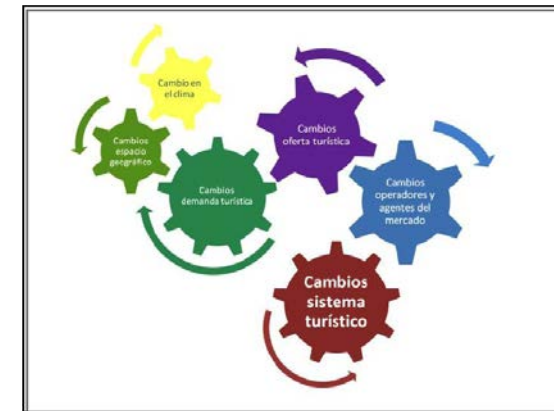


Figura N° 2 elaboración propia en base Hilda Puccio 2011.

Partiendo de la afirmación que el concepto “de desastre” implica e involucra la noción de sociedad, el Indicat desarrolla el PID Universidad de Morón 7 A 0012010/2012 Desarrollo Sustentable del Turismo. Un Estudio Psicosocial de las Comunidades Receptoras ante el Cambio Climático, en el cual se privilegia el aspecto humano de los cambios por venir, tanto los socioculturales, como los económicos de las poblaciones de residentes.



Figura N° 3 Elaboración propia.

De este proyecto se desprende el presente trabajo de investigación que estudia el comportamiento y las percepciones de las poblaciones, en los lugares con actividad turística, que previamente hayan sido catalogados en fuentes secundarias, a través de modelos predictivos locales, como vulnerable a los efectos del Cambio Climático. Tales modelos predictivos se realizan en base de construcción de "escenario futuros" o los denominados futuros escenarios climáticos regionales (downscaling).

La hipótesis de trabajo inicial es "la principal vulnerabilidad de un destino turístico está dada por el desconocimiento y la inacción de sus comunidades frente al Cambio Climático.

#### Antecedentes teóricos

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son un fenómeno natural, que mantiene a la tierra en un promedio de los 30 °C. El efecto invernadero ampliado se debe a concentraciones más altas de gases de efecto invernadero atribuibles a actividades humanas que se traducen en temperaturas incluso más altas. (BID2010)

Calentamiento Global Aumento progresivo y gradual de la temperatura media de la superficie terrestre, responsable de los cambios en los patrones climáticos mundiales. Aunque en el pasado se ha presentado aumento de temperatura global como resultado de influencias naturales, el término calentamiento global se utiliza más para referirse al calentamiento de la superficie terrestre, registrado desde principios del siglo XX y relacionado con el incremento en la concentración de los gases de

invernadero en la atmósfera.

Básicamente se afirma que el cambio climático transformará las variables de temperatura, precipitación y viento, las cuales pueden causar, entre otras consecuencias, mayores variaciones en la intensidad y frecuencia de los eventos hidrometeorológicos aumento del nivel del mar, variaciones en la disponibilidad de agua, incremento de la frecuencia e intensidad de las inundaciones, reducción de la productividad de cultivos y ampliación en la incidencia de enfermedades transmitidas por vector. Resumiendo la presencia del fenómeno del Cambio Climático, se manifiesta por medio de las siguientes anomalías:

- Aumento de la temperatura media de la superficie terrestre, aunque con diferencias significativas por regiones.
- Modificación de los patrones de precipitación con diferencias regionales significativas. Se han intensificado los patrones hidrológicos de modo que llueve más en regiones de alta precipitación y menos en regiones áridas, lo que aumenta la frecuencia de inundaciones y sequías (IPCC, 2007a).
- Aumento del nivel del mar. El nivel del mar aumentó entre 1,3 y 2,3 mm, con un promedio de 1,8 mm anuales entre 1961 y 2003. A ello contribuye también la disminución de los glaciares y los casquetes polares.
- Disminución de la extensión de la criósfera. Desde 1978, la extensión de la capa de hielo disminuye un 2,7% por decenio, y en verano la disminución alcanza el 7,4% (IPCC, 2007a). En septiembre de 2010, la cobertura media de la capa de hielo fue de 4,9 millones de kilómetros cuadrados, 2,14 millones de kilómetros cuadrados por debajo del promedio registrado en el período 1979-2000 (NSIDC, 2010). ha aumentado
- La extensión y el número de lagos glaciares (Polyak y otros, 2010) y se observa una reducción significativa de los glaciares.
- Modificaciones en los tipos y patrones de intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos.

Los escenarios son proyecciones sobre la futura emisión de gases de efecto invernadero se basan en supuestos con respecto al desarrollo económico, el crecimiento demográfico, el desarrollo de energía alternativa y el cambio tecnológico. Las proyecciones a escala mundial son útiles para describir las características generales y las tendencias a gran escala del cambio climático, pero no resultan así para la escala

local o regional (generalmente entre 10 km y 20 km), para lo que se requieren modelos climáticos regionales. El método mediante el cual dichos modelos a escala mundial son regionalizados se conoce como". Son modelos matemáticos - calculados con computadoras de alto rendimiento - que permiten realizar numerosos experimentos numéricos sobre los probables efectos de los forzamientos antropogénicos.

Un impacto atribuible al cambio climático significa un cambio específico que se produce en un sistema por exposición al cambio climático. Exposición es el conjunto de personas, bienes, servicios y procesos expuestos a la acción del peligro, y pueden ser humanos, económicos, y ecológicos. Suelen presentar realidades diversas en los destinos turísticos involucrando tanto a residentes como a visitantes, o cantidades de dinero, o a las redes de transportes o los servicios urbanos en general, o al mismo ambiente tanto natural, como entrópico.

Una vulnerabilidad significa el grado en que un sistema natural o humano es susceptible a los efectos negativos de un impacto atribuible al cambio climático o incapaz de afrontarlos. Son las condiciones previas a la ocurrencia de un desastre de tipo social, económica, cultural e institucional de una población de terminada, en este caso las comunidades que viven en destinos turísticos (Claudia Natheson 1995).

La evaluación de las principales vulnerabilidades se caracteriza por una considerable incertidumbre científica y presupone juicios de valor. Los sistemas naturales y humanos presentan una amplia gama de vulnerabilidades.

Es importante identificar las vulnerabilidades para comprender y gestionar los riesgos y desastres a futuro como consecuencia del Cambio Climático. Entendiendo por riesgo (Alan Alwel 1996) a la probabilidad de que una población (persona, estructuras físicas, sistemas productivos, etc.) o segmento de la misma, le ocurra algo nocivo o dañino. Para que exista el riesgo es necesario que exista una amenaza (los impactos del CC) y una población vulnerable.

Por riesgo en general entendemos la existencia de una condición objetiva latente que: i.) Presagia o anuncia probables daños y pérdidas futuras; ii.) Anuncia la posibilidad de la ocurrencia de un desastre. El riesgo deriva de la relación dinámica y dialéctica entre las llamadas amenazas físicas y las vulnerabilidades de una sociedad o

un componente en particular de la misma.

Como realidad conceptual el riesgo se lo relaciona con la Probabilidad. Exposición. Vulnerabilidad Social. Dado que el riesgo es una condición latente o potencial, siendo en este estudio una condición potencial y su grado depende de la intensidad probable de la amenaza, y los niveles de vulnerabilidad.

En ese tenor de afirmaciones, la vulnerabilidad es una expresión de desajuste o desequilibrio. El grado del riesgo está en función de la magnitud de la amenaza y de la vulnerabilidad.

Las sociedades y las comunidades de algunos destinos turísticos serán a futuro los sistemas humanos susceptible a los efectos negativos de un impacto atribuible al cambio climático (existe el riesgo) y quizás no puedan afrontarlos, por ello cobra importancia la gestión del riesgo.

La literatura especializada expresa que la gestión del riesgo tiene dos tipos de acciones a saber: la mitigación y la adaptación. Para la gestión del riesgo en este estudio está centrada en las acciones de adaptación a nivel local dado que la mitigación debe hacerse a nivel mundial porque estos gases están muy mezclados en la atmósfera, pero en estos casos estamos trabajando a nivel local.

Se entiende por adaptación a las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático. Algunos ejemplos de adaptación son la construcción de diques fluviales o costeros, la sustitución de plantas sensibles al choque térmico por otras más resistentes, etc. (Informe IPCC 2007) o se puede lograr a través de tecnologías, del comportamiento individual, de la organización social, de las normas y políticas, de las actividades económicas o de la educación.

La capacidad de adaptación varía entre países y poblaciones, y depende, entre otros factores, de los recursos disponibles, el grado de desigualdad social que exista, la fuerza de las instituciones públicas, así como las prioridades y la voluntad de los que toman decisiones. La adaptación puede ser espontánea, o planeada y puede llevarse a cabo en repuesta a o en anticipación de cambios en las condiciones". En cualquier



caso, se deben de contestar las preguntas: ¿Adaptarse a qué? ¿Qué o quiénes se adaptan? ¿Cómo se adaptan? ¿Para qué se adaptan? Por tanto la descripción de cualquier adaptación debe especificar el sistema de interés (quiénes o qué se adapta) el estímulo climático relacionado (adaptación a qué); los procesos que involucra (cómo ocurre la adaptación) y cual es la finalidad que conlleva tal adaptación.

**METODOLOGÍA**

Se describen aquellos impactos pronosticados como potenciales en los destinos turísticos de Argentina (a veces ya visibles) cuales son los riesgos previsible y relacionar los mismos con la vulnerabilidad de los grupos sociales afectados.

La descripción de los riesgos se realiza en base de la información de fuentes secundarias publicada en diversos Informes del IPCC(2007) , Informe de de la Cruz Roja() y El Programa Nacional de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres y Desarrollo Territorial (PNUD – ARG. 05/ 20 del 2010).

Las informaciones y predicciones todos los documentos consultados se basan en downscaling” ya existentes realizados por diversas instituciones internacionales especializados en la temática.

Las comunidades son observadas por el grupo investigador en su propio contexto y las unidades de análisis son los actores clasificados en muy organizados tanto los estructurales como los funcionales, y pocos organizados (ver figura N°4).

Para los actores muy organizados se recurre a fuentes secundarias y observación de Websites de las organizaciones, para describir las acciones de adaptación. Para los actores poco organizados se realizan observaciones directas para lo cual se han diseñado talleres grupales para estudiar sus percepciones, actitudes y comportamiento, acerca del cambio climático, como así también una entrevista no estructurada para analizar las percepciones desde el punto de vista individual del ciudadano. El objetivo es conformar un Barómetro de la Opinión Pública de las sociedades locales para comprender y registrar los cambios.

Con relación a la adaptación al cambio climático se diseñó una matriz para sistematizar las acciones (ver figura N° 5). El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) subraya que es más urgente e importante comprender las características y los impactos del cambio climático a escala local que a escala global.

Para ello cobra importancia el mapeo de las regiones de riesgos detallando los factores de vulnerabilidad, según se grafica en la figura N° 7.

Nivel de organización	Rol en la problemática	Tipo de actores	Niveles de participación		
			Locales	Provinciales	Nacionales
Actores bien organizados	Estructurales	Organismos de Gobierno			
		Sector Empresarial			
	Funcionales	Sector académico			
		ONG Medios de comunicación			
Actores poco organizados	Estructurales	Propietario /comerciantes			
		Sector artesanal			
		Grupos comunitarios			

Figura N° 4 Matriz para sistematizar los actores que realizan acciones de adaptación  
Elaboración propia.

Adaptación	Preventiva	Reactiva	
Sistemas Naturales		Cambios en la elaboración de la estación de crecimiento. Cambios en la composición de los ecosistemas. Migración de humedales.	
	Privados	Modificación de criterios de la ingeniería de construcción. Compra de pólizas de seguros. Incorporación de y SAR	Cambio en las prácticas de producción turística Cambio en las pólizas de seguro. Compra de equipos de climatización.
Sistemas Humanos	Públicos	Sistemas de alerta temprana. Nuevos códigos de edificación. Incentivos para la reubicación. Planes de contingencia para el manejo de las empresas	Pagos de subvenciones. Reubicación de poblaciones. Mantenimientos de playas y zonas costeras. Mantenimiento y cuidado de humedales

Figura N° 5. Matriz de Acciones de Adaptación frente al Cambio Climático elaboración propia.

Dimensión	Factores	Descripción
Física	Infraestructura y conectividad.	
	Infraestructura de servicios y equipamientos.	
	Atractivos naturales	
	Atractivos culturales	
Social	Aspectos demográficos.	
	Aspectos socioeconómicos	
	Aspectos socio culturales	
Económica	Situación económico-productiva.	
Institucional	Gestión.	

Figura N° 7 Síntesis de Factores de Vulnerabilidad Social Turística . Elaboración propia en base del Programa nacional de Prevención y reducción del riesgo de desastres y desarrollo territorial (PNUD – AR.05/020)2010.

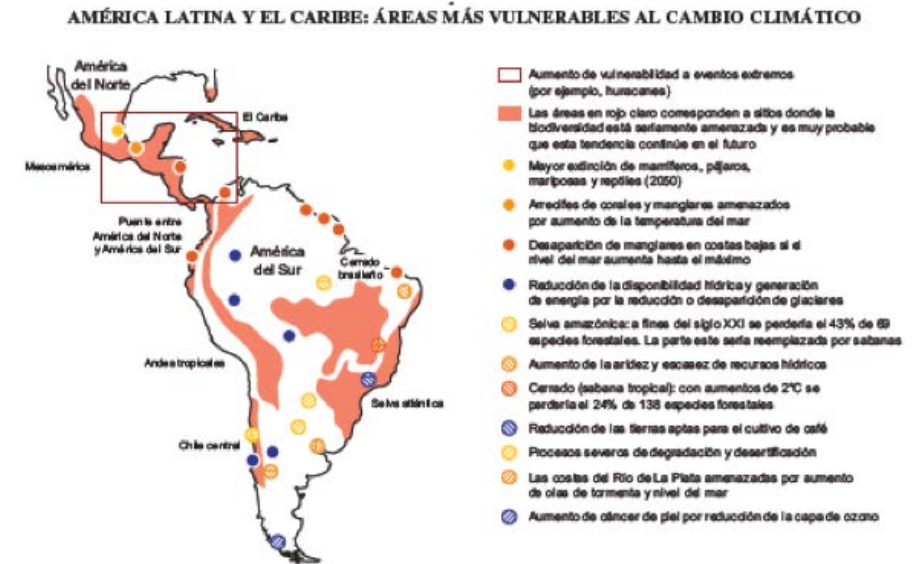
Uno de los fines al que está abocado el PID UM 001 2010/ 2012 antes nombrado es diseñar un modelo para el Índice de Vulnerabilidad Social Turística , mediante el cual se accede al conocimiento del estado de la sociedad receptora de un destino turístico , frente a los posibles peligros que predicen los Modelos Climáticos Futuros para la región estudiada.

Las dimensiones a estudiar son, la física (geográfica/ ambiental), que tiene como indicadores a la infraestructura para conectividad, la infraestructura de los servicios y los equipamientos turísticos, más las condiciones de atractividad tanto de los atractivos naturales , como los atractivos culturales ; la dimensión social, cuyos indicadores lo componen los aspectos demográficos, los socioeconómicos y los socioculturales . Ya en la dimensión económica se analizará la situación económica productiva del turismo en el lugar; y por último en la dimensión institucional la gestión del cambio climático en organizaciones e instituciones de la región.

En este escrito se presentan los resultados obtenidos de observar en los destinos (San Clemente del Tuyu e Islas del delta del río Paraná la dimensión institucional.

**Resultados parciales. El Cambio Climático en América Latina y Caribe**

Las proyecciones a futuro hoy permiten tener un panorama aproximativo según consta en la Figura N° 8



Fuente: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), *Climate Change 2007: - Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge, Cambridge University Press, 2007.

Figura N°8 Extraído IPCC 2007.

En detalle se puede observar que:

- Se producen presiones sobre la disponibilidad de los recursos hídricos a causa de los aumentos de temperatura, los cambios en la precipitación y el aumento de la demanda.
- Se aprecian efectos negativos sobre la salud, fruto de la expansión de plagas, enfermedades contagiosas y otras relacionadas con los cambios en las precipitaciones y la disponibilidad de agua, así como por olas de calor. A causa de la pérdida del ozono estratosférico y del aumento del índice de radiación ultravioleta, se incrementarán los casos de cáncer de piel no melanoma en las regiones más australes del continente (partes de la Argentina y Chile). Las enfermedades como la malaria y el dengue, según información disponible sugiere que sus efectos tenderán a expandirse a nuevas zonas geográficas, y que se incrementará la incidencia en lugares donde ya existe.
- Probables daños en zonas costeras por el aumento del nivel del mar, destacan la desaparición de manglares en costas bajas (Colombia, el Ecuador, costas del norte del Brasil y Guyana), la inundación de las costas y la erosión de la tierra, los daños a la infraestructura y las construcciones cercanas a las costas, como en el Río de la Plata (la Argentina y el Uruguay), y los perjuicios a ciertas actividades, como el turismo en el Caribe.
- En la mayoría de las áreas tropicales, se registran pérdidas biodiversidad sistémicas; La modificación de los patrones de frecuencia e intensidad de los eventos extremos. En este contexto, destacan los impactos en regiones como Centroamérica y el Caribe y sus repercusiones adicionales en actividades económicas como el turismo.

### Proyección de los riesgos de desastres en Destinos Turísticos de Argentina

Estos impactos del Cambio Climático inciden en regiones con actividad turística, de las cuales en el presente trabajo se consideran para su estudio los siguientes destinos (ver figura N°9):

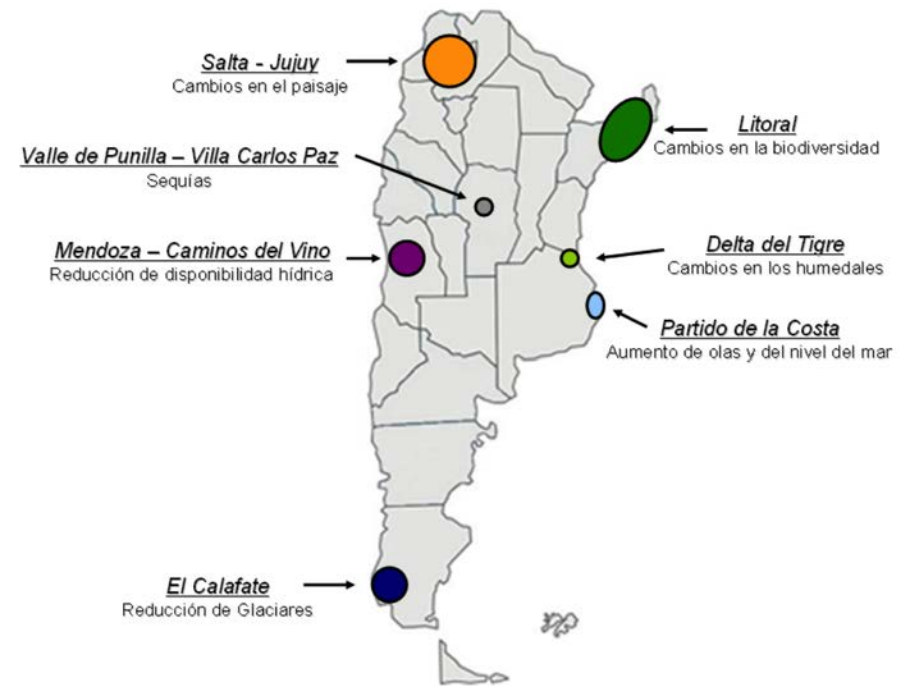


Figura N°9 elaboración propia

### Destinos en riesgo en el Sistema de la Cuenca del Río de la Plata.

Para graficar en forma más precisa los impactos del Cambio Climático en los destinos turísticos se optó por identificar aquellas regiones geográficas que están consideradas vulnerables en función de las poblaciones que allí están radicadas. En primer lugar se ha trabajado con el denominado Sistema de la Cuenca del Río de la Plata. La Cuenca del Plata es el sistema hídrico más grande de Sudamérica después del Amazonas y la quinta cuenca hídrica más grande del mundo, tiene una superficie de más de 3.200.000 kilómetros cuadrados. La Cuenca del Plata es una de las mayores reservas mundiales de agua dulce, con una excepcional diversidad biológica y cultural incluyendo una rica diversidad de recursos acuáticos. El conjunto fluvial y lacustre de la cuenca forman además el principal sistema de recarga del Acuífero Guaraní, uno de los mayores reservorios de agua subterránea del mundo.

Integran la cuenca varios humedales, algunos como paisajes y como patrimonio natural son atractivos turísticos consolidados. El presente estudio tiene como unidades de análisis Los Humedales del Delta del Paraná considerado Sitio Ramsar en la jurisdicción del partido de San Fernando; el Humedal de la Bahía de San Borombón también sitio Ramsar.

La WWF Foro Mundial de la Naturaleza (informe WWF 2007) sostienen que la Cuenca del río de la Plata como la tercera cuenca más amenazada del planeta (Documento Gran Chaco y Cuenca del Plata. Mapeo de actores, proyectos y amenazas 2011 de FUNDACIÓN PROTEGER). El cambio climático agrava estas situaciones de vulnerabilidad de la Cuenca con los eventos antes mencionados. La alta frecuencia de precipitaciones intensas e inundaciones en las zonas actualmente afectadas, generan situaciones de vulnerabilidad en numerosas localidades y ciudades costeras de las riveras de los ríos.

Los destinos turísticos del Sistema Cuenca del Río de la Plata estudiados en esta primera etapa de la investigación son: San Clemente del Tuyu y las Islas del Río Paraná.

**Identificación de actores y acciones de adaptación**

Se observaron los Websites de las organizaciones públicas estatales y las organizaciones públicas privadas en las escalas nacional, provincial y local de la localidad de San Clemente, Partido de la Costa, y en la región Metropolitana de Buenos Aires, como unidad regional y en el Municipio de Tigre puntualmente.

En principio los organismos públicos estatales de escala nacional han generado Informes sobre los riesgos en el territorio y las estructuras político - administrativas de escala provincial lo hacen en colaboración con Nación. Los informes se transfieren en forma descendente en la escala a los lugares, municipios o partidos y los actores se replican en el mismo sentido. (Ver Figura N° 10). La observación indica que la cuestión ambiental en el partido de Tigre se registran acciones de mitigación y / o adaptación que involucran a las Islas del Delta del Río Paraná Con relación a las organizaciones pública de gestión privada observadas en las mismas unidades, las ONGs ambientalistas, incansablemente realizan arduas tareas en solitarios incluyendo en sus agendas las cuestiones del Cambio Climático, pero las organizaciones que nuclea empresas, sólo a escala nacional comienzan a involucrarse en la Responsa-

bilidad Social Empresaria y Responsabilidad Ambiental Empresaria. Y con algunas acciones de mitigación.

Nivel de organización	Rol en la problemática	Tipo de actores	Escala de participación		
			Locales	Provinciales	Nacionales
Actores bien organizados	Estructurales	Organismos de gobierno	Secretaría de Turismo de la Costa NO. Municipio del Partido de la Costa NO. Estación agro meteorológica de San Fernando. Secretaría de gestión territorial y medio ambiente de San Fernando. Área de Política ambiental de Berazategui. Recolectora del delta (Cooperativa mixta junto a Municipio de Tigre)	ÁREA DE CAMBIO CLIMÁTICO, dentro de la Subsecretaría de Desarrollo Sustentable de la Secretaría de Política Ambiental del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Agencia de Protección ambiental del ministerio de ambiente y espacio público del GCSA. Equipo interministerial de cambio climático de la ciudad de Buenos Aires. Centro de formación e información ambiental de la ciudad de Buenos Aires	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, y a su área pertenece la Unidad de Cambio Climático  Administración de Parques Nacionales  Si registra
		Sector empresarial	Termas Marinas NO Asociación de Hoteles y Afines de San Clemente del Tuyu NO		La Federación Empresarial Hotelera Gastronómica de la República Argentina es una asociación que agrupa en un mismo organismo a todas las entidades afines del país No registra acción  Asociación Argentina Hotel Es Si registra
	Funcionales	Sector académico	Centro Regional Universitario de la UBA, NO Fundación Ciudad. Cambiar. Centro Ambiental Argentino. SI Rotary Club- San Clemente del Tuyu SI. Surfrider Partido de la Costa. SI. Fundación Mundo MarinoSI		Centro Argentino de Meteorólogos.
		Medios de comunicación	No son registrados en este artículo.		
		Sector artesanal	No son registrados en este artículo		
	Grupos comunitarios	No son registrados en este artículo			

Figura N° 10 Identificación de actores y acciones de adaptación.

**Actores no organizados (Comunidad) y sus percepciones**

En cuanto a los actores no organizados, es decir la comunidad residente, se dio inicio a una primera medición a través de una entrevista semiestructurada de percepciones muy acotada en las Islas del Delta del Paraná con jurisdicción Municipio de Tigre y en la localidad de San Clemente del Tuyú. Estos resultados son insumos para el Barómetro de las Percepciones del Cambio Climático.

Si bien es una medición, que ya antes se aclaró como muy acotada, los resultados permiten inferir que existe una correspondencia entre la falta de gestión ambiental y la baja o a veces inexistente participación ciudadana para resolver los problemas que acarrea el Cambio Climático en sus lugares. Acerca del Fenómeno demuestran

no poseer información suficiente o por lo menos comprensible, ya que se manejan con la realidad conocida a través de la experiencia directa y dado que la mayoría de los impactos suelen ser imperceptible y se producen gradualmente, no pueden asimilar los cambios anunciados.

El barómetro mide a través del tiempo las percepciones de los residentes sobre el cambio climático. Como resultados parciales de las entrevistas de los residentes de las Islas del Delta se observa que en general las personas han oído hablar del cambio climático, pero al momento de definirlo no logran precisarlo. Y en cuanto a determinar si es una amenaza actual o una amenaza para el futuro, prevalece la opinión que es un problema a futuro no muy cercano. En vista de los riesgos que se predicen en su gran mayoría las personas entrevistadas y sus grupos de pertenencias están de acuerdo en cambiar en el futuro (no hoy) usos y costumbres para mitigar y adaptarse a los cambios por llegar.

### **Conclusiones acerca de la vulnerabilidad institucional de los destinos turísticos**

En la observación de los Websites de las organizaciones político- administrativas tanto en las escalas nacional, provincial, y municipal o local se evidencia que el tema Cambio Climático es un problema de política pública internacional y que los organismos de gestión internacional tales como UN (IPCC Comisión Intergubernamental para el estudio del CC), FAO, OMT, OCED, UE, IUCN y organismos multilaterales tales como BID, FMI, etc. han tomado para sí para su tratamiento y su posterior comunicación a los Estados Asociados, a través de "convenciones y Asambleas varias"(por ejemplo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), las cuales declaran un conjunto principios de adhesión internacional estatal y emiten un conjunto de documentaciones con directrices que servirán en cada ámbito nacional como ejes rectores de actuación y/ o gestión.

De este informe preliminar se desprende que la problematización del Cambio Climático en Argentina para su inclusión como cuestión en las agendas sistémicas y en las agendas de gobierno que sustentaran a futuro las Políticas Públicas y entre ellas las Políticas Turísticas, adoptan el mecanismo de top - down ( de arriba hacia abajo) y no contemplan las iniquidades , ni la falta de conocimiento en las que se halla los ciudadanos con relación a los problemas que los aquejaran en un futuro inmediato. Precisamente al tratarse de un mecanismo de top- down, se privilegia en el proceso

de formulación de las Políticas Públicas sobre el CC, una quizás excesiva, formulación técnico racional a escala Nacional, con formulación de tipo incremental en la escala provincial, y la evidente escasez del tratamiento del tema en las escalas municipales y locales.

Las organizaciones intermedias y los diversos grupos de interés que centran sus atención y acciones a temas tales como "desarrollo sostenible", "sostenibilidad ambiental", "protecciones varias", etc., están tomando para sí la responsabilidad de aportar desde el ámbito local la fuerza necesaria para revertir esta situación apelando a la participación y al compromiso del ciudadano en pro de mecanismos de bottom – up (de abajo hacia arriba). Si bien estas organizaciones en sus Websites declaran partir de las convenciones e informes internacionales, se relacionan en forma directa con las comunidades algunos con más llegada que otros, pero todos tiene como visión que la vulnerabilidad a los cambios climáticos está directamente relacionada con las inequidades sociales que se observan en por ejemplo en comunidades locales con poca o nula vinculación a las problemáticas de los grandes centros urbanos.

Dada la importancia del turismo en el marco de los retos globales que plantean el cambio climático y la reducción de la pobreza, existe una necesidad imperiosa de adoptar un conjunto de políticas que promueva un turismo verdaderamente sostenible y que refleje una respuesta en cuatro dimensiones, a saber medioambiental, social, económica y climática.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- B 8 Programa Nacional de Adaptación y Planes Regionales de Adaptación. INFORME FINAL.2006 Resumen Ejecutivo. Editado por Fundación e Instituto Torcuato Di Tella.
- BID 2010 "La ciencia del cambio climático. Manual práctico para tomadores de decisiones en Mesoamérica" publicación del Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C. 20577.Estados Unidos.Consultado en [www.iadb.org/secci](http://www.iadb.org/secci) el 10/04/2011.
- Boninsegna, J. y R. Villalba, 2006: "Documento marco sobre la oferta hídrica en los Oasis de riego de Mendoza y San Juan. Los condicionantes geográficos y climáticos". Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad". Fundación T. Di Tella- S AyDS



- Bronstein P. y A. Menéndez, 2006: "Vulnerabilidad a las Grandes Crecidas de los Ríos del Litoral". Proyecto Agenda Ambiental Regional-Mejora de la Gobernabilidad para el Desarrollo Sustentable". PNUD ARG/03/001, Fundación T. Di Tella- SAyDS.
- Camilloni, I. y M. Bidegain, 2005: "Escenarios Climáticos para el Siglo XXI", pág. 33-40 en el libro El cambio climático en el Río de la Plata. Ed: V. Barros, A. Menéndez y G. Nagy. CIMA. Buenos Aires, 200 pág.
- Informe IPCC 2007 Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- IPCC 2003. Cambio Climático 2001: Informe de Síntesis. Resumen para responsables de políticas. Cambridge University Press, USA.
- Documento Gran Chaco y Cuenca del Plata. Mapeo de actores, proyectos y amenazas 2011 de FUNDACIÓN PROTEGER en <http://www.proteger.org.ar/registro-mapa-cuenca-plata-gran-chaco/>, Consultado el 8 de agosto 2011
- Documento País: Riesgos de desastres en Argentina (2009) Editado por Federación Argentina Cruz Roja y de la Medialuna Roja, Comisión Europea Y Cruz Roja Finlandesa
- Informe Ambiental Anual 2009: Premio de monografía Adriana Schiffrin: séptima convocatoria / Guillermo Acuña... [et.al.]; edición literaria a cargo de María Eugenia Di Paola; Federico Sangalli; Silvina Caorsi; con prólogo de Daniel Alberto Sabsay. 1a ed. - Buenos Aires: Fund. Ambiente y Recursos Naturales.
- Informe IPCC 2007: 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Síntesis 2010. (2010) Publicación de las Naciones Unidas en Chile.
- Lawel, Alan y Franco, Eduardo (1996) Estado, Sociedad y Gestión de los desastres en América Latina. En busca del Paradigma Perdido. La Red y FLACSO Perú.
- zLorentes I, Gamos y otros (2004) Los efectos biológicos del cambio climático. Revista Ecosistemas.nº103 (1) editada por la Asociación Española de Ecología Terrestre. [www.revistaecosistema.net](http://www.revistaecosistema.net)
- Natenzon, Claudia (1995). Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre. Buenos Aires, FLACSO, Serie de Documentos e Informes de Investigación nº 197
- OMT (2007). "Cambio climático y turismo. Responder a los retos mundiales". Davos, Suiza.
- Programa nacional de Prevención y reducción del riesgo de desastres y desarrollo territorial (PNUD – AR.05/020) 2010
- Ríos, D., 2002: "Vulnerabilidad, urbanizaciones cerradas e inundación en el partido de Tigre durante el periodo 1920-2000". Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UBA, 191 pág.
- Serman & Asociados SA, 2006: "Impactos Socioeconómicos del Cambio Climático en la República Argentina". Actividades Habilitantes para la 2º Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático". Fundación Bariloche.

# Biochemical indicators of nutritional status and its relation with feed intake in lactating beef cows fed in the rangelands of the Monte Desert of Mendoza, Argentina

A. Scotti (1),  
S. Camiz (2),  
J.C. Guevara (3),

C.R. Stasi (3),  
M.J. Visciglia (3),  
S.A. Visciglia (3).

1- *International Center for Earth Sciences- ICB-Universidad Nacional de Cuyo.*

2- *Università di Roma La Sapienza Dipartimento di Matematica "Guido Castelnuovo".*

3- *IADIZA CCT Mendoza.*

[adalgisascotti@icesmalargue.org](mailto:adalgisascotti@icesmalargue.org)

## SUMMARY

In the livestock production in arid and semiarid systems the rangelands are used for cow-calf operations. It is difficult to estimate the quality of the ingested forage and often management decisions must be taken without suitable information. In this paper biochemical parameters were analyzed in the lactation period of Aberdeen Angus cows feeding in rangelands in the dry season (April to September) and in the first month of the wet season (October). These parameters were related to ingestion estimators based on the botanical composition of the diets and the available forage. It was found that the behavior of the biochemical parameters was related to the forage ingested and the botanical composition of diets during the dry season and in the mentioned month of the wet season. Relations were found between the tested metabolites that permit an estimate of the nutritional state of the cows of the rangelands on the plains of Mendoza. The most representative indicators of the nutritional condition that also had high sensitivity were selected: Ur/Cr and Ur/Lec and it was found that the relationship Ur/Cr was highly sensitive and that other indicators were as well significant.

## INTRODUCTION

The cow-calf operations in the arid zones are restricted to the use of rangelands [1, 2]. It is difficult to estimate the quality of forage ingested and often management decisions must be made without access to the adequate information. Nutritional indicators can be used for evaluating the diets adequacy. The studies on the ruminant

nutrition in the arid zone production systems are limited [3, 4]. On the other hand if we consider that during the cow lactation the food requirements are high, it is important to determine in this stage the nutritional status and the forage ingestion through the evaluation of biochemical measurements.

The plant communities in the study areas are very complex and the estimation of the forage available through the traditional methods is very difficult. For this reason, the data based on other estimation methods deserve a relevant attention.

Among the forage resources present in the Mendoza plain, the shrubs are very important because they constitute about 50% of the cattle diet in the dry season (April-September). The most important species in diets are *Hyalis argentea* D. Don ex Hook. & Arn. var. *latisquama* (29% of the diet) and *Capparis atamisquea* Kuntze (11%). The shrubs crude protein (CP) content is higher than that of grasses available all year. On the other hand, the highest CP contents occurs during the rainy season (shrubs:12.1-14.3%; grasses: 7.0-8.0%).

The studies carried out in other areas of the world suggest that inadequate levels of CP and/or energy for meeting the cattle nutritional requirements occur frequently in range-lands. For the Mendoza plain it was found that the levels of CP and energy of the main perennial grasses could permit a cow-calf operation without limitation.

However the parturition must take place in November or December and the forage availability must permit a selective use [5].

In this paper, several biochemical metabolites related to the cow's nutritional state were measured. The urea parameter in milk and urine is considered a good indicator of the protein metabolism in ruminants [6, 7, 8, 9]. In humans, an inverse relationship between the protein ingestion and the calciuria has been registered, provided that the osseous metabolism be related with factors such as the protein ingestion and the physical activity [10, 11]. The metabolism of the purine derivatives is related with the microbial protein synthesis [6, 12, 13, 14].

In both [15] and [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] the index Ur/Cr in urine is related with catabolism indicators such as loss of muscular mass and 3-methylhistidine/creatinine, and these authors found a strong correlation among them ( $R^2 = 0,52$  and  $R^2 = 0,89$ , respectively). On the other hand, these authors also determined a relation between loss of muscular mass and 3-methylhistidine ( $R^2=0,82$ ) using a curvilinear function. The 3-methylhistidine originates from actin and the myosin of the skeletal muscle and its presence in urine is considered an indicator of muscular degradation. A severe reserve depletion, increases of cortisol and of concentration of calcium in blood, and a decrease of thyroid hormone were also observed [23]. These authors compared the values of Ur/Cr with glucuronic acid/creatinine in urine as an indicator of low ingesta quality. According to the model developed by these authors, at first there were an increase of urea in blood as a consequence of the catabolism increase but this increase was compensated by a decrease of the urea recycle and as a consequence there was an increase of the urea urinary excretion. About half of the excreted nitrogen derived from the urea recycle when the protein catabolism was major and the corporal fat considerably decreased [23]. The urea recycle was negatively correlated with the dietary nitrogen and when there was a negative energy balance, the increase of uric nitrogen in blood decreased the urea recycle. The volume of excreted urine showed changes during the day: this variation was associated to the feed regime [24]. Although the urea excretion varied with the urine volume, the temperature, the time of day, and the protein ingested, the creatinine concentration was stable between 8.00 am and 08.00 pm and when the excretion was constant [25].

Ur/Cr variations reduce among cows with different protein levels and during sample hours in relation to the diuresis effects [26]. Studies carried out in both humans and diverse animal species have demonstrated that the excretion coefficient of various electrolytes is weak during the night. Due to the plasma concentration of several of the studied substances, differences between day and night were not detected. As a general tendency, the urea and creatinine values were higher during the day than during the night [26]. The study of Céspedes and Honorato [25], carried out for determining the effectiveness of the Ur/Cr as an indicator of the efficiency of the use of nitrogen, concluded that the Ur/Cr is more stable between 8:00 am and 8:00 pm. Based on the above considerations, the following hypothesis is proposed: the behavior of the urinary parameters: Urea/creatinine (Ur/Cr), Ca (CaOr), Ca/creatinine (Ca/Cr), Uric acid (UriOr), Uric acid/creatinine (Uri/Cr), creatinine (CrOr), urea (UrOr) and urea in milk (UrLec) reflect the lactating cows nutritional status and are related to forage supply.

The purpose of this study is to provide data resulting from the parameter Ur/Cr as an indicator of the nutritional status and its relations with CaOr, Ca/Cr, UriOr, Uri/Cr, CrOr, UrOr, UrLec and forage supply during the dry season and October.

## MATERIALS AND METHODS

### Study site

The study was carried out on El Divisadero Cattle and Range Experimental Station (33° 45' S, 67° 41' W, elev. 520 m), in the North central Mendoza plain, mid-West of Argentina. Daily mean minimum and maximum temperatures ranged from -3.8° C to 15.6° C and 14.2° C to 33.0° C, respectively. Mean annual rainfall for the period 1987-2008 was 293.1 mm (S.D. = 112.8) with nearly 80% occurring during the growing season (October-March). Soils are Torripsamments with greater silt in interdunal depressions. The vegetation is an open xerophytic savanna and shrubland of *Prosopis flexuosa* DC. Eight warm-season perennial grasses dominate the herbaceous layer.

### Trials

The study involved Aberdeen Angus (AA) lactating cows ( $n = 30$ ) that feed on rangelands. Samples of urea, creatinine, calcium and uric acid from urine, and urea from milk were collected from the cows. These samples were taken monthly during seven months from April to October 2008.

Urine samples were obtained by spontaneous urination, then they were centrifuged, diluted 1:5 and subsequently were stored in propylene tubes that were kept at  $-20^{\circ}\text{C}$  for a short period until analyzed. Milk samples were ultracentrifuged cold and then stored at  $-20^{\circ}\text{C}$ . Periodically, live weight and body condition scores (BCS) were assessed on a 1-5 scale. The stocking rate was  $25\text{ ha AU}^{-1}$ . In June a vitamin-mineral complex was applied through intramuscular injection.

### Biochemical analysis

The calcium determination was carried out through the colorimetric method based on the formation of an addition complex between the Cresolphthalein Complexone at pH 11 and the Calcium, giving a compound which was photometrically measured at 570 nm. Determinations of uric acid were based on the Kabasakalian method [27]. The test urea-nitrogen was a modification of an enzymatic procedure described by Talke and Schubert [49]. The creatinine was determined by the method of Jaffe modified by Folin [50]. All the analyses were subject to a quality control with two levels of biologic liquids, one low and one high. The quality control liquids were Lyphochek Assayed Chemistry Control.

### Sample collection and conservation

The urine samples were collected through spontaneous urination and then were centrifuged, fractionated, diluted 1/5 and stored at  $-20^{\circ}\text{C}$ . The milk samples were hard cold ultracentrifuged for separating the fat portion, and stored at  $-20^{\circ}\text{C}$ .

### Statistical analysis

The data table was submitted to multidimensional exploratory analysis, aiming to ascertain to what extent differences among the different months could be identified. Indeed, in addition to Principal Component Analysis (PCA) [28, 29, 30], Multiple Factor Analysis was employed (MFA) [31, 32], a three-way technique that allows the study of multiple data tables taken on the same units either on different occasions or concerning different characters. In this case, it was applied to different characters. PCA aims at representing quantitative characters and units in geometrical spaces, whose reduced dimension is able to represent both while minimizing the information lost due to the dimensional reduction. Given a data table  $X$ , in which the rows are units and the columns are characters, this is obtained through its Singular Value Decomposition (SVD) [33],  $X = UAV'$ , where  $U$  and  $V$  are unit matrices identifying

the searched geometrical transformation and  $\Lambda$  is a diagonal matrix whose (squared) elements quantify the dispersion of the units along the corresponding directions. Indeed, once the elements of  $\Lambda$  are sorted in descending order (as well as the corresponding columns of both  $U$  and  $V$ ), the searched optimal reduced dimensional representations may be found by limiting attention to the first few largest elements of  $\Lambda$  [34], say by zeroing the elements of  $\Lambda$  smaller than a freely-fixed threshold. The data analysis paradigm states that the most relevant information contained in the data tables corresponds to the first dimensions of this geometrical representation.

In the case, in which an indexed set of data tables  $X_1, X_2, \dots, X_t$  concerns the same units observed either on different occasions or according to different characters, it is customary to set them aside to compose a super-matrix  $X = (X_1 | X_2 | \dots | X_t)$ , whose PCA may be performed. Indeed, this could raise problems, due to the likely different correlation structure of the sub-tables  $X_i$ , that would emphasize the weight of those with a strongest structure and reduce the weight of those with a weaker one. A simple reweighing of the  $X_i$  with the inverse of the highest eigenvalue  $\lambda_i$  of the corresponding  $X_i$ , as it would result from the SVD of  $X_i$  would fix the problem. Thus, MFA is but the PCA of the super-matrix  $\tilde{X} = (X_1 / \lambda_1 | X_2 / \lambda_2 | \dots | X_t / \lambda_t)$ .

The MFA adds to the normal results of PCA some special feature specific for deepening the comprehension of the study at hand, be it explained either evolutionarily or by sets of characters of different kinds. Indeed, on the found geometrical spaces, all characters of all tables are represented, together with the principal components of the PCAs of the individual tables  $X_i$ . This shows the relations between these principal components and the ones of the super-matrix  $\tilde{X}$  and, in the case of the evolutionary study, the evolution of both principal components and of the original characters along time. Then, in addition to the representation of the units according to the super-matrix, all partial representations of the units according to each individual table  $X_i$  are possible. This way, either the evolution of the units along time or the different views according to each character set may be represented. The global representation given by the super-matrix is a kind of center (a centroid in geometrical terms) of the different views, a sort of compromise among the various representations. All these computations have been performed through the Spad.n [35] package.

After the exploratory phase, some simple models were developed to show the main relations among the considered parameters. They were built by using Stepwise Multiple Regression [48], a technique that creates the best possible model obtainable by either entering or removing a variable according to the quality of improvement obtained in respect to the previous model with these operations. The regressions were performed with the Statistica 7 package [51].

**RESULTS**

**Trial data analysis**

The statistical parameters of the tested variables are described in Table I, in Table II the correlation matrix of the biochemical parameters, referred to the 56 samples without missing data.

	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Std Error
Ca Or mg/l	149	85,582	0,60000	1360,000	217,0080	17,77799
Cr Or mg/l	147	1216,542	71,60000	4386,100	921,4379	75,99892
Ur Or g/l	149	2,270	0,05000	7,480	2,4140	0,19776
Uri Or mg/l	63	78,178	2,04000	324,530	52,1677	6,57251
Ur/Cr 1000	147	5,665	0,01140	27,217	8,0030	0,66007
Body Cond.Cond..	68	2,419	1,75000	3,500	0,2879	0,03492
Ca/Cr 100	147	5,634	0,22892	55,808	9,2714	0,76469
Uri/Cr 100	63	11,185	1,38786	28,121	6,4831	0,81680
Ur Lec g/l	143	0,363	0,11000	1,010	0,1416	0,01185

Table I. Mean, minimum, maximum and standard deviation of the biochemical parameters of the lactating cows from April to October.

Variable	Ca Or mg/l	Cr Or mg/l	Ur Or g/l	Uri Or mg/l	Ur/Cr 1000	Ca/Cr 100	Uri/Cr 100	Ur Lec g/l
Ca Or mg/l	1,00	0,45	-0,16	0,65	-0,21	0,79	-0,04	-0,19
Cr Or mg/l	0,45	1,00	-0,40	0,56	-0,62	0,08	-0,47	-0,29
Ur Or g/l	-0,16	-0,40	1,00	-0,15	0,67	-0,14	0,23	-0,22
Uri Or mg/l	0,65	0,56	-0,15	1,00	-0,50	0,28	0,30	-0,17
Ur/Cr 1000	-0,21	-0,62	0,67	-0,50	1,00	0,04	0,21	-0,03
Ca/Cr 100	0,79	0,08	-0,14	0,28	0,04	1,00	0,04	-0,07
Uri/Cr 100	-0,04	-0,47	0,23	0,30	0,21	0,04	1,00	0,22
Ur Lec g/l	-0,19	-0,29	-0,22	-0,17	-0,03	-0,07	0,22	1,00

Table II. Correlation matrix of the biochemical parameters measured in lactating cows during the period April-October, based on N=56 samples. In red the correlations significant at 0.05 level.

BIOCHEMICAL PARAMETERS (±SD)								
	Ca Or (mg l <sup>-1</sup> )	Cr Or (mg l <sup>-1</sup> )	Ur Or (g l <sup>-1</sup> )	Uri Or (mg l <sup>-1</sup> )	Ur/Cr (mg:mg)	Uri/Cr 100	Ca/Cr 100	Ur Lec (g l <sup>-1</sup> )
April	22,3 (21,6)	1690,8 (601,2)	0,42 (0,80)	102,50 (14,77)	0,33 (0,69)	7,38 (1,49)	1,38 (1,27)	
May	21,45 (11,40)	1195,1(599,4)	1,37 (2,30)	55,38 (39,75)	3,49 (6,73)	5,76 (3,73)	8,43 (13,75)	0,29 (0,06)
June	284,5(396,8)	2372,8(977,3)	0,98 (2,30)	117,50 (28,05)	1,11 (3,09)	6,50 (2,62)	9,75 (12,30)	0,35 (0,06)
July	18,38 (16,39)	1518,2(575,5)	4,15 (2,05)	124,78 (93,93)	3,26 (2,22)	8,08 (4,55)	1,27 (0,87)	0,27 (0,09)
August	10,13 (3,75)	381,69(291,80)	3,16 (1,76)	59,43 (10,5)	13,19 (8,15)	6,99 (2,40)	4,08 (2,70)	0,33 (0,05)
September	13,51 (7,89)	429,97(252,19)	3,55 (2,27)	60,93 (45,74)	13,46 (9,87)	13,79 (6,25)	4,70 (4,84)	0,41 (0,08)
October	32,47 (48,41)	626,67(363,70)	1,52 (1,99)	72,19 (35,03)	4,02 (6,79)	13,80 (7,33)	5,67 (8,39)	0,52 (0,23)

BOTANICAL COMPOSITION OF THE DIETS [% (± SD)]										
	<i>Chloris Castilloniana</i>	<i>Aristida sp.</i>	<i>Panicum urvilleanum</i>	<i>Pappophorum philippianum</i>	<i>Setaria leucopila</i>	Total grasses	<i>Capparis atamisquea</i>	<i>Hyalis argentea var. latissuama</i>	<i>Lycium chilense var. minutifolium</i>	Total Shrubs
April	14,00 (9,00)	2,70 (2,30)	14,00 (9,60)	10,50 (7,50)	9,30 (4,40)	60,10 (11,30)	10,40 (5,70)	18,00 (5,00)	1,30 (1,90)	36,00 (9,30)
May	7,60 (3,60)	7,50 (7,60)	16,70 (6,90)	6,50 (4,20)	8,00 (3,70)	59,90 (9,40)	10,10 (4,10)	18,70 (4,80)	1,50 (1,70)	38,00 (8,50)
June	10,30 (5,10)	4,90 (4,90)	14,50 (4,30)	7,70 (4,80)	6,70 (4,70)	52,10 (5,60)	10,80 (3,90)	14,10 (4,90)	0,50 (0,90)	47,50 (5,90)
July	8,00 (4,30)	4,30 (4,70)	16,90 (5,10)	5,30 (3,20)	3,10 (3,50)	45,30 (8,10)	11,50 (7,00)	27,70 (6,70)	2,70 (3,20)	54,50 (8,00)
August	3,60 (3,60)	0,10 (0,50)	20,00 (7,20)	6,10 (4,80)	2,90 (3,90)	42,50 (9,00)	15,50 (8,10)	20,40 (5,30)	0,40 (0,80)	57,30 (8,90)
September	6,90 (4,70)	4,30 (4,30)	19,30 (5,20)	5,60 (5,50)	3,30 (2,50)	49,50 (8,90)	15,60 (7,70)	10,00 (5,60)	1,70 (2,80)	50,30 (9,30)
October	9,50 (6,60)	4,40 (4,30)	25,20 (7,80)	6,10 (3,10)	4,50 (3,10)	55,50 (12,10)	0,30 (0,70)	9,20 (6,90)	32,10 (11,00)	44,00 (12,5)

	ESTIMATED INTAKE AND REQUIREMENTS (grasses)				ESTIMATED INTAKE	
	Requirements ME (Mcal d <sup>-1</sup> )	Estimated Intake ME (Mcal d <sup>-1</sup> )	Balance ME	Requirements CP (g d <sup>-1</sup> )	Estimated Intake CP (g d <sup>-1</sup> )	Balance CP
April	19,50	20,60	1,10	575,00	675,00	100,00
May	19,90	19,10	-0,80	631,00	612,00	-19,00
June	20,40	17,80	-2,60	669,00	556,00	-113,00
July	20,40	16,70	-3,70	584,00	513,00	-71,00
August	19,90	16,30	-3,60	561,00	495,00	-66,00
September	18,50	16,60	-1,90	556,00	506,00	-50,00
October	18,50	19,50	1,00	556,00	626,00	70,00

Table III a) Biochemical parameters means from April to October; b) Diet botanical composition calculated as percentages of ingestion of grasses and shrubs measured by microhistological analysis of feces during the period April-October; c) Estimation of forage ingestion on the basis of grasses and shrubs available and the requirements of ME and CP of the lactating cows for each of the studied months.

The forage resources in the study area vary according to the time of the year. The dry season comprises the period from April to September and the rainy season begins in October. The estimation of the forage ingestion carried out by Guevara et al. [3, 45, 46, 47] and Van den Bosch et al [4] for the dry season based on the forage available and the diets botanical composition (estimated from the microhistological analysis of feces) is shown in Table III.



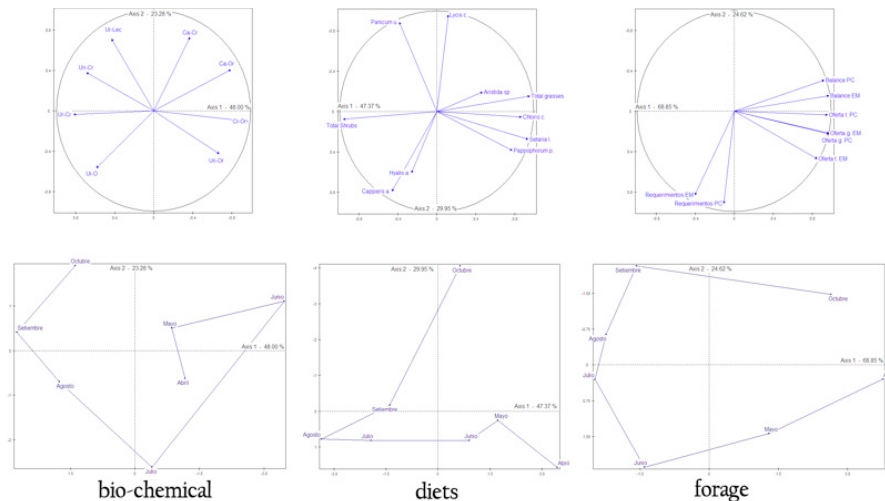


Figure 1 - Representation of the characters (above) and the months (below) on the first principal plane of PCA of bio-chemical indicators (left), diets (center), and forage resources (right) data tables.

The three data tables, gathered in a super-matrix, show average values of bio-chemical indicators, diets, and forage conditions taken from different sources, but all corresponding to the months from April through October. In PCA, the first table shows a three-dimensional structure (with explained inertia = 87.85%), whereas the others are bi-dimensional (with explained inertia = 77.32% and 93.47% respectively; the diets table 3rd dimension adds up to 88.62%). In Figure 1 both characters and months are represented in each table's principal plane spanned by the first two principal components. The first principal component of the PCA on bio-chemical data opposes the urea to the other parameters, the second is correlated with UrLec and Ca/Cr, while the third opposes Uri/Cr and Ur-Lec to Ca/Cr and Ur/Cr. In diets PCA, the first principal component opposes Shrubs to Grasses, whilst the second opposes Panicum urvilleanum y Lycium chilense to Capparis atamisquea y Hyalis argentea and the third is essentially tied with Aristida sp.. In the PCA of forage resources, both offers and balances are strictly correlated with the first principal component, whereas the resources are correlated with the second, a sign of non-correlation between them. In all analyses, the months are scattered along a continuous evolutionary line, that may be interpreted according to variation of the characters taken into account in the

specific study. Thus, the bio-chemical characters are greatly affected by August and September in a high stress position, due to drought (Table IV) and forage supply. The position of both April and May, badly represented in this plane, but more (opposite) correlated with the third principal component, depends on their relation with the characters most correlated (in opposition) with this axis. For the diets, the pattern of the months is essentially due to the opposition of grass (present during the warm season) with shrubs (present during the fresh season). The position of October on the second axis is clearly depending upon the presence in that month of Panicum urvilleanum y Lycium chilense. For the forage, the pattern of the months is clearly tied to the presence/absence of the forage, more abundant in April and October, whereas in June and September negative balances of energy and protein are registered.

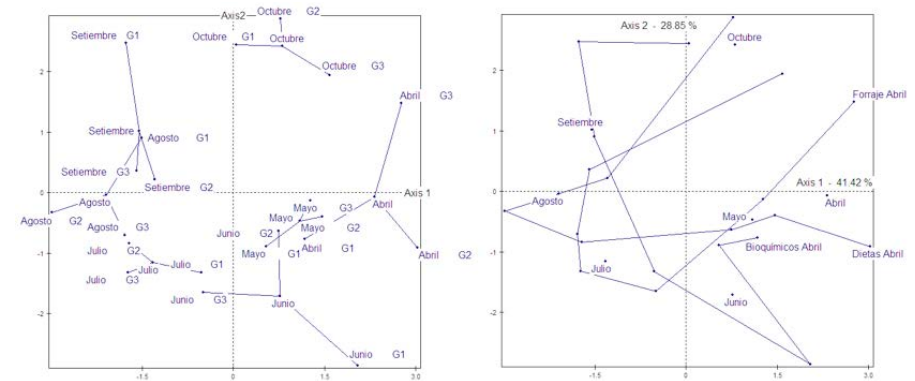


Figure 2 - Representation on the plane spanned by the first two factors of MFA of the month as a compromise of the three partial representations (left: G1=bio-chemicals, G2=diets, G3=forages) and the trajectories along time of some parameters (right).

It is possible to observe that in April the main grasses in the cow's diet were Pappophorum philippianum, Setaria leucopira, and Chloris castillonaria, an important quantity of grasses available and the requirements of the lactating cows are met. The animals had high values of CrOr and UriOr and low values UrLec and Ur/Cr, indicating a probable good synthesis of microbic protein, a good efficiency of the nitrogen utilization, derived from the low values of UrLec and Ur/Cr and a good muscular mass represented by high values of CrOr. As the dry season develops, the proportion of grasses in the diet decreases and the proportion of shrubs, such as Capparis

atamisquea and *Hyalis argentea* increases as well as nutrient requirements of the lactating cows, mainly in the third month (June) in which the values of UriOr and CrOr were high. In July the values of CrOr fell and an important increase in the UrOr values resulted.

Month	Mean temperature (°C)	Rainfall (mm)
April		6,5
May	15,1	5,0
June	7,0	0
July	8,9	0
August	9,9	6,0
September	13,6	6,0
October	17,9	56,0
November	24,1	25,8
December	23,8	64,5

Table IV. Monthly temperature and precipitation occurring in the study site in the year 2008.

In August the nutrient requirements of the lactating cows decreased, the forage available was minimum and so the balance was negative., the shrubs in the diet predominated and the urea and Ur/Cr increased, the Ur/Cr increased, the Cr Or decreased while UeLec began to increase. In September, this situation becomes serious and is reverted in October. In this month the proportion of *Panicum urvilleanum* and *Lycium chilense* increases in the diet, the Ur/Cr values decrease and UrLec increases. The nutrient requirements of the cows are recovered and there exists a positive balance of energy and protein. In MFA analysis, the pattern of the months on the plane spanned by the first two factors (Figure 2 left) is curvilinear, with minor differences depending on the different group taken into account. An analogous pattern occurs for the parameters, shown on Figure 2 right. It is evident that the three groups of variables are in good agreement and that the biochemical parameters are sensitive to detect forage ingestion and are correlated with the diet botanical composition and the forage availability.

The precipitation and the temperatures registered during the study period are shown in Table IV. In October the rainy season begins. The frequencies of the values of Ur/Cr found is shown in Figure 3.

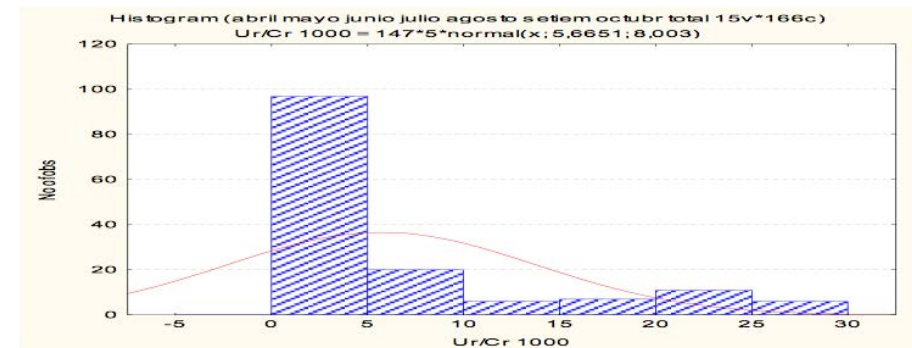


Figure 3. Frequency histogram for the indicator Ur/Cr

### Multiple regressions

As a second step of the analyses, we run some multiple regressions, to explain the behavior of some variables through others. The stepwise method allowed to select the models that best fit the variables. In particular, we report here two regressions, important for their physiological significance: 1) the modelling of CrOr through UriOr, UrOr, and UrLec; 2) the modelling of UriOr through CaOr Ca/Cr and Ur/Cr.

### First model

The equation is:  $CrOr = 1258,96 + 5,64 UriOr - 114,25 UrOr - 1307,05 UrLec$ . This model shows a positive relation of CrOr with UriOr and negative with both UrOr and UrLec (Table V). The residual, predicted and observed values are shown in Figure 4.

Multiple linear regression variable dependent CrOr						
R= ,70772646 R <sup>2</sup> = ,50087674 Adjusted R <sup>2</sup> = ,47208117						
F(3,52)=17,394 p<,00000 Std.Error of estimate: 498,64						
N=56	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(52)	p-level
Intercept			1258,96	257,9431	4,88075	0,000010
Uri Or mg/l	0,444898	0,101317	5,64	1,2836	4,39115	0,000056
Ur Or g/l	-0,402549	0,102307	-114,25	29,0376	-3,93470	0,000248
Ur Lec g/l	-0,307420	0,102588	-1307,05	436,1699	-2,99666	0,004176

Table V. Multiple linear regression between CrOr and Uri Or, UrOr and Ur Lec.

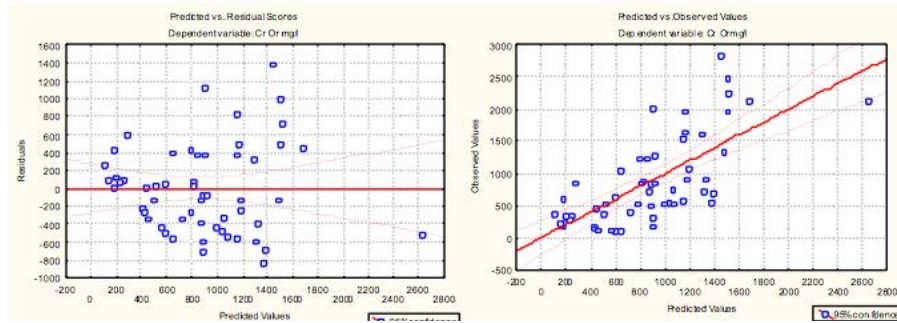


Figure 4. Plot of the residual vs. predicted values (left) and of observed vs. predicted values (right) for the regression of CrOr.

**Second model**

The equation is:  $UriOr = 89,16207 + 0,36961 CaOr - 3,23355 Ca/Cr - 1,72229 Ur/Cr$ . This regression (Table VI) shows a positive relation of UriOr with CaOr and negative with both Ca/Cr and Ur/Cr. The residual, predicted and observed values are shown in Figure 5.

Regression of the variable dependent: Uri Or mg/l						
R= ,78920512 R <sup>2</sup> = ,62284472 Adjusted R <sup>2</sup> = ,60366734						
F(3,59)=32,478 p<,00000 Std.Error of estimate: 32,842						
N=63	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(59)	p-level
Intercept			89,16207	5,929326	15,03747	0,000000
Ca Or mg/l	0,941682	0,142144	0,36961	0,055792	6,62486	0,000000
Ca/Cr 100	-0,473416	0,139488	-3,23355	0,952738	-3,39395	0,001237
Ur/Cr 1000	-0,292750	0,087745	-1,72229	0,516214	-3,33639	0,001473

Table VI. Multiple linear regression of the variable Uri Or on CaOr, Ca/Cr and Ur/Cr.

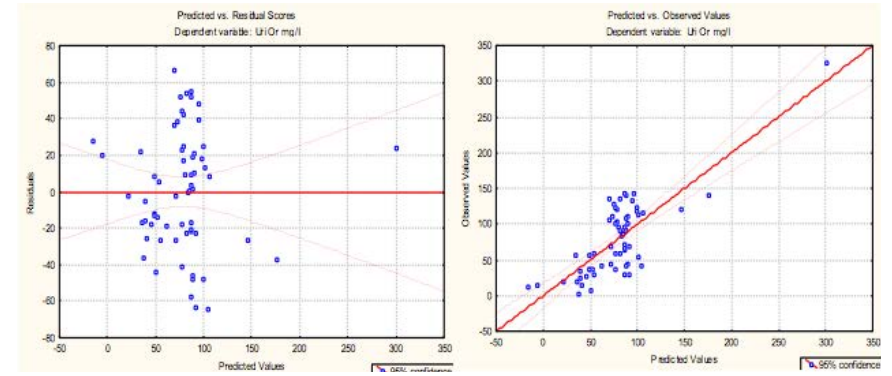


Figure 5. Plot of the residual vs. predicted values (left) and of observed vs. predicted values (right) for the regression of UriOr.

ANOVA para Ur/Cr 1000						ANOVA para Cr Or mg/l					
Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	MS	F	p	Efecto	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Intercept	4323,575	1	4323,575	110,7216	0,000000	Intercept	194832016	1	194832016	552,2120	0,00
Mes	3884,098	6	647,350	16,5779	0,000000	Mes	74566045	6	12427674	35,2237	0,00
Error	5466,867	140	39,049			Error	49394946	140	352821		

ANOVA para Ur Or g/l						ANOVA para Ur Lec g/l					
Efecto	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p	Efecto	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p
Intercept	668,5547	1	668,5547	160,2154	0,000000	Intercept	18,70945	1	18,70945	1399,080	0,000000
Mes	269,9069	6	44,9845	10,7803	0,000000	Mes	1,01699	5	0,20340	15,210	0,000000
Error	592,5445	142	4,1728			Error	1,83206	137	0,01337		

Table VII. ANOVA for Ur/Cr, CrOr, Ur/Or and UrLec and their variability according to the months.

Tukey HSD test; variable Ur/Cr 1000							
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests							
Error: Between MS = 39,049, df = 140,00							
Cell No.	Mes	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{7}
		,33382	3,3309	1,1098	3,2591	13,194	4,0175
1	april		0,768775	0,999724	0,774102	0,000026	0,656050
2	may	0,768775		0,883885	1,000000	0,000031	0,999901
3	june	0,999724	0,883885		0,888618	0,000026	0,782809
4	july	0,774102	1,000000	0,888618		0,000028	0,999804
5	august	0,000026	0,000031	0,000026	0,000028		0,999999
6	september	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,999999	0,000111
7	october	0,656050	0,999901	0,782809	0,999804	0,000359	0,000111

Table VIII. Tukey test, significance for the formation of two groups, one of them composed by April, May, June, July and October and the other by August and September.



The results of Table V allow to conclude that, under the conditions of this trial, CrOr is an indicator of muscular mass and decreases with the increase of UrOr when the intake restriction is severe and there is an imbalance between energy and protein, that is, when there is a need of protein consumption to obtain proteins in presence of catabolism. The sensitivity of Ur/Cr as indicator of intake deficit and/or energetic-proteic imbalance is found in the diminishing of CrOr at the expenses of the increase of UrOr. On the other hand, the results shown in Table VI show that the uric acid, an indicator of the rumen microbial protein synthesis, increases joined with CaOr but opposite to Ca/Cr. This is due to the direct relation of CrOr with UriOr ( $r = 0.25$ ; Table II) with  $\beta = 0.45$  (Table V) so that the parameter Ca/Cr decreases. According to [10], in humans the increase of animal protein ingestion decreases the calciuria. In this test the calciuria may be increasing while the production of microbial protein behaves similarly. The ratio Ur / Cr with uricosuria is negatively related to the conditions of this test, as shown by  $\beta = -0.29$  in Table VI and  $r = -0.50$  in Table II.

The biochemical behaviour of Ur/Cr, CrOr, UrLec, and UrOr during the months from April through October was tested by ANOVA (Table VII). The mean values are shown in Figure 6. For Ur/Cr, the Tukey test results are reported in Table VIII. The differences of the means of both August and September were different from all other months ( $p < 0.0000$ ; Table VIII). One can observe the decrease of CrOr and the increase of UrOr during July, August and September, and both the decrease of UrOr and the increase of CrOr during the months from April to June. Note also the steady increase of UrLec starting from July (Figure 6).

## DISCUSSION

From the analysis of the frequency histogram it is possible to observe that the values comprised in the range 0-5 mg/mg had a frequency higher than the rest of the range (Figure 3). If we take into account that the animals involved in the present study completed normally their lactation period it is possible to infer that this range of values of Ur/Cr until 5 mg/mg is related to the maintenance value for the study site and under the conditions of this trial. We observe that UrOr and CrOr are negatively correlated ( $r = -0.40$ ; Table II and  $\beta = -0.40$ ; Table V) and that the Ur/Cr varies during the study months (Figure 6), being in July = 3,26, August = 13,19, September = 13,46, and October = 4,02. Also shown is an decrease of the estimated intake of energy in August and September (Table III).

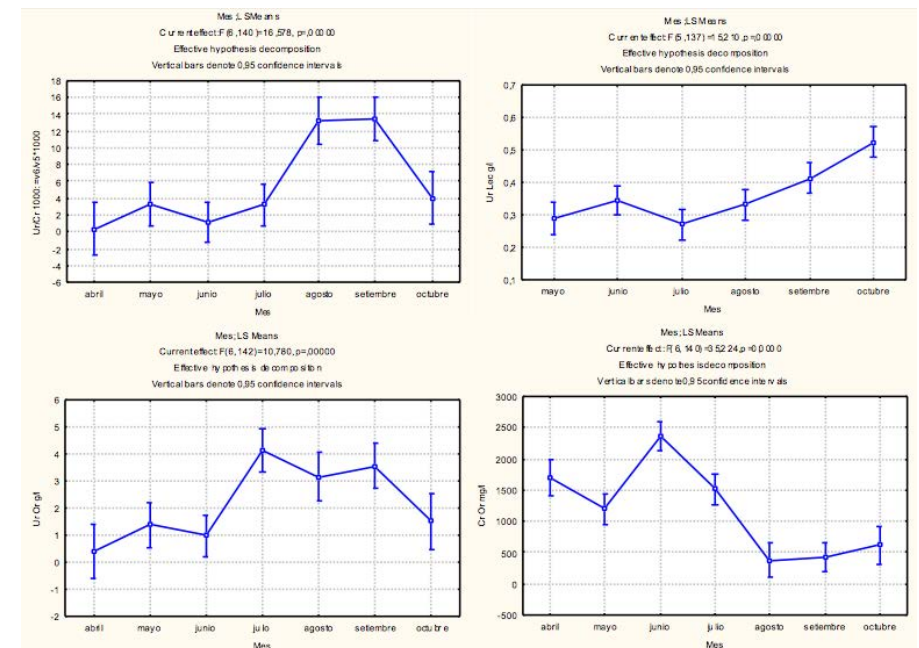


Figure 6. Variation of the parameters Ur/Cr, UrLec, UrOr and CrOr for each month in the period April-October.

In the trials carried out in the study site it was found that the cow's diet botanical composition was significantly correlated with both temperature and precipitation, and that differences in the species dominant in the diet was observed (Table IIIb) [5, 43, 45, 46, 47]. In the year in which the study was carried out, the rainy season began in October. The mean temperatures and rainfall occurring in Ñacuñán (30 km South of the study site, Table IV) indicated that the rainy period ranged from the middle of September to the middle of October and during the last two weeks in December.

The different results during October in relation to the month that compose the dry season, in terms of botanical diet composition (G2), forage ingested, nutrient requirements and balance between them (G3) as well as biochemical parameters (G1) are shown in Figures 1 and 2. It is also possible to observe a similar result with the analyzed groups (G1, G2 and G3) for the months of the dry season (April to September). The composition of the cow's diet during October, which was very different from the

other months, could be attributed to the fact that *Lycium chilense* var. *minutifolium* and *Panicum urvilleanum* appear to be the species that begin to sprout first when rain occurs, as long as not limited by the temperature.

From the analysis of the matrix correlation among the biochemical parameters the relationships CrOr with CaOr ( $r=0,45$ ), UrOr ( $r=-0,40$ ), UriOr ( $r=0,56$ ), UrLec ( $r=-0,29$ ) and UriOr with CaOr ( $r=0,65$ ), Ur/Cr ( $r=-0,50$ ). were selected as the most relevant.

In Figure 2, the pattern of the months as seen both by the whole analysis and by the partial groups of characters is represented. In the left graphics each month is set at the center of the corresponding partial representations that are tied to it with a link. Observe that the months are arranged according to a regular curvilinear pattern, with only October a little further from September. The partial representations of May and July are very close to the center, whereas the others are more scattered around, in particular the bio-chemicals in June and September and the Forages in April. In the right graphic, the trajectories of the three partial months along time are shown: they are rather regular, with only the bio-chemicals in June laying evidently far from a regular trajectory. This may depend upon the increase of CaOr and CrOr in this month due to the contribution of the mineral and vitamin supplements.

The mean value found for urine urea was  $2.27 \pm 2.41$  g/L, equivalent to 37.8 mmol/L. The highest value found was 124.5 mmol/L. These values are lower than those reported by both [26] (162 to 179 mmol/L) [25] ( $305 \pm 2.7$  mmol/L) for confined milk cows that eat diets with high protein content. The lower values obtained in our study can be attributed to cows that feed in arid range-lands.

The excretion of urine urea is a parameter significantly correlated with the nitrogen excretion (urine N) [36]:  $82.1 \pm 0.9\%$  of the urine N which corresponds to urea [37]. The mean value found for urine creatinine was  $1216.54 \pm 921.34$  mg/L or 9.28 mmol/L, higher than those reported by both [24] (6.26 – 8.13 mmol/L) and [25] ( $5.08 \pm 0.06$  mmol/L), both in Holstein and Friesian heifers. The higher values found in our study could be attributable to a higher muscular mass in Aberdeen cows [36, 38, 39], and incipient catabolism caused by thermic stress and/or higher physical activity.

We found a mean value of Ur/Cr of  $5.66 \pm 8.0$  g/L equivalent to 12.36 mmol/L, while the value reported by [25] was  $62.91 \pm 0.87$  mmol/L in confined cows feeding rich protein diets. This difference might be attributed to the high indicator sensitivity that shows ingestion differences and the conditions of our trial. Although either the urea or the creatinine shows dependency with the diuresis, the changes in the relationship Ur/Cr are compensated.

The Ur/Cr values found in this work were similar to those reported by Servello and Schneider [15] and DelGiudice et al. [17, 18, 19, 20, 21, 22]. These authors considered that the indicator Ur/Cr is useful in the endogenous protein catabolism and the energy exhaustion. For these authors, the Ur/Cr (mg/mg) values in animal under normal conditions were  $4.4 \pm 0.3$  while in malnutrition conditions these values were  $73.5 \pm 30.5$  (when contained less than 10 % of medular fat in the femur) in ungulates species (elk and bison). Also with less than 10 % of medular fat in the femur the values obtained were  $30,3 \pm 9,2$  and  $26,7 \pm 9,6$ .

This important difference between the maintenance and catabolism values demonstrated the high sensitivity of this indicator.

This work shows that high values of Ur/Cr indicate catabolism for these trial conditions. For this reason one may suppose that the calciuria decrease because of the increase of Ur/Cr reaching values higher than 5, would not indicate increase of protein ingestion or the increase of protein microbial synthesis. The fact that the Ur/Cr parameter is an indicator of nutritional restriction was also reported by de Moen et al [23] and Del Giudice et al [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

The UrLec increase in August, September and October (Figure 6) would be the result of its increase in blood and of a positive correlation between urea in blood and UrOr [6, 7, 8]. Either in the catabolism state or due to the high protein ingestion there was an increase of urea in blood and lower recycling of it and so there was an increase of UrOr and UrLec [23].

The junction of Ur/Cr and UrLec indicators would be useful in the analysis of ingestion predictors because they have high sensitivity and robustness when the protein-energy metabolism changes.



## CONCLUSION

In this paper relations were found between the tested metabolites that permit the estimation of the nutritional state of cows that feed in rangelands. The most representative and high sensitive indicators were selected. To this end, Ur/Cr and UrLec were chosen, although relations among other indicators such as UriOr and CaOr were also established.

It was determined that the most frequent value of Ur/Cr (mg:mg), associated with the maintenance of lactating cows, was in the range from 0.01 to 5 for the study site and the trial conditions. It was also found that Ur/Cr was highly sensitive to both urea increase and creatinine decrease in catabolism conditions.

The strong correlation between the parameter Ur/Cr and catabolism indicators, such as femur marrow fat lost and 3 methylhistidine/creatinine ( $R^2=0.52$  and  $R^2=0.89$ , respectively) allow the use of this parameter as an indicator of nutritional sustainability.

The increase of CaOr was related mainly with UriOr which was considered as an indicator of microbial protein synthesis. It was considered that UrLec was a good indicator for evaluating ingestion when the Ur/Cr value was in the maintenance range. The biochemical parameters during the study months were significantly correlated with the estimated forage ingestion and with the diet's botanical composition.

Further studies should be done using these parameters as ingestion indicators through trials with controlled diets provide to corral animals.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] Hakkila, M.D., Holechek, J.D., Wallace, J.D., Anderson, D.M., Cárdenas, M. 1987 Diet and forage intake of cattle on desert grassland range. *J. Range Manage.* 40: 339-342.
- [2] Holechek; Vavra, M., Skovlin, J. 1981. Diet quality and performance of cattle on forest and grassland range. *J. Anim. Sci.* 53: 291-298.
- [3] Grünwaldt, E.G., Guevara, J.C., Estevez, O.R., Vicente, A., Rousselle, H., Alcuten, N., Aguerregaray, D., Stasi, C.R. 2005. Biochemical and haematological measurements in beef cattle in Mendoza plain rangelands (Argentina). *Trop. Anim. Health Prod.* 37: 527-540.
- [4] Van den Bosch, S., Guevara, J.C., Tacchini, F.M., Estevez, O.R. 1997. Nutrient content of browse species in the arid rangelands of the Mendoza plain (Argentina). *J. Arid Environ.* 37: 285-298
- [5] Guevara; Estevez, O.R., Silva, J.H., Marchi, A. 1991. Adequacy of native range grasses to meet protein and energy beef cow requirements in the plain of Mendoza, Argentina. In: Gaston, A., Kernick, M., Le Houérou, H.N. (Eds.), *Proceedings of the Fourth International Rangeland Congress*, pp. 696-699. Montpellier, France: CIRAD (SCIST).
- [6] Broderick G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86:1370-1381.
- [7] Giovanetti, V., Decandia, M., Boe, F., Zerbini, E., Cannas, A. and Molle, G. 2009. Effects of different dietary energy contents on milk urea concentration in stall-fed dairy sheep. *Options Méditerranéennes, A/ n° 85*,
- [8] Molle, G. V., Giovanetti, A., Cabiddu, M., Cuccureddu, G., Scanu, and Decandia, M. 2009, Milk urea as nutritional indicator in sheep grazing legume-based pastures *Options Méditerranéennes, A/ n° 85*, Nutritional and foraging ecology of sheep and goats.
- [9] Molle, G., Cabiddu, A., Decandia, M. 2007. Re-visiting the nutrition of dairy sheep grazing Mediterranean pastures. *Italian Journal of Animal Science*, 6(1): 235-243.
- [10] Hannan, M.T., Tucker, K.L., Dawson-Hughes, B. 2000. Effect of dietary protein on bone loss in early men and women the Framingham Osteoporosis Study. *J. of Bone and Mineral Research* 15(12):2504-2512
- [11] Saraví F.D. y Aquila Dumit F. J., 2005. Composición corporal y mineral óseo en gimnastas femeninas pre- y peripuberales. *Revista Médica Universitaria*, 1(1).
- [12] Chen, X.B., Susmel, P., Stefanon, B., Orksov, E.R., 1995. On the use of purine derivatives in spot urine, plasma and milk samples as indicators of microbial protein supply in sheep and cattle. *Proceedings of the 7th International Symposium on protein Metabolism and Nutrition*, 81.
- [13] Stefanon, B., Mills, R., Spanghero, M., Susmel, P., 1995. An evaluation of purine derivatives as indicators of rumen microbial protein synthesis in dry and lactating cows. *Proceedings of the 7th International Symposium on protein Metabolism and Nutrition*, 81.
- [14] Stefanon B., Volpe, V., Moscardini, s., Gruber, L., 2001. Using artificial neural networks to model the urinary excretion of total and purine derivative nitrogen fractions in cows. *J. Nutr.* 132 : 3307-3315.
- [15] Servello F., Schneider J. 2000. Evaluation of urinary indices of nutritional

- status for white-tailed deer: tests with winter browse diets. *J. Wildl. Manage.* 64: 137-145.
- [16] DelGiudice G., Mech D., Seal U.S., Karns P.D. 1987. Winter fasting and re-feeding effects on urine characteristics in white-tailed deer. *J. Wildl. Manage.* 51: 860-864.
  - [17] DelGiudice G., Mech D., Seal U.S. 1990. Effects of winter undernutrition on body composition and physiological profiles of white-tailed deer. *J. Wildl. Manage.* 54: 539-550.
  - [18] DelGiudice G., Seal U.S. 1991. Mech D. Indicators of severe undernutrition in urine of free-ranging elk during winter. *Wildl. Soc. Bull.* 19: 106-110
  - [19] DelGiudice G., Mech D., Seal U.S. 1994. Undernutrition and serum and urinary urea nitrogen of white-tailed deer during winter. *J. Wildl. Manage.*, 58: 430-436.
  - [20] DelGiudice G., Peterson R.O., Samuel W.M. 1997. Trends of winter nutritional restriction, ticks, and numbers of moose on isle royale. *J. Wildl. Manage.* 61:895-903.
  - [21] DelGiudice G., Kerr K.D., Mech D., Riggs M.R., Seal U.S. 1998. Urinary 3 methylhistidine and progressive Winter undernutrition in white-tailed deer. *Can. J. Zool* 76: 2090-2095.
  - [22] DelGiudice G., Moen R.A., Singer F.J., Riggs M.R. 2001. Winter nutritional restriction and simulated body condition of Yellowstone elk and bison before and after the fires of 1988. *Wildlife Monographs*. October n°147.
  - [23] Moen R., DelGiudice G. 1997. Simulating nitrogen metabolism and urinary urea nitrogen:creatinine ratios in ruminants. *J. Wildl. Manage.* 61:881-894
  - [24] Chen, X. B.; Grubic; G., Orskov; E. R., Osuji, P. 1992. Effect of feeding frequency on diurnal variation in plasma and urinary purine derivatives in steers. *Anim. Prod.* 55: 185-191.
  - [25] Céspedes Honorato J.A., Excreción diaria de Nitrógeno, urea y Creatinina en la orina de vacas lecheras confinadas. 1998. Tesis Universidad Austral de Chile. Association of official agricultural chemists, (A.O.A.C). 1960. Official Methods of analysis. Washington D. C.
  - [26] Gonda, H. L.; Lindberg, J. E. 1994. Evaluation of Dietary Nitrogen Utilisation in Dairy Cows Based on Urea Concentrations in Blood, Urine and Milk, and on Urinary Concentration of Purine Derivatives. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 44: 236 - 245.
  - [27] Kabasakalian, P., Kalliney, S., Westcott, A., 1973. Determination of Uric Acid in Serum, with Use of Uricase and a Tribromophenol—Aminoantipyrine Chromo-  
gen. *Clinical Chemistry*, 19: 522-524
  - [28] Abdi, H. (2007), Singular Value Decomposition (SVD) and Generalized Singular Value Decomposition (GSVD), in: N. Salkind (ed.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, Thousand Oaks (CA), Sage.
  - [29] Bry, X. (1995), *Analyses Factorielles Simples*, Paris, Economica.
  - [30] Bry, X. (1996), *Analyses Factorielles Multiples*, Paris, Economica.
  - [31] Eckart, C. and G. Young (1936), The approximation of one matrix by another of lower rank. *Psychometrika*, 1: pp. 211-218.
  - [32] Escofier, B. and J. Pagès (2008), *Analyses factorielles simples et multiples: objectifs, méthodes et interprétation*, Paris, Dunod.
  - [33] Langrand, C. and L.M. Pinzón (2009), *Análisis De Datos. Métodos y ejemplos*, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
  - [34] Legendre, P. and L. Legendre (1998), *Numerical Ecology*, 2nd ed., New York, Elsevier.
  - [35] Lebart, L., A. Morineau, T. Lambert, and P. Pleuvret (1999), *SPAD - Système Pour l'Analyse des Données*, version 5.5, Paris, CISIA-CERESTA.
  - [36] Bondi, A. A. 1988. *Nutrición Animal*. Editorial Acribia. Zaragoza.
  - [37] Oldham, J.; Tamminga, Y. 1995. Changes in the nutrition and Management of herbivores in the nutrition of herbivores. INRA. Paris.
  - [38] Fleming, S. A.; Hunt; E. L., Riviere; J. E., Anderson, K. L. 1991. Renal clearance and fractional excretion of electrolytes over four 6 hour periods in cattle. *Am. J. Vet. Res.* 52: 5-8.
  - [39] Blake, R. W.; Custodio; A. A., Broderick; G. A., Landmann; W. A., Young, C. R. 1980. Relationships among feed intake, urinary creatinine, body protein turnover, and protein utilisation in Holstein and Jersey cows. Progress Report, Texas Agricultural Experimental Station.
  - [40] Susmel P., Spanghero M., Stefanon B., Mills C.R. 1995. Nitrogen balance and partitioning of some nitrogen catabolites in milk and urine of lactating cows. *Livestock Production Science* 44: 207-219.
  - [41] Susmel P., Stefanon B., Plazzotta E, Spanghero M., and Mills C.R. 1994. The effect of energy and protei intake on the excretion of purine derivatives. *Journal of Agricultural Science* 123: 257-265.
  - [42] Chen, X.B., Susmel, P., Stefanon, B., Orksov, E.R., 1995. On the use of purine derivatives in spot urine, plasma and milk samples as indicators of microbial protein supply in sheep and cattle. *Proceedings of the 7th International Symposium*

on protein Metabolism and Nutrition, 81.

- [43] Guevara; Estevez, O.R., Stasi, C.R., Monge, A.S. 1996a. Botanical composition of the seasonal diet of cattle in the rangelands of the Monte Desert of Mendoza, Argentina. *J. Arid Environ.* 32: 387-394.
- [44] Silva Colomer, J.H., Guevara, J.C., Marchi, A., Estevez, O.R. and Stasi, C.R. 1991. Native grasses and the nutrition of the breeding cow in the arid plain of Mendoza, Argentina. *J. Arid. Environ.* 20:113-118.
- [45] Guevara, J.C, Estevez, O; Stasi, C., Monge, A. 1997a. Monthly botanical composition of the diet of cattle in the rangelands of Mendoza plain Argentina. *Journal of Arid Environments* 36: 655–660.
- [46] Guevara, J.C., Cavagnaro, J.B., Estevez, O.R., Le Houérou, H.N., Stasi, C.R. 1997b. Productivity, management and development problems in the arid rangelands of the central Mendoza plains (Argentina). *J. Arid Environ.* 35: 575-600.
- [47] Guevara, J.C., Stasi, C.R., Estevez, O. 1996b. Seasonal specific selectivity by cattle on rangeland in the Monte Desert of Mendoza, Argentina. *Journal of Arid Environments* 34: 125–132.
- [48] Montgomery, D.C., Peck, E.A. 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis*. New York, J. Wiley and Sons.
- [49] Talke, H., Schubert, G.E., 1965, *Klin. Wchens.*, 43: 174.
- [50] Jaffe, M.Z. 1886. Methods determining creatinine, *Physiol. Chem.*, 10: 39–40.
- [51] Statsoft. *Statistica* version 7. <http://www.statsoft.com>

# Oferta nutritiva para Lama guanicoe, bovinos y caprinos de vegas del Valle El Peñón, en la región del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa, Malargüe, Mendoza, Argentina

## RESUMEN

En este trabajo se determinaron parámetros de oferta nutritiva forrajera de la zona de Vegas del Valle El Peñón, en la región del Complejo Volcánico Planchón Peteroa. El objetivo específico fue calcular la carga animal conservadora para camélidos sudamericanos a modo de aporte de productividad primaria a la interpretación arqueológica, como también para especies que actualmente se utilizan para actividades ganaderas como bovinos y caprinos. Los valores de biomasa, proteína cruda, grasas, energía metabólica, fibra detergente ácida y digestibilidad de las vegas indican que es una región de alta calidad forrajera encontrándose en una escala intermedia entre turbales patagónicos y bofedales bolivianos. La carga animal conservadora (utilidad al 60 %) arroja valores altos para guanacos, caprinos y bovinos (14,8, 25,82 y 2,52 UA ha<sup>-1</sup> respectivamente) en función de los valores nutritivos, los pesos promedio y el consumo promedio utilizados. Se destaca la importancia de conservar este recurso.

## Palabras Claves:

Oferta forrajera, Guanacos, Bovinos, Caprinos, Vegas, Complejo Planchón Peteroa

A. Scotti (1, 2, 3),  
V. Durán (2),  
R. Lecitra (3).

1- *International Center for Earth Science, Comisión Nacional de Energía Atómica.*

2- *Universidad Nacional de Cuyo Instituto de Ciencias Básicas.*

3- *Universidad Nacional de Cuyo.*

[adalgisascotti@icesmalargue.org](mailto:adalgisascotti@icesmalargue.org)

## INTRODUCCIÓN

El guanaco (*Lama guanicoe*) es uno de los grandes herbívoros de Sudamérica y el mayor de los camélidos silvestres de este continente. Esta especie manifiesta una serie de adaptaciones anatómicas y fisiológicas que le permiten sobrevivir en condiciones extremas (1, 2, 3, 4, 5). Debido a su adaptabilidad a distintas condiciones y especialmente por su forma de alimentación, el guanaco ocupa hábitats con marcadas diferencias en estructura de la vegetación, relieve, clima y presencia de actividades humanas.

El guanaco fue el ungulado de más amplia distribución en el sur del continente desde el Pleistoceno (entre 20 y 10 mil años atrás) hasta la introducción del ganado doméstico (6).

El presente trabajo tiene por objetivo determinar la productividad forrajera de las vegas del valle El Peñón, región del complejo volcánico Planchón- Peteroa, medidos en términos de proteína cruda (PC), energía metabólica (EM), digestibilidad (DIG), biomasa y capacidad de carga animal orientada al desarrollo de guanacos, como aporte de la productividad primaria a la interpretación arqueológica, como también a la producción de bovinos y caprinos.

Estas zonas se utilizan actualmente para el pastoreo de ganado bovino, caprino y equino en los meses de "veranada". Las especies de los pastizales pertenecen a los grupos de gramíneas principalmente.

La región en estudio presenta homogeneidad en cuanto a productividad forrajera (comunicación verbal Martínez Carretero, E.).

En este estudio se asume que el forraje no es un factor limitante y está orientado a estimar requerimientos y receptividad teniendo en cuenta valores de parámetros nutricionales de mantenimiento de adultos fuera de la época reproductiva y bajo condiciones no adversas de disponibilidad de forraje.

### SITIO DE ESTUDIO

Las vegas de la región son humedales en los cuales las condiciones de anaerobiosis temporales o permanentes permiten la acumulación de materia orgánica, con la napa freática cercana a la superficie o con agua libre en ambientes con drenaje impedido. (Figuras 1,2 y 3)

Estos suelos en su mayoría corresponden a aquellos derivados de la meteorización de rocas volcánicas, cenizas y a la acumulación de materiales erosionados en la cordillera, de tipo Andisol con presencia de abundante silicio y aluminio, presentan flujos de CO<sub>2</sub> asociados a la actividad volcánica del complejo volcánico Planchón-Peteroa, (7) como también abundante contenido de azufre.

Desde el punto de vista bioclimático se puede indicar la caracterización de Malargüe (35° 39' S 69° 36' W, Mendoza) como Mediterráneo Semiárido superior; (8). Teniendo en cuenta las características Biogeográficas la zona en estudio pertenece a la Pcia fitogeográfica Altoandina, al Distrito Altoandino-Cuyano que presenta vegas de Ciperáceas y Juncáceas (9).



*Figura 1: Pastizales del Valle El Peñón – Fuente: Adalgisa Scotti*



*Figura 2: Vegas y mallines Valle El Peñón – Fuente Adalgisa Scotti*





Figura 3: Suelos ácuicos – Fuente Adalgisa Scotti



Figura 4. Imagen satelital de la zona del Valle El Peñón mostrando los sitios de muestreo

## METODOLOGÍA

En los pastizales del Valle El Peñón se realizaron muestreos al azar de tres parcelas de 1 m<sup>2</sup> cada una ubicadas: la primera a 35°15.360´ S y 70°30.877´ O con una altitud de 2493 m.s.n.m., la segunda a 2.461 m.s.n.m 35°15.276´ S y 70°30.504´ O. y la tercera a 2430 m.s.n.m. 35°15.300´ S y 70° 30.156´ O (Figura 4)

Las parcelas fueron elegidas dentro de los sectores de habitual pastoreo. El pastizal fue sometido a análisis químico para determinar biomasa, materia seca (MS), Nitrógeno (N), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Ácido (FDA), extracto etéreo (grasas), Energía Metabólica de mantenimiento (EMm).

La materia seca y grasas fueron determinadas siguiendo (27). La PC (N x 6,25) fue determinada por Kjeldahl (28) y la fibra detergente ácido modificado (FDA) por el método de Van Soest (11).

Las expresiones que se usaron fueron:

$$EMm = 10,67 + 0,116 (CP) + 0,243 (grasa) - 0,155 (FAD)$$

$$(MJ Kg^{-1} MS) (1 cal=4,18J)$$

$$EMm = 3,6 * (\%Dig)/100 (Mcal/KgMS)$$

Se realizó el cálculo de requerimientos nutricionales de guanacos, llamas, alpacas, bovinos, caprinos a partir de datos bibliográficos. En el caso de guanacos se consideraron dos situaciones de trabajo: una fue el cálculo del requerimiento a partir de los datos de composición botánica de la dieta en un hábitat árido rocoso y otra situación teniendo datos a partir de guanacos confinados estabulados. En las otras especies mencionadas se consideraron situaciones de confinamiento.

A partir de los requerimientos y la oferta forrajera de las Vegas se realizó el cálculo de carga animal conservadora y las equivalencias entre distintas especies.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Oferta nutricional forrajera

Los resultados del análisis vegetal de los siguientes parámetros: peso de MS en g/m<sup>2</sup>, N, PC expresada en PC %MS, extracto etéreo expresado como grasas %MS, Fibra ácido detergente expresada como FAD %MS, Energía Metabólica de mantenimiento

(EMm) expresada en MJ/Kg MS y, Mcal/Kg MS, Digestibilidad (%Dig.) y biomasa, se registran en la Tabla I.

Los valores promedios de digestibilidad, de PC y de EM del estrato "vega" encontrados en este trabajo son de 42,87 %, 8,08 % MS y 1,54 Mcal/Kg MS respectivamente, (Tabla I), todos menores a los encontrados por (29) para vegas patagónicas, (47,8 % Dig., 9,36 % PC y 1,72 Mcal/KgMS).

La producción de la biomasa forrajera es de 6303 KgMS/ha semejante al valor encontrado en algunas vegas bolivianas y de la puna argentina (12, 13).

### Requerimientos nutricionales

A los efectos de determinar los requerimientos de camélidos sudamericanos se tomaron como referencia los estudios realizados en llamas, alpacas (estabulados) y guanacos de diversos autores (14, 15). También los requerimientos nutricionales de guanacos se calcularon a partir de las especies consumidas analizando la composición botánica de la dieta (16), teniendo en cuenta la ingesta de materia seca (IMS) (17), el aporte de cada especie botánica en PC, Dig y EM (8), (18), (19) y su frecuencia relativa en los análisis microhistológicos de materia fecal (16).

El peso promedio de guanacos adultos se consideró en 71 Kg (17), 100 Kg para llamas y 70 Kg para alpacas (14).

En la Tabla II la conversión de energía digestible (ED) a EM en llamas y alpacas se realizó teniendo en cuenta una eficiencia de 82 % y multiplicando el valor de ED resultante por el coeficiente 1,15 para así validar la información obtenida en jaulas metabólicas a las condiciones normales de vida (14). Para el caso de guanacos se aplicó la ecuación:

$$EM = 0,82 ED (20)$$

En condiciones de trabajo o ambientes adversos aumentan los requerimientos de energía, en porcentajes que pueden oscilar entre 25% y 75% .En la Tabla II los valores de ED, EM y PC/ED están considerados para condiciones no adversas para el caso de llamas y alpacas mientras que para guanacos los cálculos se realizaron de dos

maneras: una teniendo en cuenta condiciones adversas a partir de la composición botánica de la dieta correspondiente a Aparejo, zona rocosa de Payunia, (16). y otra considerando condiciones favorables semejantes a la "situación vega", correlacionando los valores en llamas al requerimiento de guanacos, teniendo en cuenta que tienen la misma equivalencia en carga (21, 22).

El requerimiento de EM de guanacos en zonas adversas (Payunia) es de 1,89 Mcal/Kg MS, este valor es mayor que la calculada a partir del requerimiento en zonas favorables (Vegas), siendo este último de 0,98 Mcal/KgMS. Este aumento en la EM en condiciones adversas o de trabajo coincide con los observados por (14) en llamas y alpacas y también descriptas por (15). Por otra parte el valor de 1,89 Mcal/Kg MS está calculado para un grupo de guanacos en condiciones silvestres con diferentes estados fisiológicos (crecimiento, gestación y lactancia).

Para (15) el consumo promedio de energía (ED) para un guanaco de 100 kg, de peso es 5.500 Kcal.por día, lo que equivale a 174 Kcal/ kg<sup>0.75</sup> /d , cuando se les suministra una dieta de mediana calidad y los animales no se hallan en período reproductivo. Este autor aclara que en estado silvestre la relación entre consumo de materia seca y mantenimiento de peso y/o actividad, puede sufrir mayores fluctuaciones que las observadas en condiciones estándar. Esto podía explicar la diferencia encontrada con el valor de 161 Kcal/ kg<sup>0.75</sup> /d hallado en el presente trabajo aplicando la composición botánica de la dieta y el valor de 85,8 Kcal/ / kg<sup>0.75</sup> /d aplicando la equivalencia en llamas (Tabla II).

Los valores básicos de 61,2 KcalEM/Kg0.75 /d en llamas y 71,0 KcalEM/Kg0.75 /d en alpacas (Tabla II), son inferiores a los de caprinos estabulados que alcanzan cifras de 102,0 Kcal EM/Kg0.75 /d (23).

Este menor requerimiento energético de los camélidos sudamericanos respecto de especies de rumiantes menores es concordante con la capacidad de los primeros de subsistir bajo condiciones alimentario-nutricionales muy pobres caracterizados por recursos forrajeros con altos contenidos de paredes celulares y baja densidad energética. También el requerimiento proteicos de mantención de llamas y alpacas es menor que el de caprinos (Tabla II) que alcanza a 2,73 g PD o 4,01 g PC/kg0.75 /d (23). La explicación a este menor requerimiento proteico en estas especies de camélidos

residiría según (30) en parte en su mayor eficiencia en el reciclaje y utilización de la urea corporal para la síntesis proteica ruminal en especial en raciones de baja calidad.

### Capacidad de carga

En este estudio se define como capacidad de carga o receptividad, a la cantidad de animales que puede soportar el ambiente sin deteriorarse la pastura ni generarse procesos erosivos. Esta cantidad está sujeta a la productividad primaria neta en términos cualitativos y cuantitativos, y al consumo que realiza el guanaco para cubrir sus necesidades. El régimen pluviométrico, las temperaturas, la abundancia de otros herbívoros silvestres y domésticos inciden en la disponibilidad de forraje. A su vez el requerimiento energético del animal estará determinado por su ritmo de actividad diaria (apareamiento, defensa del territorio, lactancia, gestación).

En el presente trabajo se han obtenido los siguientes resultados:

Productividad primaria de vega en parámetros de materia seca por hectárea, proteína cruda por hectárea y energía metabólica de mantenimiento en Mcal por hectárea.

- 6303 kg MS/ha
- 509,3 kg PC/ha
- 9706,6 Mcal/ha

Capacidad de carga:

La receptividad del área de estudio se determinó considerando los siguientes aspectos: Se tomaron los valores de productividad primaria como superficie útil. Se consideró el valor promedio de consumo de forraje para un guanaco adulto (71 kg peso vivo). Se contempló la recomendación de no pastorear más del 60% de lo producido por la pastura, para favorecer su capacidad de restablecimiento, permitir la acumulación de reservas, y compensar las pérdidas por pisoteo. Se estableció una capacidad de carga mínima y conservadora.

Para validar la receptividad obtenida, se tuvieron en cuenta algunas comparaciones o equivalencias de cargas con bovinos. Se consideraron 5 meses útiles de pastoreo por año. La capacidad de carga se calculó en función de las variables y los valores citados a continuación:

- Productividad vega: 6303 kg de materia seca/ ha veranada
- Porcentaje consumible para conservar la pastura: 60%.

- Consumo promedio diario guanaco adulto: 1,7 kg de materia seca.
- Consumo promedio veranada (5 meses) guanaco adulto: 255 kg de materia seca.

### Fórmula

Carga promedio anual =  $\frac{\text{producción materia seca (Kg) / ha año} \times (\text{porcentaje consumible})}{\text{consumo materia seca (Kg) / guanaco adulto año}}$

Carga =  $6303 \times 0,60 / 255 = 14,8$  guanacos por ha

Se considera que los valores obtenidos son compatibles tanto para cubrir las necesidades del animal como para conservar el recurso forrajero.

### Equivalencia para bovinos

El cálculo de la capacidad de carga forrajera para bovinos considerando una IMS de 2,5 % PV (teniendo en cuenta la calidad del forraje) y una UA de 400 kg

Consumo = 10 kg MS/día por lo tanto 1500 kg en 5 meses

Carga =  $6303 \times 0,60 / 1500 = 2,52$  UA bovina por ha

### Equivalencia para cabras

El consumo de materia seca con relación al peso vivo para cabras de producción de carne varía entre 2,5 y 3 %, mientras que para producción de leche pueden consumir hasta un 8 % de su peso vivo (24). Considerando un peso promedio de 39 kg (25) obtenemos un valor de carga de  $6303 \times 0,60 / 146,25 = 25,86$  UA caprina por ha

Algunos autores proponen una equivalencia de carga entre guanaco y oveja de 1:1 (21), entre llama y vaca de 4:1 (26) y entre guanaco y llama de 1:1 (21). En este trabajo la relación de carga entre guanaco: vaca es de 5,87.

### CONCLUSIONES

Las vegas de la región presentan una oferta forrajera de alta calidad, menor que los turbales patagónicos de Tierra del Fuego y mayor que la mayoría de los bofedales hidromórficos bolivianos.

La capacidad de carga conservadora de estas vegas para el desarrollo de Lama guanicoe es de 14,8 UA/ ha teniendo en cuenta animales adultos de un promedio de peso vivo de 71 Kg y un consumo de 2,5 % PV, para la época estival.

Las equivalencias para otras especies como caprinos y bovinos las cuales actual-

mente se encuentran en la región como fuente de productividad primaria ganadera arroja valores altos de carga animal conservadora lo cual está indicando la importancia de conservar este recurso ( 25,86 y 2,52 animales/ ha respectivamente).

**AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la valiosa colaboración en el aporte de las revisiones técnicas de este trabajo a la Dra. Silvia Puig, Dr. Fernando Videla y al Ing. Juan Carlos Guevara; también a las Prof. de Geografía Iris Urrutia y Claudia Manzanares pasantes de investigación de la Lic. en Geografía de Filosofía y Letras de la Uiversidad Nacional de Cuyo, en la toma de muestras y a la Srita Belén Pedernera alumna del CGCBCEN del ICB UNCuyo.

Muestra	Coordenadas	Altitud msnm.	Peso Kg MS/ha	N %MS	grasas %MS	FAD %MS	PC %MS	EM (MJ kg <sup>-1</sup> MS <sup>-1</sup> )	EM (Kcal kg <sup>-1</sup> MS <sup>-1</sup> )	Dig %
1	35°15' 360" S 70°30' 877" O	2493	6564	1,33	1,59	34,90	8,31	6,61	1,58	43,89
2	35° 15' 276" S 70° 30' 504" O	2461	4647	1,29	2,02	37,25	8,06	6,33	1,51	41,94
3	35° 15' 300" S 70° 30' 156" O	2430	7698	1,26	1,86	36,41	7,88	6,42	1,54	42,78
Promedio			6303	1,29	1,82	36,18	8,08	6,45	1,54	42,87

Tabla I. Peso de MS en Kg ha<sup>-1</sup>, N, PC %MS, Extracto seco como grasas %MS, FAD %MS, EM (MJ/kg MS), EM (Kcal/kgMS) y %Dig.de las muestras de pastizales 1, 2 y 3 con su correspondiente ubicación geográfica.

Camélidos	Fuente	PC g/kg <sup>0,75</sup> /d	ED Kcal/kg <sup>0,75</sup> /d	EM Kcal/kg <sup>0,75</sup> /d	IMS %PV/d	PC/ED g/Mcal	PC g/d	ED Mcal/d	EM Mcal/d	Consumo KgMS/d	PC g %MS	EM Mcal/kg MS
Llamas estabuladas	Lopez A. et al. 1992	3,5	85,8	61,2	2,0*	40	111	2,71	1,93	2	5,55	0,96
Alpacas estabuladas	Lopez A. et al. 1992	3,5	99,6	71	1,8*	35	85	2,41	1,72	1,26	6,75	1,36
Guanacos Pastizales de zonas adversas	Comp. Bot. Dieta Puig 2001	5,35***	161	132***	2,4 **	33	131,5	3,93	3,22	1,704	7,72	1,89
Guanacos estabulados	Bonacic 1991 Lopez A. 1992	3,5	85,8	61,2	2,4	41	85,6	2,10	1,70	1,704	5,02	0,98

Tabla II. Requerimientos de PC, ED, EM, IMS y relación PC/ED para camélidos sudamericanos.

\*IMS llamas y alpacas (San Martín y Bryant 1987 (31) (Lopez A. et al. 1992 (14).  
 \*\* IMS guanacos (Sarasqueta D., 2001) (17).  
 \*\*\* Valores de PC y EM obtenidos desde la composición botánica de la dieta (Puig et al. 2001)(16), zonas adversas (hábitat Aparejo)  
 © Cálculos teniendo en cuenta los valores de peso promedio.

Categoría	Abreviatura	Frecuencia*	Especie*	Porcentaje	Dig % MS	PC %MS	FAD %MS	Grasas	EM Mcal/kgMS	Ponderación EM	Ponderación PC	Ponderación DIG	Fuente
G	Hu	0,22	Hordium spp	7	26,08	8,1	41,36	2,04	0,14	0,56	3,88		Producción Animal sobre Pastizales
B	Bt	0,1	Bromus brevis	3,22	69,70	5,4	36,2	2,18	0,07	0,17	1,95		Naturales - Bornelli Pablo, 2001
A	Po	0,45	Poa ampullacea	14,5	67,00	3,7	28,11	2,41	0,35	0,54	9,71		
M	St	0,22	Stipee spp	7	59,63	4,43	49,12	1,82	0,14	0,31	3,54		
I	Sp	0,2	Sporobolus rigens	6,5	47,98	13,84	33,1	1,29	1,71	0,11	0,79	3,09	Adequacy of native range grasses to meet protein and energy beef cow requirements in the plain of Mendoza, Argentina. Guevara et al. 1991.
N	Pa	0,62	Panicum urvilleanum	20	44,46	9,33	34,51	1,27	1,61	0,32	1,87	8,93	
E	Ar	0,2	Aristida subulata	6,5	50,10	11,24	31,07	1,59	1,8	0,12	0,73	3,26	
A	Se	0,09	Setaria spp	1									
S	Dt	0,1	Digitaria latifolia	3,22									
CA	Ve	0,1	Verbena spp.	3,22	47,64	9,67	31,93	1,34	1,72	0,06	0,31	1,53	Nutrient content of browse species in the and rangelands of the Mendoza plain, Argentina. Van den Bosch. 1997
ME	Ac	0,1	Acantholippa serripesoides	3,22	52,13	9,5	47,2	1,88	0,2	1,07	5,89		
PHY	Hy	0,35	Hypis Argentinae	11,3	52,63	12,03	29,42	1,67	1,89	0,19	0,12	0,53	Dieta del Guanaco (Lama guanicoe) y productividad del pastizal en la Reserva La Payuna, Mendoza (Argentina) Carda R. y Dalmaso A.
TES	Ba	0,09	Baccharis spp	1									
PHA	Ep	0,1	Ephedra ochrostea	3,22	39,00	5,7	64		1,4	0,04	0,31	1,25	
NERO	Ly	0,08	Lycum chilense	2,6	45,50	13,3	55,7		1,64	0,04	0,35	11,8	
PHY	Ne	0,1	Neosparten opifulum	3,22	50,00	8,93	30,15	1,98	1,8	0,06	0,29	1,61	
TES	Pr	0,1	Prosopisrarium gibbosum	3,22	50,17	11,35	31,56	1,86	1,8	0,06	0,36	1,61	
TOTALES		3,1		99,94						1,9	7,72	55,99	* Puig, S. 2001. Hábitat Aparejo
Ecuaciones													
88,9 = (0,73 * (%FAD)) + (%DIG)													
EM (Kcal/kg MS) = 3,6 * % Dig/100													

Tabla III. Requerimientos de Lama guanicoe a partir de los valores de la composición botánica de la dieta.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Raedeke, K. 1978. El guanaco de Magallanes. Chile. Su distribución y biología. CONAF Publicación Técnica N° 4. 182 pp.
- [2] Franklin, W.L. 1983. Contrasting socioecologies of South America's wild camelids: The vicuña and the guanaco. Pp. 573-629. En: Eiseberg and Kleiman (eds). Advances in the Study of Mammalian Behavior. The Am. Soc. Of mammalogists. Special Pub. N°7.
- [3] Puig, S. 1995. Uso de recursos ambientales por el guanaco. Pp. 119-134. En: S. Puig (ed). Técnicas para el manejo del guanaco. UICN
- [4] De Lamo, D.A. 1997. Estado actual y perspectivas sobre el uso sustentable de poblaciones de camélidos silvestres. Guanaco (Lama guanicoe).Pp. 37-44. En: Actas del 2º Seminario Internacional de Camélidos Sudamericanos.
- [5] De Lamo, D.A., A.F. Sanborn, C.D. Carrasco y D. J. Scott. 1998. Daily activity and behavioral thermoregulation of the guanaco (Lama guanicoe). Pp. 9. En libro de resúmenes XIV Jornadas Arg. De Mastozoología, Salta.
- [6] Franklin, W. 1982. Biology, ecology and relationships to man of the South American Camelids. Pp. 457-489 En: M.A. Marer y H.H. Genways (eds.) Mammalian Biology in South America. Vol.6. University of Pittsburgh, Pittsburgh
- [7] Sanci, Romina, Héctor O. Panarello y Héctor A. Ostera. Flujo de dióxido de carbono en el flanco oriental del volcán Peteroa, Andes del Sur Carbon dioxide flux in the eastern flank of Peteroa volcano, Southern Andes
- [8] Martínez Carretero, E. (2004) Los turbales de la Patagonia: bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad Número 19 de Wetlands International publication



- [10] Muller, L. (1961). Un aparato micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba, 11: 17–25.
- [11] Van Soest, P.J. and R.H. Wine. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feed. IV. The determination of plant cell wall constituents. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 50:55.
- [12] Alzérreca H., Prieto G., Laura J., Luna D., Laguna S. 2001. En: Características y Distribución de los Bofedales en el Ambito Boliviano, Informe final. Asociación Integral de Ganaderos de Camélidos de los Andes Altos.
- [13] Fiorio, D. 1996. Manejo de agua y Conservación de Bofedales. En: Seminario Taller Manejo Sostenible de praderas Nativas Andinas. Programa de Autodesarrollo Campesino-Fase Consolidación. Foro Boliviano para el Medio Ambiente y Desarrollo (PAC-C, FOBOMADE). Potosí, Bolivia pp.131-138.
- [14] López, A. y L.A. Raggi. 1992. Requerimientos nutritivos de camélidos sudamericanos: Llamas (*Lama guanicoe*) y Alpacas (*Lama paco*). Revisiones Bibliográficas. Arch. Med. Vet., XXIV, N°2, 1992
- [15] De Lamo DA. 1995. Aspectos Ecofisiológicos. En: S. Puig (Ed). Técnicas para el Manejo del Guanaco. Grupo Especialista en Camélidos Sudamericanos, U.I.C.N. Pp: 85 – 95.
- [16] Puig, S.F. Videla, M. I. Cona & S. A. Monge, 2001. Use of food availability by guanacos (*Lama guanicoe*) and livestock in Northern Patagonia (Mendoza, Argentina). Journal of Arid Environments 47: 291–308
- [17] Sarasqueta, D. 2001. Cría y Reproducción de Guanacos en Cautividad *Lama guanicoe* Comunicación Técnica N° 110 Recursos naturales-Fauna. INTA-GTZ Centro Regional Centro Regional Patagonia Norte INTA EEA Bariloche, Fauna Silvestre
- [18] Guevara, J.C., O.r. Estevez, J.H. Silva and A. March, 1991 Adequacy of native range grasses to meet protein and energy beef cow requirements in the plain of Mendoza, Argentina. IVth International Rangeland Congress, Montpellier, France-Kjeldahl J. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. Z Anal Chem 1883;22:366.
- [19] Van den Bosch, S., J. C. Guevara, F. M. Tacchini & O. R. Estevez. 1997. Nutrient content of browse species in the arid rangelands of the Mendoza plain, Argentina. Journal of Arid Environments 37: 285–298.
- [20] Gonzalez, C.I., and J.H. Everitt, 1982. Nutrient contents of major food plants eaten by cattle in the South Texas Plains. J. Range Manage. 35:733-736
- [21] Moseley G. 1995. Desarrollo de Sistemas de Producción de Fibras Finas a Partir de Guanacos Criados en Cautividad. Actas del 1º Seminario Internacional de Camélidos Sudamericanos Domésticos. E. Frank & C. Renieri (Eds). Universidad Católica de Córdoba, Argentina. Pp: 3 – 21.
- [22] Bonacic C. 1991. Características biológicas y productivas de los camélidos sudamericanos. Avances en Ciencias Veterinarias Vol 6, N° 2 Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile
- [23] Wilkinson, J.M. y B.A. Stark, 1987. The nutrition of goats. En: W. Haresign y P.J.A. Cole. Recent Advances in Animal Nutrition- 1987: 91-106. Butterworths, England.
- [24] Davendra, C. 1981. The goat in the humid tropics. In: Goat production. (Ed) Gall, C. Academic Press, Inc N.Y. USA pp. 557-573.
- [25] Elizondo, J. 2004. Consumo de sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) en cabras. Agronomía mesoamericana, año/vol 15, número 001. Universidad de Costa Rica, pp 77-80
- [26] Cabido M. 1999. Informes de Consultoría para el Proyecto de Conservación de la Biodiversidad, Administración de Parques Nacionales, G.E.F. y BIRT.
- [27] AOAC. 1970. Official methods of analysis. 11th ed. 1015 p. Association of Official Chemists. Washington DC., USA.
- [28] Muller, L. (1961). Un aparato micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba, 11: 17–25.
- [29] Borrelli P., 2001 Producción animal sobre pastizales naturales. Cap 5 pp 129-160. En Ganadería sustentable en la Patagonia Austral. Borrelli P. y G. Oliva Ed. INTA Reg. Pat. Sur 269 pp.
- [30] San Martín, F. 1991. Nutrición y alimentación. En: C. Novoa y A. Florez. Producción de Rumiantes Menores: Alpacas. Edición RERUMEN, Lima Perú.
- [31] San Martín, F. y F.C. Bryant. 1987. Nutrición de los camélidos sudamericanos: estado de nuestro conocimiento. Ed. Programa colaborativo de apoyo a la investigación en rumiantes menores. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.



# Caracterización de cenizas del volcán Peteroa

## RESUMEN

La actividad manifestada por el Volcán Peteroa durante el año 2010 con emisión de cenizas y aún vigentes en la actualidad motivó el estudio y caracterización de las mismas.

Las muestras correspondientes al año 2010-2011 fueron tomadas en la zona de Baños del Azufre, en el glaciar de la caldera, en la ladera este del Vc. Peteroa y en la ciudad de Malargüe. Se analizaron los datos correspondientes a cenizas emitidas por el volcán en el año 1991 en las zonas de Refugio El Azufre y proximidades del Arroyo Valenzuela en la desembocadura del Río Grande. También se analizaron muestras de estratos de cenizas correspondientes a un perfil estratigráfico en la orilla del arroyo El Peñón.

Se empleó para observar su morfología la microscopía electrónica de barrido SEM (Scanning Electron Microscope) y para determinar los elementos químicos presentes en las muestras el EDAX (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) que también permite establecer la concentración en que se encuentran.

Por otro lado también se empleó la técnica de Dispersión de Rayos X, XRD (X RAY Diffraction) para determinar las fases presentes y para la búsqueda de trazas, la técnica de luminiscencia por rayos X (XRL), X-Ray Luminescence.

Los indicadores físicos de análisis fueron: la densidad, el área específica y la granulometría de los distintos grupos de muestras. Los indicadores químicos de análisis utilizados fueron: Diagrama TAS, Índice de Saturación de Aluminio (ASI), Índice Agpaítico, presencia de Zn, Mn, Sr, S y U; Relación  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}$ .

Se realizó un análisis estadístico de componentes principales, separación de clusters y test de Tukey mediante el programa Statistica 7.

A. Scotti (1),  
Darío N. Torres (2).

1- ICES Malargüe-Argentina.

2- ICES Buenos Aires-Argentina CNEA. Centro Atómico Constituyentes. GAlYANN.

[adalgisascotti@icesmalargue.org](mailto:adalgisascotti@icesmalargue.org)

## INTRODUCCIÓN

La actividad registrada por el volcán Peteroa en setiembre de 2010 con emisión de cenizas motivó el estudio y caracterización de las mismas.

La Municipalidad de Malargüe representada por la Dirección de Defensa Civil y la Gendarmería Nacional recolectaron muestras de cenizas y de aguas. También colaboraron la Universidad Nacional de Cuyo en el muestreo de cenizas de perfiles estratigráficos, la CNEA Cuyo en datos de las cenizas del Peteroa de la erupción de 1991 y la Municipalidad de San Rafael en muestras de cenizas encontradas en el Distrito de El Nihuil.

Las muestras de las cenizas del Vn. Peteroa correspondientes al año 2010-2011 fueron tomadas por integrantes del grupo del ICES CNEA.

El interrogante que se presentó, fue determinar si la caracterización fisico-química de las cenizas del Peteroa encontradas en la bibliografía se correspondía con la actual, si esta caracterización era útil para diferenciar distintos tipos de cenizas volcánicas y si podría tener una impronta química detectable en la cuenca hídrica del lugar.

Nuestra hipótesis consistió en considerar que la caracterización de cenizas del volcán Peteroa mediante los métodos descritos podía ser utilizada para la identificación del volcán y el monitoreo de zonas contaminadas con metales pesados provenientes de cenizas volcánicas.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las cenizas del volcán Peteroa de las erupciones 2010-2011 y verificar su aplicabilidad en la identificación de cenizas encontradas y en el monitoreo de metales pesados de zonas de influencia del volcán.

Las definiciones de los indicadores empleados se describen a continuación:

Índice algaítico :  $K_2O + Na_2O / Al_2O_3$  (mol)

Índice de Saturación en Aluminio :  $Al_2O_3 / K_2O + Na_2O + CaO$  (mol)

Relaciones  $CaO/Na_2O$ ; y  $Al_2O_3/TiO_2$  (mol)

Estos indicadores son utilizados en la bibliografía para la caracterización de la roca madre (1,2,3,4,5)

### Objetivo General

Caracterizar las cenizas del volcán Peteroa

### Objetivos Específicos

Aplicar la caracterización en la identificación de otras cenizas encontradas y en el monitoreo de elementos químicos en zonas de influencia del volcán.

### METODOLOGÍA

Se analizaron muestras correspondientes a:

Muestras de cenizas del volcán Peteroa:

Las cenizas del volcán Peteroa fueron recolectadas en Baños El Azufre, glaciar de la caldera del volcán, ladera este del volcán, ciudad de Malargüe, también se analizaron datos de cenizas emitidas en el año 1991 en Refugio El Azufre y en las proximidades del Arroyo Valenzuela en la desembocadura del Río Grande (datos cedidos por Lic. Guido Tomellini CNEA Cuyo) (Figura 2).

Muestras de cenizas de volcanes no identificados:

Las muestras de cenizas de volcanes no identificados fueron tomadas del estrato 4, 7 y 14 del perfil estratigráfico en Arroyo El Peñón (Figura. 1), cenizas encontradas en las dunas de El Nihuil con características de fosilización y cenizas encontradas en el Puesto Don Soto de El Nihuil (Figura 3).



Figura 1- Perfil estratigráfico en la orilla del Arroyo El Peñón, mostrando los estratos de cenizas identificados como 14, 4 y 7.



Figura 2 Imagen satelital mostrando sitios de estudio.



Figura 3. Imagen satelital mostrando sitios de estudio en el Departamento de Malargüe y San Rafael.

Se consideraron indicadores para caracterizar al origen de la roca madre mediante Diagrama TAS, Índice de Saturación de Aluminio (ASI), Índice Apgaítico además de determinar presencia de Zn, Mn, Sr, S y U, Relación  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ ; y  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  .(1).

Se procedió a la caracterización fisicoquímica de las diversas muestras de cenizas. La metodología empleada para la caracterización incluyó determinaciones morfológicas y físico-químicas mediante granulometría, dispersión de Rayos X (XRD), luminiscencia de Rayos X (XRL) microscopía electrónica de barrido (SEM) y microanálisis (EDAX), absorción atómica, emisión atómica, fluorescencia laser y absorción molecular.

La separación de acuerdo a la granulometría se realizó por tamización y la medición de la densidad de los distintos grupos obtenidos fue realizada a una temperatura estable de 25° C.

Para la determinación de los elementos químicos presentes así como la morfología de las tefras se utilizó las variadas propiedades de la microscopia electrónica de barrido (SEM). Retrodifusión de electrones, mapeo de las partículas más relevantes así como el EDAX.

El análisis químico consistió en investigar óxidos mayoritarios, elementos traza, azufre, carbono orgánico total, pérdidas por ignición, contenido de agua y pH.

Se realizó previamente un análisis exploratorio de todas las muestras del presente estudio para determinar mediante estadística de componentes principales a qué tipo de roca se aproximaban las composiciones químicas de las distintas cenizas y determinar si era posible caracterizar de manera general las cenizas del volcán Peteroa sin importar la fecha de los eventos (6).

Se determinó mediante análisis de clusters y dendrograma la proximidad de las distintas muestras analizando los indicadores químicos (6).

Posteriormente se caracterizaron las cenizas del volcán Peteroa correspondientes a la erupción de setiembre de 2010.

Se utilizó para el análisis estadístico el programa Statistica 7(6).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis Exploratorio

Se realizó un análisis previo comparando los indicadores seleccionados: ISA; Índice Apgaítico; Relación  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  ; S; TAS para todas las muestras de cenizas. En la Tabla I se registran los resultados del análisis de los parámetros elegidos como indicadores ISA; Índice Apgaítico; Relación  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  ; S; TAS para las muestras de cenizas de los distintos sitios de estudio.



	2010 Peteroa glaciar 40555	2010 Peteroa ladera 40556	1991 Refugio El Azufre 7251	1991 Arroyo Valenzuela 7252	Nihuil Dunas 40507	Nihuil Puesto 41837	Perfil Estrato 14	Perfil Estrato 4	Perfil Estrato 7	Peteroa Ciudad Malargüe Mayo 2011
ISA	0,807	0,84	1,18	1,39	0,575	1,078	1,29	1,34	1,47	0,75
Indice Agnáitico	0,45	0,49	0,43	0,38	0,75	0,84	0,52	0,6	0,52	0,72
CaO/Na <sub>2</sub> O	2,37	2,15	1,44	1,43	2,08	0,16	0,65	0,37	0,38	1,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	12,6	13,05	17,1	17,76	24,7	24,8	14,9	15,67	12,18	12,27
S g% P/P	4	4,2	8,7	9,2	0,1	0,1	0,1	0,1	3,58	1,33
TAS	02	02	01	02	S2	S2	02	02	01	01
	meta- luminoso	meta- luminoso	pera- luminoso	pera- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	pera- luminoso	pera- luminoso	pera- luminoso	meta- luminoso

Tabla I. Resultados de los parámetros elegidos como indicadores para cada una de las muestras de cenizas de los sitios en estudio.

En la clasificación de TAS la identificación 02 corresponde a origen andesítico, la 01 corresponde a un origen andesítico basáltico y la S2 corresponde a un origen traquiandesítico basáltico (Figura 4).

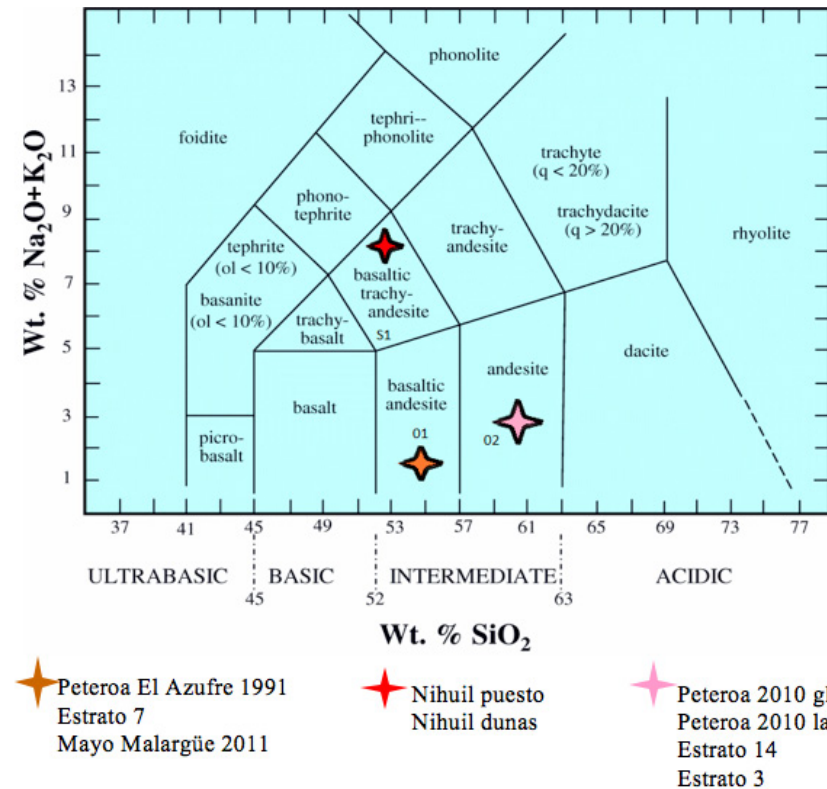


Figura 4. Diagrama TAS ubicación de cada una de las muestras de estudio en la región correspondiente a origen andesito, andesito basáltico y traquiandesito basáltico.

Los valores correspondientes al análisis químico de óxidos mayoritarios, S, carbono total y agua expresados en g% P/P, de cada una de las muestras se registran en la Tabla II.

compuesto químico	Nihuil Dunas	Peteroa glaciar	Peteroa ladera	Nihuil Puesto	Estrato 14 perfil	Estrato 4 perfil	Estrato 7 perfil	Peteroa Ciudad	R ígneas contin.	Arenisca	Esquistos arcillosos	Caliza
Si O <sub>2</sub>	62,2	60,1	62,1	62,1	58,9	60,1	55,4	55,1	59,14	78,33	58,1	5,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,9	12,4	12,7	12,7	15,2	14,4	13,7	13,8	15,34	4,77	15,4	0,81
Fe total expresado en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,1	5,4	4,7	2,3	5,8	4,6	7,1	6,4	3,08	1,07	4,02	0,54
Ca O	7	5,3	4,8	0,65	2,1	1,15	1,2	4,6	5,08	5,5	3,11	42,57
Mg O	2,8	2,2	1,5	0,65	2,2	1,25	1,45	2,3	3,49	1,16		7,89
Na <sub>2</sub> O	3,9	2,4	2,4	4,25	3,6	3,5	3,4	3,9	3,84	0,45	1,3	0,05
K <sub>2</sub> O	3,2	1,4	2	3,4	1,85	2,7	1,4	1,6	3,13	1,31	3,24	0,33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,21	0,16	0,14	0,25	0,21	0,22	0,06	0,3	0,08	0,17	0,04
Ti O <sub>2</sub>	0,41	0,77	0,76	0,4	0,9	0,72	0,9	0,9	1,05	0,25	0,65	0,06
S total	0,1	4	4,2	0,1	0,1	0,1	3,58	1,33	0	0,07	0,64	0,05
C total orgánico-elemental	0,12	0,27	0,24	0,5	0,46	0,6	0,7		0	0	0,8	0
H <sub>2</sub> O total (H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O+)	2,2	2,25	2,8	11,6	6,8	9,3	8,9		1,15	1,63	5	0,77
CO <sub>3</sub> = expresado en CO <sub>2</sub>	1,83	1,9	0,1	0,95	1	1	1,2		0,1	5,03	2,63	41,54

Tabla II. Resultados obtenidos de óxidos mayoritarios, carbono, azufre y agua para cada uno de los casos presentados y casos de referencia indicando los valores medios de rocas ígneas continentales, areniscas, calizas y esquistos arcillosos.

En la Tabla II se registran los valores de los resultados de óxidos mayoritarios, carbono, azufre para las muestras analizadas y también los valores medios de valores de estos compuestos para el caso de que se trate de rocas ígneas continentales, areniscas, esquistos arcillosos y caliza, (2,3).

Los resultados de las Tablas I y II se entraron en el programa Statistica-7 para el análisis de componentes principales, armado de cluster y gráficos de variables (6).

En la Figura 5 se observa que todas las muestras de cenizas se encuentran en la zona de rocas ígneas y esquistos arcillosos, pero las cenizas encontradas en la zona de dunas de El Nihuil están levemente separadas acercándose al área de areniscas.

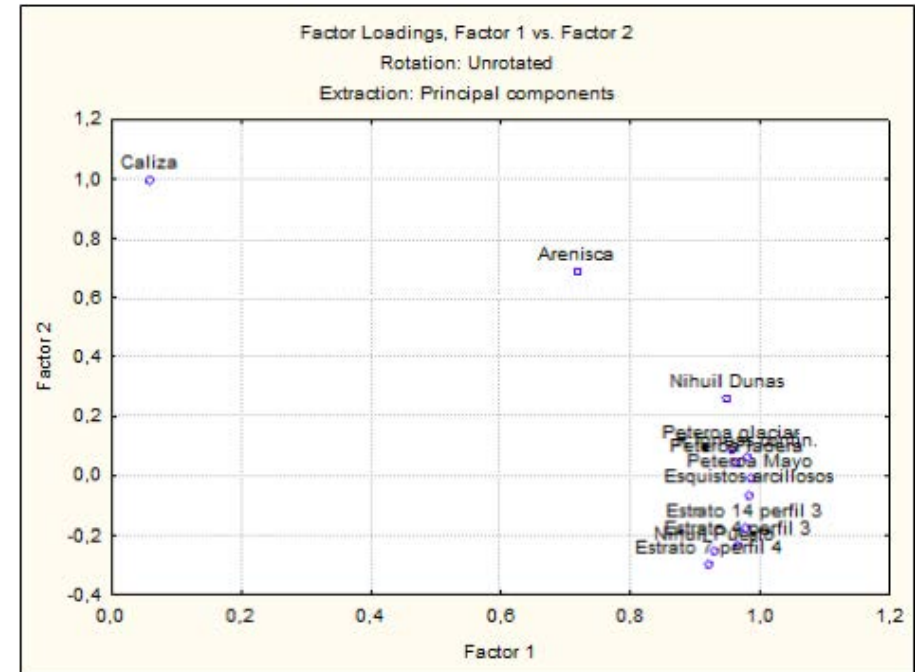


Figura 5. Gráfico de análisis de componentes principales representando la distribución de las muestras en el plano de coordenadas.

En la Figura 6 se observa de qué manera se agrupan las distintas muestras de cenizas según el análisis de los indicadores químicos detallados en la Tabla I

Analizando esta clasificación vemos como se modifican las características químicas en las diferentes erupciones del volcán Peteroa, a su vez se observa que las cenizas de las muestras de El Nihuil son marcadamente diferentes a las otras. Por otra parte las cenizas del estrato 7 del perfil estratigráfico (el más antiguo) (Figura 1) de la zona del Valle El Peñón muestran una gran similitud con las cenizas Peteroa recientes, mientras que los estratos 4 y 14 se encuentran más distantes.

### Caracterización de Cenizas del Peteroa erupción 2010

El análisis de los indicadores de la Tabla I para las muestras de cenizas correspondientes a la erupción de setiembre de 2010, muestran un ISA entre 0,81 y 0,84, origen metaluminoso, Índice aluminático entre 0,45 y 0,49, una relación entre CaO/Na<sub>2</sub>O



entre 2,37 y 2,15, una relación entre  $Al_2O_3/TiO_2$  entre 12,6 y 13,05, una concentración de S entre 4 y 4,2 y un origen de la roca madre andesítico. (Figura 4).

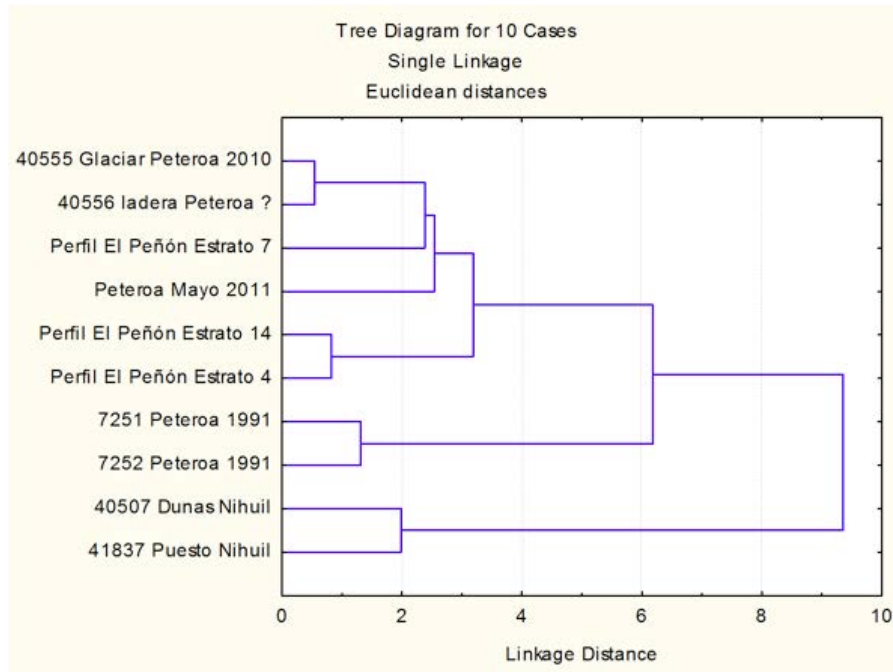


Figura 6 – Dendrograma de agrupamiento de muestras de cenizas volcánicas.

### El análisis de la densidad, granulometría arroja los siguientes datos

Las muestras estudiadas fueron separadas por tamización en seis grupos de acuerdo a su granulometría desde los tamaños más grandes, mayores de 250  $\mu m$  hasta las más pequeñas menores de 44  $\mu m$ . como se puede apreciar en el gráfico de la Figura 7.

Se puede observar que los grupos más representativos en cantidad de masa son los 3, 4 y 6 que implican tamaños de partículas entre 1149-105, 105-53 j < de 44  $\mu m$  respectivamente.

En la Figura 8. se puede apreciar las densidades que fueron medidas en los diferentes grupos donde no hay una gran dispersión del valor promedio que es del orden 2,71  $gr/cm^3$  que está cercano al valor de la densidad del dióxido de silicio,  $SiO_2$ .

Como se puede observar el grupo 2 es el que posee una densidad más baja de entre todos los grupos de tefras y eso se debe a que con la primera tamización todavía no se alcanzó a separar las impurezas presentes como maderas, pastos y rastros de material del tipo orgánico.

Queda en evidencia también que las partículas de materiales más pesados como tefras ferrosas, o con otro tipo de metales, presentes son poco representativas en función de la cantidad de masa de cenizas emitidas por el Volcán.

De la distribución de área específica en función de la granulometría se puede apreciar que de las partículas más pequeñas las que manifiestan tener mayor área son las del grupo 6 es decir las del tamiz más fino, esto está indicando la presencia de las vesiculaciones características (tubos por donde se escapa el gas durante el enfriamiento del material piroclástico) de este tipo de particulado, Figura 10.

En lo que respecta a los estudios realizados con SEM se pudo apreciar distintos tipos de partículas metálicas con retrodispersión de electrones. Entre las más llamativas, como se puede apreciar en la Figura 11, una típica partícula de material de fundición, escoria, pudiéndose identificar sus componentes a partir del EDAX, éste indica la presencia de fundamentalmente, un óxido de Fe, con su línea espectral característica K del Fe.

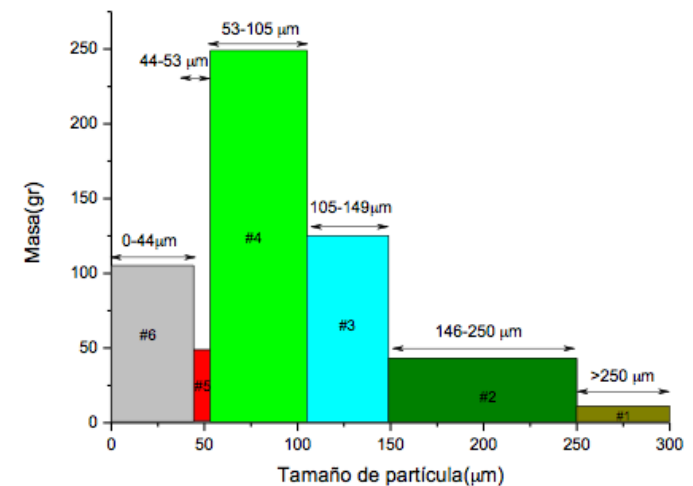


Figura 7. Distribución masa de tefras en función de la granulometría.

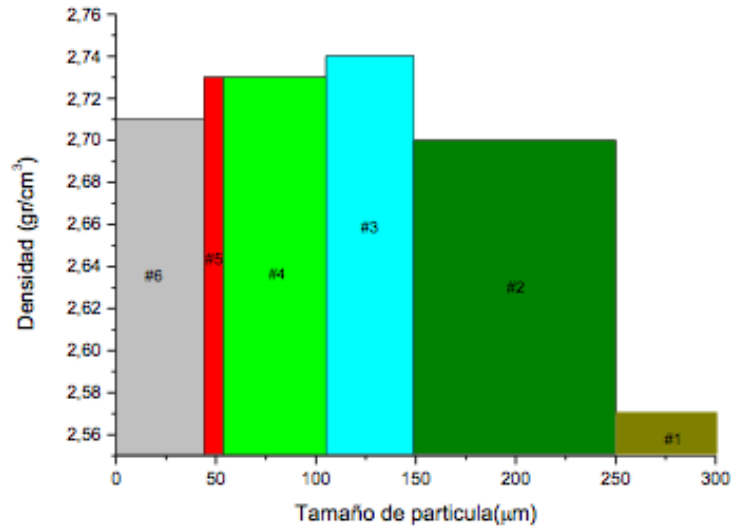


Figura 8. Distribución de densidades en función de la granulometría.

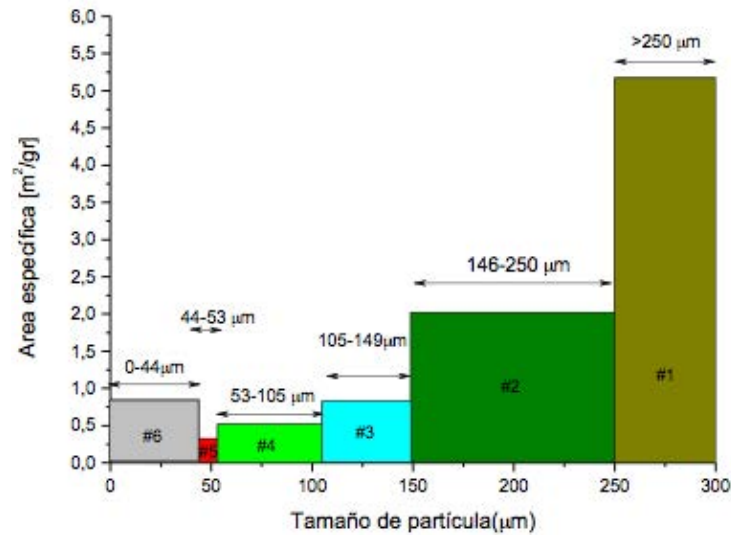


Figura 9. Distribución de Área específica en función de la granulometría.

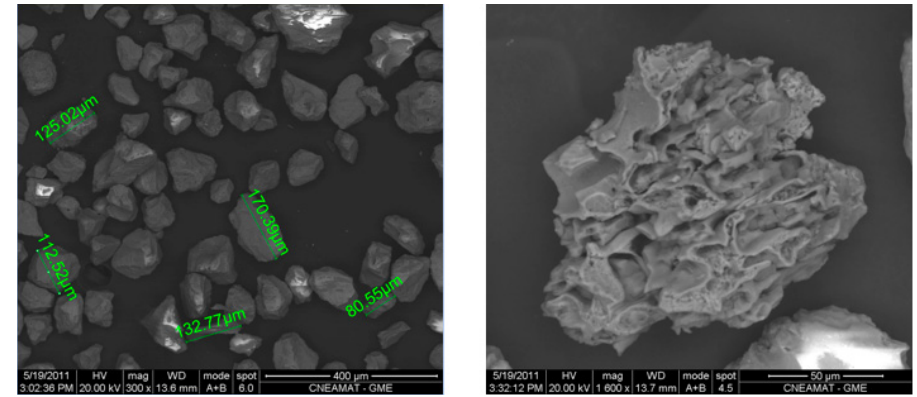


Figura 10. Distribución de tamaños y partícula de cenizas con vesiculaciones. Piedra pómez (SEM).

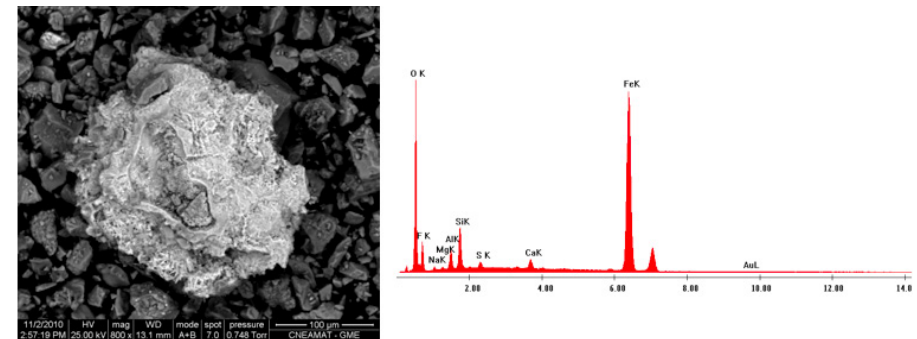


Figura 11. Típica partícula de escoria.

Otro de los novedosos aportes de la microscopía electrónica de barrido a este trabajo es detección de Au como se puede ver en la Figura 12. Las imágenes en gris claro que resaltan en la micrografía se deben a elementos metálicos en este caso Au en la cual se observan las líneas características espectrales L y M.

También utilizando SEM y la técnica de mapeo se pudo identificar los elementos presentes en una triza característica Figura 13.

Estas últimas imágenes de los elementos presentes se complementan con los análisis químicos que arrojan la presencia de los óxidos de estos mismos elementos.

El análisis de los óxidos mayoritarios para las dos muestras de cenizas del volcán Peteroa de la erupción del año 2010 arroja valores semejantes (Tabla III).

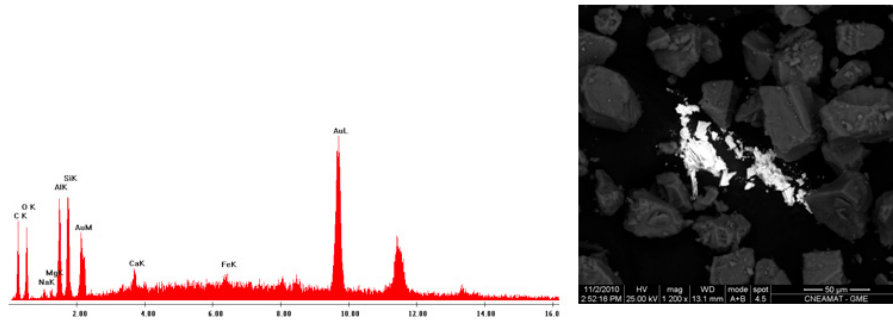


Figura.12. Partículas de oro metálico con sus líneas espectrales L y M características (EDAX)

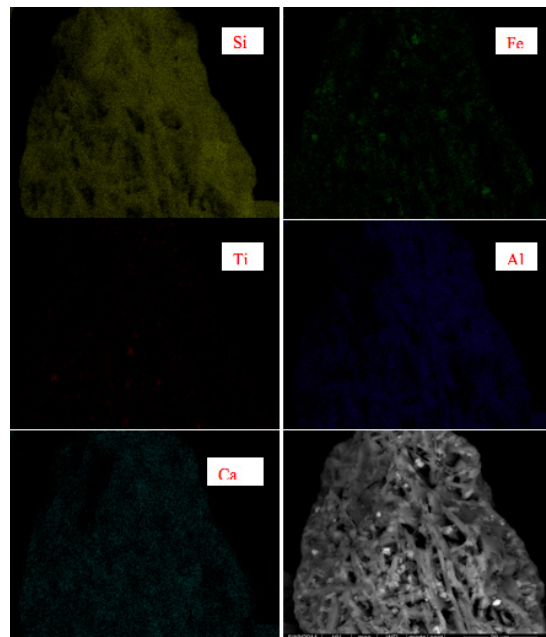


Figura 13. Mapeo de elementos presentes mas representativos fueron Si, Fe, Ti, Al y Ca.

PARÁMETRO	2010 glaciar			2010 ladera			
	(g/100g)	Moles	Moles %	(g/100g)	Moles	Moles %	
Si O <sub>2</sub>	(g/100g)	60,10	1	65,88	62,1	1,01	67,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(g/100g)	12,4	0,121	7,97	12,7	0,124	8,31
Fe total expresado en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(g/100g)	5,4	0,0338	2,22	4,7	0,029	1,94
Ca O	(g/100g)	5,3	0,095	6,26	4,8	0,086	5,76
Mg O	(g/100g)	2,2	0,0545	3,59	1,5	0,037	2,48
Na <sub>2</sub> O	(g/100g)	2,4	0,04	2,63	2,4	0,04	2,68
K <sub>2</sub> O	(g/100g)	1,4	0,015	0,99	2	0,021	1,4
Mn O	(g/100g)	0,08	0,0011	0,07	0,05	0,0007	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(g/100g)	0,21	0,00148	0,10	0,16	0,001	0,07
Ti O <sub>2</sub>	(g/100g)	0,77	0,0096	0,63	0,76	0,0095	0,64

Tabla III. Análisis de óxidos mayoritarios para las muestras de cenizas del volcán Peteroa de la erupción del año 2010.

Los análisis de óxidos mayoritarios realizados en las cenizas recolectadas en diferentes sitios mostraron homogeneidad en su composición andesítica.

	2010 glaciar (µg/g)	2010 ladera (µg/g)
U total natural	2,3	2,9
Mn	650	380
Pb	<20	<20
Ni	<10	<10
Co	20	20
Mo	<10	<10
Cu	10	20
Li	<10	<10
Zn	50	40
Cd	<10	<10
Sr	60	80
Ti	4.590	4.560
P	920	690
Cr	<10	<10

Tabla IV. Valores elementos traza para las cenizas correspondientes a la erupción del volcán Peteroa en el año 2010.

Los elementos traza, medidos por absorción atómica para Mn, Pb, Ni, Co, Li, Zn, Cd, Sr y Cr, fluorescencia laser para U y absorción molecular para Ti y P, mostraron los valores registrados en Tabla IV. Los valores de S medidos por gravimetría resultaron semejantes para ambas muestras de glaciar y ladera siendo de 4,0 y 4,2 g % respectivamente (Tabla I). Para ambas muestras el pH fue de ácido, registrándose un valor de 4.

En otro aspecto, se estudio por interferencia de luz láser el tamaño de partícula del grupo de cenizas de menor tamaño. Para esto se separo del grupo 6 (menores de 44  $\mu\text{m}$ ) una muestra que se colocó en  $\text{H}_2\text{O}$  formando una suspensión coloidal. El análisis de ésta solución arrojó la presencia de microcenizas de granulometría promedio del orden de 1 $\mu\text{m}$  (Figura 14).

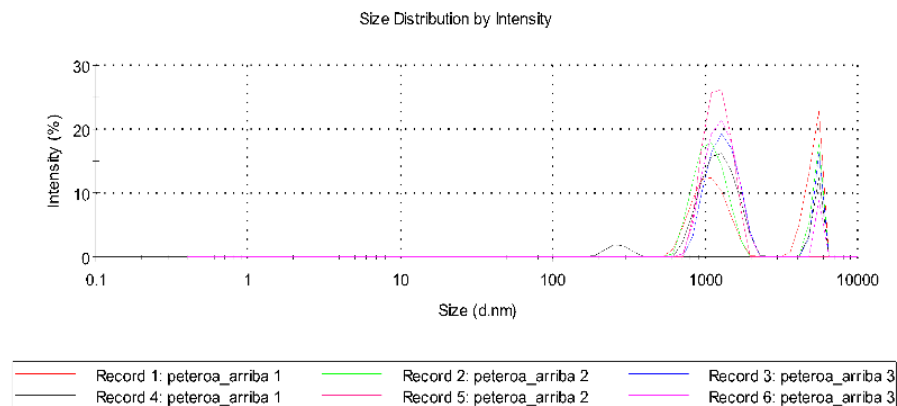


Figura 14. Gráfico de distribución de tamaño en función de la intensidad grupos de partículas del 1 $\mu\text{m}$ .

Como se puede apreciar en la Figura 15 se observa una distribución gaussiana alrededor de los 300 nm (en negro) esto estaría indicando que dentro del grupo de cenizas más pequeñas podría encontrarse una familia de menor tamaño las que se podrían llamar nanocenizas.

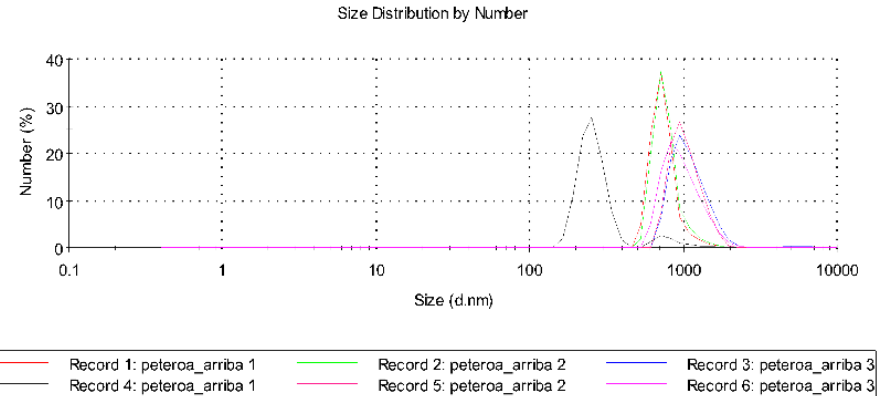


Figura 15. Se representa en número de partículas en función del tamaño. Una de las gaussianas, con color negro, se encuentra centrada alrededor de los 300nm.

## CONCLUSIONES

Mediante el análisis de las partículas con SEM se pudo observar la presencia de trizas vítreas con vesículas esféricas y tubulares y partículas vítreas respirables menores a 10  $\mu\text{m}$ .

Por interferencia laser se detectó familias de partículas de 1 $\mu\text{m}$ , microcenizas, y en posteriores experiencias se tratará de confirmar la presencia de nanocenizas.

Se determinó la presencia de Au mediante SEM.

Se encontró homogeneidad en la densidad promedio de partículas y presencia de microcenizas.

Fue concordante el mapeo mediante EDAX y absorción atómica de los elementos Al, Si, K, Ca, Mg, Fe, Ti, Na.

El análisis de los indicadores químicos muestra un ISA entre 0,81 y 0,84, origen metaluminoso, Índice agpático entre 0,45 y 0,49, una relación  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  entre 2,37 y 2,15, una relación  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  entre 12,6 y 13,05, una concentración de S entre 4 y 4,2 y un origen de la roca madre andesítico.

Para ambas muestras el pH fue ácido, registrándose un valor de 4.

Considerando el análisis exploratorio se puede concluir que las características químicas de las erupciones de los años 2010 y 1991 volcán Peteroa tienen distinto contenido en los óxidos mayoritarios.

Las cenizas de las muestras de El Nihuil son marcadamente diferentes a las del Peteroa y a las del perfil estratigráfico. Por otra parte las cenizas del estrato 7 del perfil estratigráfico (el más antiguo) de la zona del Valle El Peñón muestran una gran similitud con las cenizas Peteroa recientes, mientras que los estratos 4 y 14 se encuentran más distantes.

Esta caracterización permitió identificar cenizas de procedencia probable del volcán Peteroa y obtener un registro de elementos utilizable en el monitoreo de regiones contaminadas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] T. William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos. Editora Limusa. México. 1997. ISBN 968-18-1894-6 Massachusetts. Editora Limusa. México 1997
- [2] Dana, J. D. y Hurlburt, C. S. Manual de Mineralogía. Editorial Reverté.S.A. Barcelona 1960
- [3] Klein, C. y Hurlburt, C.S. Manual de Mineralogía. Editorial Reverté S.A. 4ºed.,5º imp. 1996. ISBN: 8429146067 ISBN-13: 9788429146066
- [4] Shand, S. J., 1927. The Eruptive Rock, John Wiley, 360 p., New York.
- [5] Zen, E., 1986. Aluminum enrichment in Silicate Melts by Fractional Crystallization: Some Mineralogic and Petrographic Constraints. Journal of Petrology 27(5): 1095-1117.
- [6] Statsoft. Statistica version 7. <http://www.statsoft.com>



# Avance de la urbanización hacia tierras con riesgo de inundaciones. Aportes al Ordenamiento Territorial del Ejido de Plottier. Provincia de Neuquén

## RESUMEN

El presente documento es el avance de tesis final para la Maestría en Ordenamiento Territorial con orientación en Planificación Estratégica, dictada por la Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo.

La temática propuesta hace referencia al avance de la urbanización de la localidad de Plottier, provincia del Neuquén, hacia zonas propensas a inundaciones. Los riesgos naturales han sido a lo largo de la historia desencadenantes de grandes catástrofes, con cuantiosas pérdidas económicas y humanas. En este caso el riesgo por inundaciones, en ciudades aguas abajo de las grandes presas, es objeto de estudio. Neuquén, capital de la provincia, actúa como foco nodal y gran receptor de población del interior de la provincia y de países limítrofes. Esta ciudad transita por un proceso de metropolización, generando una expansión urbana que supera sus límites municipales y provinciales. Plottier, Centenario y otras localidades rionegrinas próximas se ven influenciadas por el efecto derrame.

En este territorio, la especulación inmobiliaria es un factor fundamental a la hora de la selección del lugar de mayor rentabilidad, la falta de planificación, conlleva a la incompatibilidad y/o competencia de usos del territorio. Asentamientos en zonas de riesgo, pérdida de tierras productivas, son algunos de los efectos ante la falta de un ordenamiento territorial.

## M. Tesoniero (1,2)

1- *Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas. Cipolletti. Río Negro. Argentina*

2- *Universidad Nacional de Cuyo Parque General San Martín. Mendoza capital. Argentina. matesoni@yahoo.com.ar*

[mtesoniero@aic.gov.ar](mailto:mtesoniero@aic.gov.ar)

Sin embargo no se vislumbra una línea de acción que planifique esta situación, pudiéndose afirmar que se sigue construyendo en zonas propensas a inundaciones, quedando expuesta la población y sus actividades productivas. Ante esta situación, la importancia de este estudio radica en analizar el proceso de ocupación y apropiación del territorio y la posible afectación por crecidas extraordinarias del río Limay, aguas abajo del Dique compensador Arroyito, en los alrededores de la localidad de Plottier. De esta manera se contribuirá a la implementación de políticas de ordenamiento, favorables al desarrollo territorial del área.

## INTRODUCCIÓN

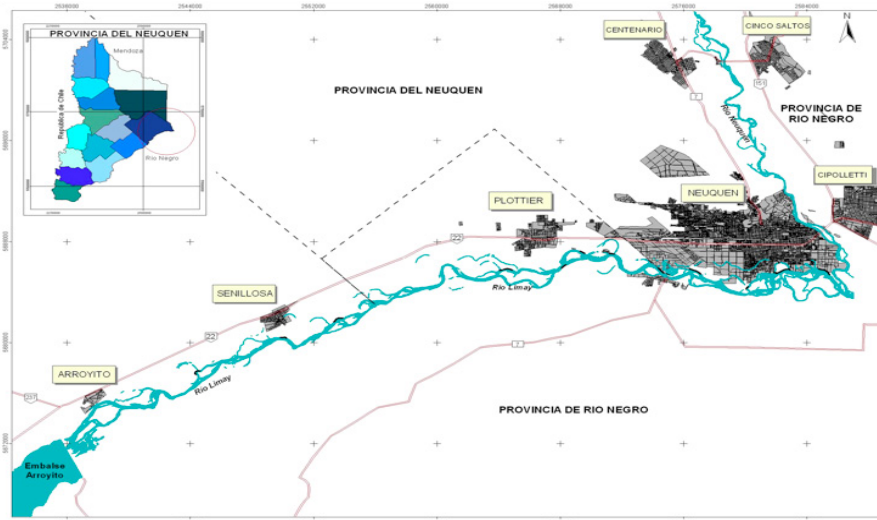
La temática propuesta hace referencia al avance de la urbanización en la localidad de Plottier, provincia del Neuquén, hacia zonas propensas a inundaciones; dado que en los últimos 10 años, la ciudad ha recibido los efectos de un proceso de metropolización de la capital provincial, distante 15 Km. de la misma.

Neuquén, capital de la provincia del mismo nombre, actúa como foco nodal y gran receptor de población del interior de la provincia y de países limítrofes, generando una expansión urbana que supera sus límites municipales. Las localidades de Plottier, Centenario y las ciudades de Río Negro: Cipolletti y Cinco Saltos (Ver Mapa 1) son las ciudades influenciadas por el efecto derrame, pudiéndose confirmar el proceso de metropolización ya mencionado.

Numerosos proyectos inmobiliarios se desarrollan sin considerar los posibles efectos que podrían sufrir la población y las actividades económicas. Aquí la especulación inmobiliaria es un factor fundamental a la hora de seleccionar la mayor rentabilidad, extendiéndose la mancha urbana, hacia zonas de riesgo y hacia tierras productivas. La falta de un ordenamiento territorial deja ver la incompatibilidad de usos y/o competencia entre los mismos.

Sin embargo no se vislumbra una línea de acción que planifique esta situación, pudiéndose afirmar que se sigue construyendo en zonas propensas a inundaciones, quedando expuesta la población y sus actividades. Ante esta situación se evidencia la necesidad de incorporar con mayor fuerza una normativa provincial y local referida al Ordenamiento Territorial. Esto permitiría conocer las zonas más adecuadas para la expansión urbana y para las actividades productivas, en concordancia con la dinámica natural de las planicies de inundación.

La importancia de este estudio radica en analizar el proceso de ocupación y apropiación del territorio y la posible afectación por crecidas extraordinarias del río Limay, aguas abajo del Dique compensador Arroyito. De esta manera se contribuirá a la implementación de políticas de ordenamiento, favorables al desarrollo territorial.



Mapa N° 1 Ubicación general de la localidad de Plottier

## METODO O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las metodologías utilizadas fueron de tipo cuantitativo y cualitativo, dado las características del presente informe. Para la demarcación de las Líneas de inundación se trabajaron con perfiles topobatemétricos y datos del modelo matemático principalmente. En tanto que para el relevamiento de usos el relevamiento fue mediante la observación directa de las parcelas del sector en estudio de las planicies de inundación del Río Limay. Como complemento a la observación en el campo, se utilizó tanto la teledetección, como entrevistas a pobladores del lugar y profesionales del INTA Alto Valle, que se encuentran trabajando en el área.

Para la primera etapa del relevamiento se realizaron salidas al campo donde se observó a nivel parcelario, sin acceder a cada explotación. El recorrido se realizó a través de picadas, caminos rurales o posibles huellas de acceso vehicular. Mientras que a los lugares donde no fue posible el acceso, dado las condiciones de accesibilidad u otros impedimentos, se obtuvo el uso del territorio, desde las imágenes satelitales y fotografía aéreas disponibles.

Luego de los relevamientos de campo y la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas, se sistematiza la información en un Sistema de Información Geográfico (SIG) <sup>1</sup> lo que permitirá el análisis, diagnóstico, posterior planificación y gestión de los datos de la información territorial.

Estas poderosas herramientas serán de utilidad para el manejo de la universalidad de la información, resolver problemas, administrar los datos geográficos automatizados y permitir la generación de un sin número de alternativas y posibilidades para la toma de decisión. La implementación en el ordenamiento territorial, contribuye a la planificación a corto, mediano y largo plazo para alcanzar el modelo territorial.

La utilización de los sensores espaciales, a través del tratamiento digital de las imágenes, proporciona una valiosa información, para análisis temporal permitiendo medir la magnitud del avance de la urbanización y la evolución de este sector del territorio neuquino, en relación a los cambios de usos del territorio.

<sup>1</sup> ArcView ESRI

Cabe aclarar que la clasificación de los usos utilizada, no responde exactamente a ninguna clasificación standard o convencional, sino que ha sido adaptada según el relevamiento realizado a los efectos de representar de la mejor manera los usos que cubren las mayores superficie en el área relevada.

### **Planteo del Problema**

El desarrollo territorial es el proceso de cambio progresivo, que propicia la armonía entre el bienestar de la población, el uso del territorio, la conservación y protección de los recursos naturales y las actividades productivas, a efecto de lograr el mejoramiento en la calidad de vida de la población, bajo un enfoque de sostenibilidad.

Distintos fenómenos pueden representar una amenaza para el desarrollo de las actividades del hombre, es decir la amenaza aparece cuando hay condiciones de vulnerabilidad de una ciudad o lugar determinado, cuando hay vidas humanas o actividades económicas involucradas. En tanto el riesgo esta en función de ambas (amenaza y vulnerabilidad) es un proceso dialéctico y continuo, la magnitud de la amenaza y la condición de vulnerabilidad de la población dará el la condición o no riesgo.

La provincia del Neuquén, en especial su capital y las localidades aledañas, en las últimas décadas, han sido objeto de incrementos en la presión antrópica sobre el medio natural. El rápido crecimiento de la población ha generado procesos de metropolización, alternando las zonas periféricas, de baja densidades y las centralidades secundarias. En este caso, el análisis se basa en la expansión hacia tierras ribereñas, sujetas al riesgo de inundación.

Los cambios en los usos de tierras tradicionalmente productivas, han llevando a su paso modificaciones irreversibles, lo que ha provocando conflictos ambientales y sociales. Los innumerables proyectos inmobiliarios (barrios privados) como así también las actividades relacionadas con la extracción de áridos, la recreación y esparcimiento, van en detrimento de una de las actividades productivas (fruticultura) básicas de la región del Alto Valles <sup>2</sup>.

La implementación de políticas de Ordenamiento Territorial, favorables a la gestión pública y privada deben desmotivar los asentamientos y la construcción en zonas propensas a inundarse. Plantear alternativas sobre el uso del territorio, a través del diseño de planes interdisciplinarios e intersectoriales, que incluyan tanto los aspectos sociales, económico, ambientales, legales, entre otros tantos a la hora de fomentar el desarrollo territorial sustentable.

El sector en estudio cuenta con dos usos del territorio fundamentales, el primero corresponde al uso urbano, constituido por las localidades de Plottier próxima a unos 15 Km. de la capital provincial (Neuquén). El segundo correspondiéndola uso rural, siendo la fruticultura la actividad económica que dio origen a la región de los valles. Ambos usos se encuentra en permanente conexión y la complejidad en los sectores de contacto es justamente donde se observa una "competencia" por los usos.

### **Análisis de Datos**

Las cuencas, ámbito de acción de la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay Neuquén y Negro (AIC), cuenta con numerosos eventos de crecidas; el cuadro N° 1 muestra una serie de caudales representativos para la época de deshielo entre los meses de Junio, Julio y Agosto, para el período 1978-2009, correspondiente al área en estudio y con caudales que superan el referente a Línea de ribera.

La existencia de estas obras hidráulicas, permite moderar los efectos de las crecidas naturales del río Limay, disminuyendo la amenaza de inundación, aguas debajo de la presa. Con posterioridad a la construcción de las obras hidroeléctricas y dada la regulación de los caudales, han propiciado el avance en la ocupación de la planicie de inundación tanto para usos residenciales, como recreacionales y productivo entre otros.

A lo largo de las cuencas de los río Limay, Neuquén y Negro, existen experiencias relacionadas con la puesta en marcha del Sistema de Emergencias Hídricas. En respuesta a ello los municipios han ido avanzando de manera desigual. Por tal motivo es fundamental la integración, la interdisciplinariedad, efectiva de los organismos para considerar el riesgo de desastres en las políticas, los planes y los programas del desarrollo sustentables, con especial énfasis en la prevención, la mitigación y la preparación para afrontar una emergencia.

2 *Denominación zonal a la confluencia de los río Limay y Neuquén.*

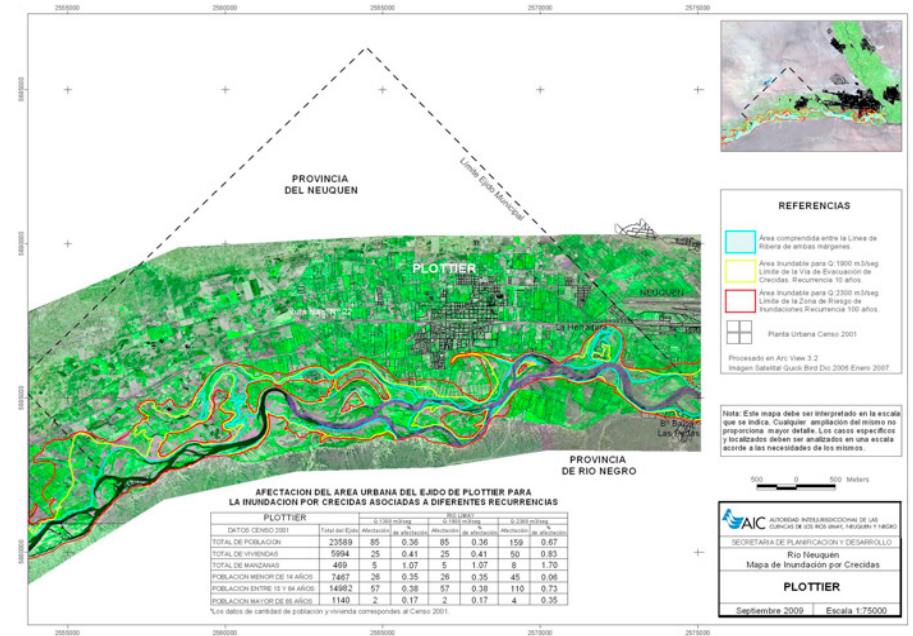
Año	Caudal en m3/seg
1978	1432
1980	1300
1982	1765
1984	1341
1985	1446
1987	1660
2001	1746
2006	1650
2009	1400

Cuadro N° 1: Datos históricos de caudales extraordinarios, erogados por la Presa Arroyito. Fuente: en base a datos proporcionados por la SOyF - AIC

La AIC es integrante de la Plataforma Nacional para la Reducción de Riesgo de Desastre, y lleva adelante la implementación del Sistema de Emergencias Hídricas de la cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro. Elabora y diseña además, los planes de contingencia para resguardar la vida de las personas, sus bienes y actividades. Dichos planes son entregados y actualizados periódicamente, siendo responsabilidad de los municipios la implementación y puesta en marcha, de las estrategias para la reducción de la vulnerabilidad de la población.

En este contexto y con el objeto de lograr un ordenamiento del territorio, es necesario introducir un concepto más ajustado a la realidad, para lo cual la Línea de Ribera y Conexas, son una herramienta técnica, legal y administrativa, fundamental para la toma de decisiones en lo referente a la gestión del recurso hídrico.

Dichas líneas han sido determinadas previo consenso con las tres provincias intervinientes en la cuenca del río Limay, Neuquén y Negro, por ser los ríos intervinientes límites provinciales. Dichas líneas se encuentran referenciadas por tres recurrencias que definen el accionar del hombre en el uso del suelo, debiendo mantenerse como fundamento de base, la dinámica natural del río y su entorno, para evitar el avance hacia tierras con riesgo de inundación.



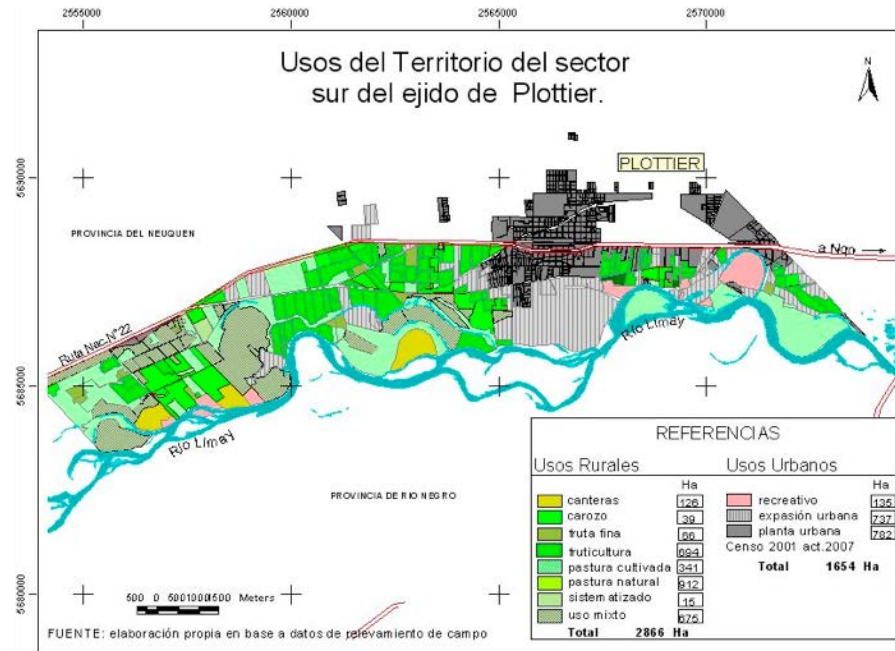
Mapa N° 2 Mapa de Inundación por Crecidas. Ejido de Plottier

### RESULTADOS

Dado que el presente informe se encuentra en proceso, debe entenderse que los resultados son provisorios. Al momento se ha recopilado información existente en la AIC referidas a las líneas de inundación y conexas <sup>3</sup> así también, información legal y estadística del área. Esto ha permitido obtener los primeros resultados a cerca de la espacialización de las posibles inundaciones y cantidad de población y viviendas posiblemente afectadas. (Mapa N°2)

Además se ha relevado, zonificado y cartografiado los usos del territorio (Mapa N°3) y la infraestructura de servicios y equipamiento, además se generó información de hectáreas asignadas a cada uso, obteniéndose los resultados del cuadro que aparecen en dicho mapa. Como se puede observar en datos totales los usos rurales duplicar los relacionados a las actividades urbanas, sin embargo el dato a resaltar es la cantidad de hectáreas que cubre la planta urbana (782Ha) en relación a la cantidad

3 Información generada por la autora en la AIC para proyectos anteriores



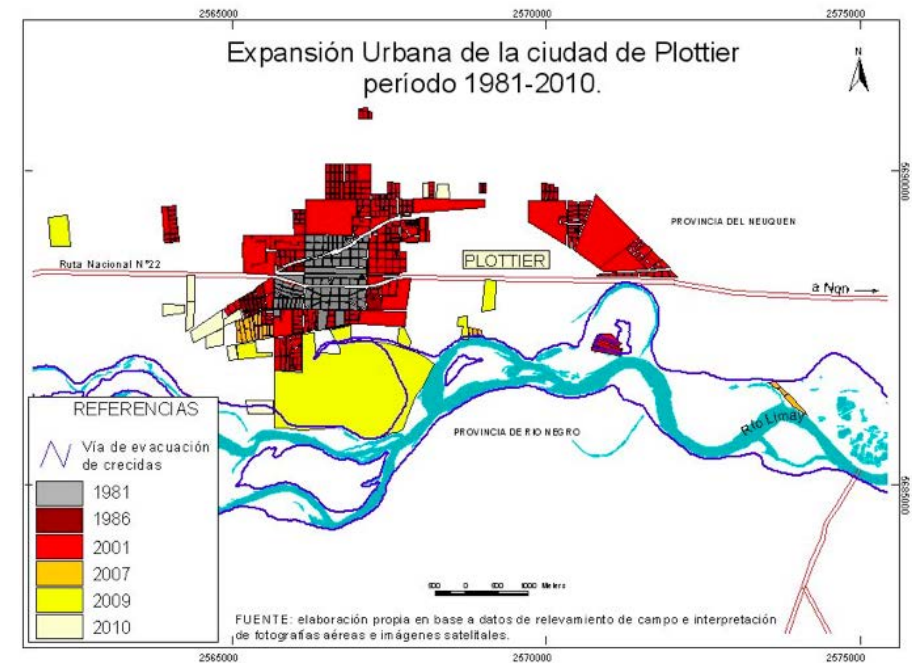
Mapa N° 3

Otro de los resultados obtenidos hasta el momento, es la información referida al avance de la urbanización hacia las áreas de mayor riesgo de inundaciones. Esta primera comparación surge del análisis histórico a través de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Además, en este caso se decidió agregar a modo de sumar datos a el análisis, Vía de Evacuación de Crecidas por considerarse se suma importancia.

En este caso (Mapa N° 4) podemos observar como se ha expandiendo la trama urbana desde el centro de la ciudad, a ambos lados de la ruta N° 22, hacia el Norte y hacia el Este en los primeros 20 años de análisis 1981-2001. Sin embargo a partir del 2001 la expansión se observa hacia el Sur y hacia el Sureste, aproximándose al área de riesgo de inundación del río Limay.

Por este motivo se superpone en el mapa la línea de Vía de Evacuación de Crecida, dado que se la define como "...aquellas partes del cauce y de las planicies de inundación donde puedan escurrir crecidas que tengan una recurrencia pronosticable

(5,10, 25, etc., años), sin un incremento significativo de la altura de inundación. Los usos dentro de la vía de evacuación de crecidas deben limitarse a la agricultura, recreación y usos de espacios abiertos" 4.



Mapa N° 4

**CONCLUSIONES**

Se espera que la información teórica y técnica-cartográfica generada y a generar, sea una herramienta de aporte al Ordenamiento Territorial y a la gestión de la localidad de Plottier siendo posible determinar la distribución espacial de las inundaciones y los usos afectados, con la finalidad de acordar y priorizar intervenciones para disminuir la vulnerabilidad de la población y sus bienes.

4 David N. Drasckler - Jorge A. P. Fouga 1996



La implementación de políticas de Ordenamiento Territorial, favorables a la gestión pública y privada deben desmotivar los asentamientos y la construcción en zonas propensas a inundarse. Plantear alternativas sobre el uso del territorio, a través del diseño de planes interdisciplinarios e intersectoriales, que incluyan tanto los aspectos sociales, económico, ambientales, legales, entre otros tantos a la hora de fomentar el desarrollo territorial sustentable, es decir una planificación estratégica, orientado a fijar las bases de una acción integrada.

Los Mapas de Afectación por Inundaciones, como cartografía síntesis, serán una herramienta de aplicación al Ordenamiento Territorial, para realizar una propuesta en la identificar las áreas con aptitud para usos urbanos, sin riesgo de inundaciones, y áreas a preservar para continuar con la producción frutícola del ejido.

## REFERENCIAS

- (1) F. Ayala-Carcedo, 1993. Estrategias para la reducción de desastres naturales, Investigación y Ciencia 200: 6-13. Barcelona
- (2) Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay Neuquén y Negro, 2001 Sistema de Emergencias Hídricas y Mitigación del riesgo. El control de las crecidas. Cipolletti. Argentina
- (3) C. Beecher y otro, 2005. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, Ciudad de Plottier. Lic. En Saneamiento Ambiental. UNCOMA. Neuquén
- (4) A M. Camarasa Belmonte, y otros 2008 Peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación en ramblas mediterráneas: Los llanos de Carraixet y Poyo. España
- (5) J.A.P Fougá, 2000 Ordenamiento de la zona de ribera. Mitigación del riesgo y estrategias de prevención para emergencias hídricas. Trabajo inédito. AIC
- (6) David N. Drasckler, Jorge A. P. Fougá 1996 Línea de ribera criterios aplicados para su determinación. en XVI Congreso Nacional Del Agua-San Martín de los Andes - Neuquén
- (7) D. Gómez Orea, 2004. Desarrollo Sostenible del Territorio VII Congreso Nacional del Medio Ambiente – Madrid; España
- (8) D. Gómez Orea, 2002 Ordenación Territorial. Ediciones Mudi-Prensa y Editorial Agrícola Española, S.A, Madrid
- (7) Informe preeliminar INTI, 2009 Proyecto Matadero China Muerta
- (8) M. Mardones, C. Vidal, 2001 La Zonificación u evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológicos: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. Santiago EURE v.27 N° 81
- (9) G. Murúa Aguirre, 2005 La valoración de los Riesgos en la Ordenación del Territorio: Metodología Practica . Boletín de la A.G.E N° 40 Pág.393-405
- (10) M.F Pita. y otros, 1999 Riesgos Catastróficos Ordenación del Territorio en Andalucía. Sevilla. Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- (11) María de los Ángeles Tesonero, 2011 Relevamiento de Usos del Territorio. Río Limay: tamos Arroyito-Confluencia y Río Neuquén: tramo Chañar-Confluencia. SPyD. AIC. Cipolletti

# Análisis de la variabilidad climática del Oasis Norte de Mendoza y su relación con eventos de origen hidrológico-geológico. Propuestas de gestión

## 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 (como granizos y vientos Zonda) que impactan directamente sobre la sociedad y las economías locales.

Las causas de los desastres naturales relacionados con inundaciones y sequías tienen origen en períodos cíclicos de ocurrencias extremas de precipitaciones de lluvias, seguidas normalmente por extensos períodos de sequía. Otro desastre meteorológico es el aluvión, que se produce cuando las lluvias estivales son torrenciales y caen en áreas con pendientes pronunciadas, destruyendo todo a su paso. Esto es lo que ocurre en el Piedemonte de la ciudad de Mendoza y alrededores, con efectos devastadores tal cual lo demuestra su corta historia.

En este trabajo se realizó una recopilación de eventos a partir de archivos históricos, diarios, publicaciones, informes, etc, los cuales fueron catalogados y ordenados utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), y cartografía digital. Se pretende con esta contribución establecer un marco histórico de sucesos desastrosos relacionados a eventos climáticos, a los efectos de establecer proyecciones a futuro.

J. Torres (1),  
H. Cisneros (1,2,3),  
Y. Capellozza (1),  
G. Donaire (1),  
S. López L. (1),  
R. Laudecina (1),

P.Torres (1),  
E. Silvestrini (1),  
M. Castillo (1),  
V. Bravo (1),  
S. Fermani M. (1)

1- *Secretaría de Investigaciones, Universidad de Congreso, Mendoza, Argentina,*

2- *Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis*

3- *Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Cuyo*

[jatl61@yahoo.com.ar](mailto:jatl61@yahoo.com.ar)

La búsqueda de propuestas se basó en criterios de coincidencias con el ambiente socio-geográfico, la viabilidad y que su aplicación pueda hacerse a medida de que se implemente la misma buscando prevenir, mitigar y paliar el impacto ambiental, disminuyendo los riesgos naturales tratado en este trabajo.

Se encontró que dentro de este criterio de búsqueda 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.

## Palabras Clave

Riesgos naturales. Aluviones. Mendoza. Gestión ambiental.

## INTRODUCCIÓN

Las variables planteadas del tipo naturales (climática, hidrológica y geomorfológicas) y antropogénicas (crecimiento urbano) tiene el objetivo de conjugarse para mostrar el riesgo aluvional al que siempre estuvo sometido el área urbanizada de Mendoza, convertida actualmente en una metrópolis. Se puede decir que la variables naturales son una constante pero la variable antropogénica ocasionada por la actividad y asentamiento del hombre es la que puso y pone hoy en día en un riesgo mayor al no tener medidas eficientes y eficaces de prevención y mitigación del riesgo aluvional.

Como se dijo anteriormente no se han respetado las normas y leyes dictadas [1], sobre el piedemonte donde la ley n°4886 habla del mismo como área de reserva donde en el artículo 2 refiere a evitar la degradación el progresivo deterioro del ambiente, o la ordenanza municipal de Lujan de cuyo n°1577/99 donde la denomina zona de reserva del piedemonte (ZRP) mencionando una planilla donde se encuentran los emprendimientos permitidos y los no permitidos, entre otros. Hoy en día la ley 8051 de ordenamiento territorial está conteniendo a las demás del mismo tipo pero el problema es que su implementación es mucho más lenta que la expansión urbana.

A este crecimiento desmedido y desorganizado se le agrega la falta de obras hidráulicas mayores y menores que amplíen y estén al nivel de esta metrópolis. Los riesgos no solo se plantean en la zona pedemontana sino también aguas abajo donde se producen inundaciones de las tierras cultivadas.

La problemática se presenta en las decisiones políticas de la provincia por su falta de claridad y determinación, en el área técnica por falta de medidas de prevención desde las etapas del planteamiento de los proyectos y finalmente el área administrativa municipal donde existe un gran desorden y medidas confusas que también son afectadas por los desencuentros sobre los límites intermunicipios todo esto propiciando el aumento del riesgo de aluviones que causen no solamente daños en las estructuras sino también a las personas.

Se plantea con esta contribución mostrar los avances de un proyecto de investigación acreditado de la Universidad de Congreso para la confección de propuestas de gestión ante los Riesgos Naturales

### **MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES**

Los desastres naturales relacionados con el clima son parte de la historia de Mendoza, encontrándose algunas estadísticas de ellos desde el siglo XIX en forma regular, en especial aquellas relacionadas con eventos meteorológicos característicos de la zona geográfica del oasis norte de Mendoza. Los efectos de estos eventos meteorológicos son los que nos interesa tratar como aluviones, viento zonda y granizos que impactan en la economía local y en la sociedad misma llegando a afectar la propia vida de los habitantes.

Entre las variables que influyen para que estos riesgos nombrados se conviertan en un peligro potencial además del clima interviene las características hidrológica, geológica y por supuesto la urbanización como variable antropica.

Cuando se habla de clima se está hablando de un concepto de macro escala donde el mismo es un valor promedio.

Acotando al Oasis Norte se distingue el predominio del clima seco desértico con una zona aislada en su interior del clima seco de estepa; y a medida que se eleva el terreno pasa a clima polar de tundra hasta llegar al clima polar de hielos eternos. [2] El tiempo meteorológico es la situación actual de la atmósfera en un lugar determinado. Los eventos meteorológicos característicos de Mendoza son: tormentas convectivas de verano, viento zonda, y granizadas

### **Aluvión**

Este fenómeno en el que se produce un incremento de descarga de agua se denomina aluvión. Estas son crecientes violentas, con altas velocidades de escurrimiento que transportan cantidades de material sólido (sedimentos de diferentes granulometrías, restos de vegetación y materiales de desecho que se acumulan en el piedemonte mendocino.

Los antecedentes sobre los aluviones datan de finales de siglo XVII, y según documentos las aguas del zanjón inundaban en las épocas estivales, la ciudad fundacional. Se sabe que algunas partes de Cabildo se vieron afectadas en varias ocasiones. Algunos casos importantes de catástrofes aluvionales en la historia mendocina son:

- 1716: una gran inundación destruyó gran parte de los edificios céntricos.
- 1754: una inundación puso en peligro a los pobladores de la vieja ciudad fundada en 1561
- 1895: Las aguas arrasaron un vasto sector de la sección Oeste. Los daños fueron cuantiosos, casas destruidas, 21 muertos, entre ellos niños.
- 1900: una crecida en el Río Mendoza destruye parte del Dique Luján, hoy Cipolletti, y deja sin agua al canal Zanjón que proveía a la ciudad.
- 1920: 18 de enero, una crecida en el Río Mendoza destruye parte de las obras de defensa existentes en La Toma.

- 1934: Cacheuta: Las víctimas sobrepasó las 20 personas y los daños se estimaron en más de U\$S 250.000.
- 1954, 1956 y 1957: se produjeron considerables crecidas en el río Mendoza que provocaron daños especialmente en las zonas de Cacheuta y Potrerillos.
- 1959: una intensa lluvia, caída en las cerrilladas del oeste y sobre la ciudad misma, provocó inundaciones y daños en el centro de Mendoza. Las pérdidas económicas fueron superiores a los U\$S 220.000.
- 4 de enero de 1968: En Las Heras, pérdidas de U\$S 435.000. En el departamento de Tupungato, las pérdidas se estimaron en U\$S 2.150.000.
- 4 de enero de 1970: Hubieron 24 víctimas fatales y de 1500 a 2000 accidentados. Los daños materiales superaron los U\$S 23.0000.000. Se produjeron pérdidas millonarias por inundaciones en Chacras de Coria, Vistalba, Costa de Araujo y Perdriel

### Historia ambiental de Mendoza: los aluviones

El Piedemonte de la ciudad de Mendoza, tiende a alojar y sostener procesos geológicos de orden interno y externos relacionados a eventos sísmicos y aluvionales, entre otros. Ante la creciente y descontrolada urbanización que la ciudad de Mendoza está soportando, gran parte de la población está desplazándose hacia áreas de importante pendiente, producto de fenómenos relacionados con eventos pluviométricos estivales donde se activan fenómenos de remoción en masa. Estos procesos junto a otros de menor orden, pero no así menos importantes, colocan a un núcleo de habitantes en Riesgo Geológico. Dentro de las distintas clasificaciones de Remoción en Masa, se opta por aquellas que incluyen los procesos de Inundación de detritos (debris flood-DF)-[3], entendiéndose a estos como formados por eventos pluviales extraordinarios, con una gran carga de material detrítico en suspensión, que da como resultado flujos acuosos de muy alta densidad. Estos sucesos han sido y son recurrentes en el sitio en estudio. Resultan éstos de una combinación de factores, entre los cuales se enfatizan la pendiente, topografía, litología, pluviometría, entre otros. Estos eventos de DF son frecuentes durante periodos estivales ocasionados por fenómenos de precipitaciones muy cortas temporalmente con gran volumen de agua liberado como escorrentía superficial que en combinación con una importante pendiente, dan ocurrencia a avenidas de material aluvional de tamaño heterogéneo, que surcan el oeste de Mendoza, desplazándose desde zonas de alta pendiente o área fuente, a zonas de baja pendiente buscando un equilibrio sedimentario dentro de la cuenca.

Los antecedentes sobre los aluviones datan de finales de siglo XVII, y según documentos las aguas del zanjón inundaban en las épocas estivales, la ciudad fundacional. Se sabe que algunas partes de Cabildo se vieron afectadas en varias ocasiones. Algunos casos importantes de catástrofes aluvionales en la historia mendocina son:

- 1716: una gran inundación destruyó gran parte de los edificios céntricos, entre los que se hallaba la iglesia de Nuestra Señora de Loreto.
- 1754: una inundación puso en peligro a los pobladores de la vieja ciudad fundada en 1561
- 1895: luego de varios días de lluvias que afectaron la zona de cordillera y la ciudad, el 8 de enero, cerca del mediodía, se precipitó con gran fuerza el agua que bajaba del piedemonte, por el río Mendoza y sus canales derivadores. En cuestión de minutos, las aguas arrasaron un vasto sector de la sección Oeste. Los daños fueron cuantiosos, casas destruidas, árboles caídos y el saldo aterrador de 21 muertos, entre ellos niños.
- 1900: una crecida en el Río Mendoza destruye parte del Dique Luján, hoy Cipolletti, y deja sin agua al canal Zanjón que proveía a la ciudad. Dos días después, una fuerte lluvia caída en las serranías del oeste, provocó una avenida torrencial que inundó propiedades, viñas y casas.
- 1920: el 18 de enero, una crecida en el Río Mendoza destruye parte de las obras de defensa existentes en La Toma. El hecho se repite el 31 de Enero del mismo año, provocando nuevamente pánico en la población.
- 1934: Cacheuta: en la tarde del miércoles 10 de enero de 1934, después de varios días de intensos calores y como consecuencia del deshielo y fuertes tormentas, se desencadenó en la cordillera un aluvión de terribles proporciones. La causa principal fue el desprendimiento de una enorme porción del glaciar llamado "El Plomo" que se precipitó sobre los ríos Tupungato y Mendoza. Ese día a las 19:30, se comunicó desde la estación Zanjón Amarillo que desde las Vacas el agua bajaba a una velocidad de 30 km por hora. A su paso, la enorme masa líquida destruyó el camino y las vías del ferrocarril trasandino. El número de víctimas sobrepasó las 20 personas y los daños se estimaron en más de U\$S 250.000.
- 1954, 1956 y 1957: se produjeron considerables crecidas en el río Mendoza que provocaron daños especialmente en las zonas de Cacheuta y Potrerillos.
- 1959: una intensa lluvia, caída en las cerrilladas del oeste y sobre la ciudad misma, provocaron inundaciones y daños en el centro de Mendoza. El comer-

cio resultó muy perjudicado pero no se registraron víctimas. Las pérdidas económicas fueron superiores a los U\$S 220.000.

- 1968: el 4 de enero se produjo otro evento de importancia en el departamento de Las Heras. Las pérdidas fueron calculadas en U\$S 435.000.
- 31 de diciembre de 1959: Daños superiores a los U\$S 220.000.
- 4 de enero de 1968: En Las Heras, pérdidas de U\$S 435.000. En el departamento de Tupungato, las pérdidas se estimaron en U\$S 2.150.000.



Figura 1: Rotura del dique Frías. Foto Diario Mendoza 1970

- Aluvión del 4 de enero de 1970: Una calurosa tarde del domingo 4 de enero, luego de la lluvia estival en los cerros del sudoeste de la ciudad de Mendoza, un fuerte aluvión bajó. El primer llamado de emergencia comenzó en la zona del zanjón de los Ciruelos. Luego, el Canal zanjón Frías cedió y el torrente, que se calculó en unos 300 metros cúbicos por segundo, inundó parte del Palacio de Gobierno, arrastrando automóviles, rompiendo algunos puentes que cruzaban el canal. Las aguas siguieron bajando por la Avenida San Martín, llevándose a su paso toda clase de elementos e inundando los negocios.



Figura Nº 2: Aluvión de 1970. Foto Diario Mendoza (mismo año)

En la destrucción del dique Frías, hubieron 24 víctimas fatales y de 1500 a 2000 accidentados. Los daños materiales superaron los U\$S 23.000.000. Se produjeron pérdidas millonarias por inundaciones en Chacras de Coria, Vistalba, Costa de Araujo y Perdriel. También se perdieron cosechas, lo que en algunos lugares fue total. Referente a la red vial, solamente en reparación de caminos destruidos debieron invertirse más de U\$S 790.00.



14 de febrero de 2007: Llovieron 85 mm en el Dique Cipolletti (74mm en una hora), 51 mm en Chacras de Coria (Facultad de Cs. Agrarias, dato de la estación del Servicio Meteorológico Nacional), 31mm en puesto Crucesita y 34mm en el puesto el Peral. Si bien estas dos últimas son de las cuencas altas, sus escurrimientos fueron principalmente al río Mendoza.

Según el informe ambiental 2009 [3] del gobierno de Mendoza, el aumento de los niveles de humedad de las masas de aire provenientes de la Amazonia y el Atlántico subtropical, ocasionara que lleguen a las llanuras ubicadas al pie de los Andes, mayores precipitaciones durante el verano, asociadas en muchos casos con tormentas más extremas, muchas de ellas acompañadas con granizo. Estas tendencias contrastantes entre la cordillera y los llanos son consistentes con un aumento en el aporte de humedad de origen Atlántica en la región subtropical y una disminución de la contribución Pacífica sobre los Andes, bien marcado al sur de los 35 -40° S.

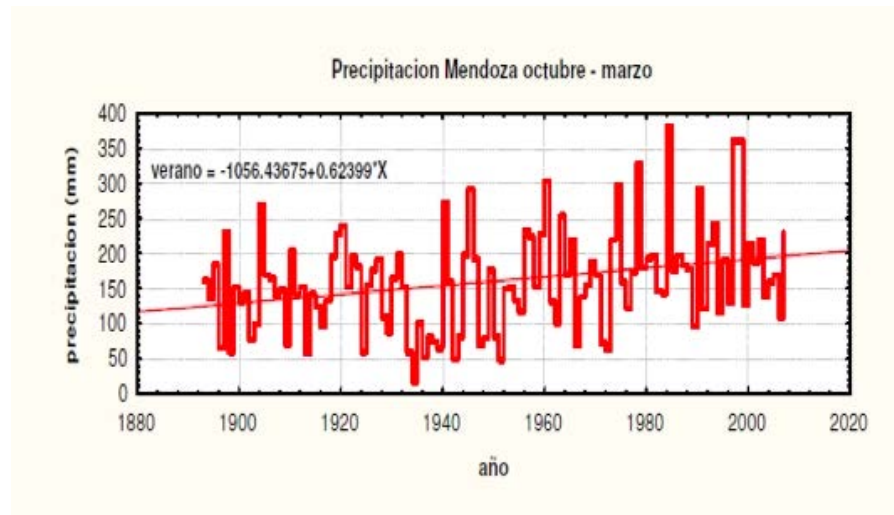


Figura 3: Precipitaciones históricas de Octubre a Marzo [3]

La experiencia local en el tema de organismos como el Instituto Argentino de Investigaciones en Zonas Áridas IADIZA, la Dirección Provincial de Hidráulica, el Instituto Nacional del Agua INA, la Universidad Nacional de Cuyo y otros, dan un marco más que adecuado para encarar algo serio.

Simplificando la problemática estas entidades establecen cuatro ámbitos territoriales en relación al Gran Mendoza que se deben considerar en forma independiente por su problemática, pero integrada para sus resultados.

1. Serranías de Precordillera y Piedemonte superior.
2. Piedemonte inferior y zonas suburbanas.
3. Áreas urbanas.
4. Zonas de regadío.

### El viento Zonda

Bajo determinadas condiciones atmosféricas, en el período comprendido entre mayo y noviembre de cada año suele desarrollarse, en los valles del faldeo oriental de la Cordillera de los Andes y en las regiones situadas al pie de la misma, desde la provincia del Neuquén hasta Jujuy, (República Argentina) un viento fuerte caracterizado por una extrema sequedad y elevada temperatura, el cual recibe el nombre de viento Zonda o simplemente Zonda [4]

Un período de Zonda en superficie termina, en la mayoría de los casos, tan abruptamente como comenzó.

### Efectos destructivos

Los efectos destructivos del Zonda se deben a la elevada velocidad que adquiere sus ráfagas de viento, así como también a la intensa evaporación generada por la evaporación de las altas temperaturas. En Mendoza se puede hacer referencias a algunos eventos a través de las siguientes imágenes (página siguiente):



Figura 4: efectos luego de un fuerte viento Zonda. Diario UNO, 26/08/08



Figura 5: Efectos sobre la población Diario Clarín, 13/04/2011

El viento Zonda se relaciona en forma directa con las geofomas del espacio geográfico de Mendoza, es decir con los diferentes relieves de la cordillera, en definitiva es una variable constante ya que los procesos dinámicos se desarrollan con una gran amplitud temporal en relación con lo temporalidad de la vida del hombre.

En cambio los aluviones se relacionan no solo con las geofomas sino también con el diseño natural y antrópico de la red hidrográfica, y por este motivo es que a continuación se tratarán estos dos temas.

### Geomorfología local

El área de estudio involucra un sector correspondiente al extremo sur de la provincia Geológica de Precordillera de la Rioja, San Juan y Mendoza [5] con rocas predominantemente paleozoicas que fueron levantadas a expensas de la orogenia ándica.

En este sector esta provincia geológica mantiene características distintivas del resto de la unidad, más desarrollada al norte, pero mantiene un rumbo predominante de las estructuras en dirección norte sur, fundamentalmente fallas de distintas edades y correspondiendo a distintas fases diastóricas, y pliegues en menor medida. En el sector más oriental del área se reconocen afloramientos correspondientes a otra unidad morfoestructural conocida como Cerrilladas Pedemontanas [6], que se encuentran desarrolladas al pie de las estribaciones precordilleranas, en el sector del piedemonte a manera de cerros de reducida dimensión, elongados en dirección N-S, constituidos por rocas terciarias y cuaternarias. [2]. La mayor parte de esta zona corresponde al llamado Piedemonte precordillerano, de gran extensión. En las planicies pedemontanas el factor de erosión es la lluvia que se potencia con la pendiente y la alta delezabilidad de los materiales superficiales. El régimen de precipitaciones pluviales genera gran cantidad de energía cinética y alta intensidad de erosión hídrica en sus diversas manifestaciones.

### Historia hídrica de la ciudad

El actual Área Metropolitana de Mendoza tiene una columna vertebral y ésta es el actual Canal Zanjón Caci que Guaymaré. En torno del mismo se agrupa la aglomeración mendocina y no es casual, sino histórico, que ello sea así. Este caso es único entre las antiguas ciudades argentinas cuya fundación es de origen española. Sin embargo, Mendoza ha desarrollado un modelo distinto, propio y por ahora sustentable respecto al desarrollo urbano complementado a su sistema hídrico.

La presencia de un glacis donde se implanta la actual Área Metropolitana de Mendoza, explica la suave pendiente del 2,2% suficiente para que el agua discurra por propio impulso.

Las calles antiguas de Mendoza, en el sentido sur-norte, tienen un origen vinculado a las acequias de riego o a las de desagüe. Estas calles auxiliares contiguas a los cursos de agua indican siempre la presencia de una antigua servidumbre de paso. La razón de su aparición era que estas acequias necesitaban ser recorridas en todo su trayecto para garantizar que no se taponaran o de cortar o interrumpiera el discurrir del agua por suave pendiente.

Respecto a las calles antiguas, en el sentido oeste-este, y con fuerte pendiente, tienen un origen vinculado a los zanjones o bajadas aluvionales. Estas bajadas oeste-este, naturalmente configuradas por la fuerza aluvional, con el tiempo y el crecimiento poblacional se fueron transformando en calles rurales o urbanas.

Los sucesivos planos históricos de la ciudad y sus alrededores, han ido registrando y formalizando estas marcas sobre el territorio del sistema hidrológico mendocino. Estas calles antiguas, de las cuales dan testimonio los planos históricos de cuses de agua o bajadas aluvionales. [7]

La cuadrícula española que se implantó sobre el territorio irrigado implicaba una racionalidad diferente. Pero, en el caso de Mendoza la racionalidad cuadrícula española no pudo, o no quiso, negar la racionalidad hídrica natural (en el caso de los zanjones y bajadas aluvionales) e histórica (en el caso de las acequias de riego) sobre la que ya estaba construido el oasis mendocino por parte de los aborígenes Huarpes y se fue adaptando, progresivamente a la matriz hídrica pre-existente. La manera de convivir ambas racionalidades fue la siguiente: las calles preexistentes y vinculadas a zanjones o acequias, se transformaron en los ejes cartesianos que delimitaron los bordes de sectores urbanos o rurales.

Dentro de los sectores rurales y urbanos se buscó acomodar la cuadrícula regular de origen española. Por ello, la cuadrícula española no tuvo a su disposición una "tabla rasa" territorial sino solamente sectores trapezoidales urbanos o rurales ya prefijados por el sistema hídrico.

Las calles o caminos históricos que no responden este criterio hidráulico territorial responden al hecho de buscar las pendientes más suaves que faciliten la entrada y salida de la ciudad colonial.

Esta lógica de las pendientes se usó para ingresar a la ciudad colonial por el sur, dando un rodeo por el sur, en vez de entrar directamente por el este como lo hace en cambio la ruta del litoral. Este criterio que involucra las pendientes también fue usado por el ferrocarril en 1885 ya que debió ingresar al casco urbano por el lado sur, por ser una zona de pendientes leves.

Los antiguos pobladores de Mendoza, al no disponer de tecnología ni poseer recursos, debían poner en uso su ingenio para utilizar "la ley del menor esfuerzo". La racionalidad de Mendoza se asentó en el hecho de vivir y producir dentro de los límites del agua; de los que marcaban, por un lado, las acequias de riego y, por el otro, las bajadas aluvionales.

Las bajadas del agua con orientación sudoeste-nordeste poseían diferentes escalas de importancia basado en la cantidad de agua que recolectaban sus respectivos cauces. Toda el área del piedemonte hace su descarga en forma de peine sobre la ciudad de Mendoza. Pero, las cuencas pedemontanas tienen bajadas o cauces específicos donde se construyeron los llamados zanjones como el conocido zanjón Frías. Si bien todas las bajadas aluvionales producían pequeños cortes en el sistema hídrico de riego en el sentido sudoeste-nordeste, los zanjones producían quiebres y bordes sudoeste-nordeste en el territorio difíciles de atravesar.

En dirección sur-norte, las acequias, que debían atravesar estos zanjones mediante el artificio de "tapones" que consistían en pequeños diques de barro que eran arrastrados por la corriente en caso de avenidas del agua y eran reconstruidos, una y otra vez, luego de una lluvia fuerte en el piedemonte.

El Canal Zanjón Cacique Guaymallén que nace con dirección sudoeste-nordeste, como la diagonal de un rectángulo, toma la dirección sur-norte sobre el plano inclinado sobre el cual se asienta la actual Área Metropolitana.

En definitiva se puede decir que la metrópolis mendocina es cruzada por un vasto sistema de colectoras, zanjones y acequias instaladas sobre las naturales, las cuales fueron aprovechadas por los primeros habitantes originarios y adaptadas en el tiempo.

## Urbanización

El área metropolitana del Gran Mendoza está afectada por el continuo crecimiento urbano de las ciudades cabeceras de los departamentos de Capital, Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz, Luján y Maipú, constituyéndose en el principal centro poblacional y de servicios del oeste argentino.

La tendencia de crecimiento se verifica hacia el este-sureste-norte y en menor medida al suroeste y noroeste. El cinturón suburbano apenas rebasa por el noroeste y el suroeste el piedemonte distal.

Los primeros asentamientos urbanos del piedemonte en principio son claramente marginales. En lo que transcurre la década de los '60 y '70 se construyen los primeros emprendimientos desde el gobierno provincial, que serían las casas sociales. A partir de la década del '80 comienza una intensa ocupación del piedemonte con barrios planificados por el Estado y particulares, atraídos por el bajo costo de los terrenos y la proximidad a la ciudad, con limitantes como la escasa disponibilidad de agua potable y de los servicios de cloaca, red de gas natural, etc. Se superponen así a la ocupación espontánea y marginal de grupos sociales excluidos, con emprendimientos privados de recursos altos e intereses del tipo inmobiliarios.

## CONCLUSIONES

### Propuestas de gestión ante el problema aluvional e hídrico

La búsqueda de propuestas se basó en criterios de coincidencias con el ambiente socio-geográfico, la viabilidad y que su aplicación pueda hacerse a medida de que se implemente la misma buscando prevenir, mitigar y paliar el impacto ambiental, disminuyendo los riesgos naturales tratado en este trabajo.

Se encontró que dentro de este criterio de búsqueda 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.

Este concepto 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).

Este 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. La solución basada en colectores de aguas lluvias no toma en consideración este hecho.

El nuevo concepto 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 están en su aplicación en diferentes escalas (lote, edificio, casa, calle, desarrollo, subcuenca y/o cuenca) y consisten principalmente 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 riparias y recarga de acuíferos en zonas urbanas.
- Reducir gastos pico y prevenir inundaciones en áreas urbanas.
- Prevenir erosión y transporte de sedimentos en ríos 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 [8] y [9]

### Ejemplos de esta nueva tecnología

En el marco del proyecto cofinanciado FONDEF "Sistemas Estandarizados de Drenaje de Aguas Lluvias en Urbanizaciones y Viviendas", el Centro de Aguas Urbanas de la Universidad Católica de Chile, en conjunto con Empresas Melón S.A., se encuentra desarrollando desde el año 2001 mezclas comercializables de pavimentos permeables de hormigón.

Este producto consiste básicamente en una mezcla especial de hormigón de alta porosidad y una subbase que requiere de una granulometría especial. Sin embargo, las materias primas necesarias para esta tecnología desarrollada son las mis-

mas que las tradicionales para pavimentos de hormigón. De igual forma, se pueden obtener pavimentos permeables mediante pavimentos de adoquines. La particularidad del adoquín es que tiene una geometría tal que una vez instalado deja intersticios entre adoquines, sin perder por ello la trabazón, la rigidez y la fricción necesaria para la estabilidad del pavimento. Los intersticios entre adoquines, que son los que proveen de permeabilidad al pavimento, son rellenados con gravilla fina.

### **Pozos y zanjas de infiltración**

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 [10]

### **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 [11]

### **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 [12]

### **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. [12].

### **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 [13]

Todo esto es un ejemplo del sistema que como conclusión se puede decir que existe una gran afinidad con el área metropolitana de Mendoza ya que de por sí, aunque con otra motivación, cuenta con parques, plazas, espacios verdes y además, algo que también favorece su implementación, es el sistema de acequias, reconocidas mundialmente.

Haría falta la integración de este sistema de drenaje urbano sostenible reduciendo la escorrentía superficial minimizando las superficies impermeables de la ciudad y dividiendo las cuencas vertientes para evitar la concentración de grandes volúmenes de agua en un punto.

De suma importancia Integrarlo también desde las áreas técnicas de los diferentes municipios conjuntamente con un buen ordenamiento territorial consensuado con los ciudadanos inculcando a la vez buenas prácticas en el cuidado del ambiente urbano.



## REFERENCIAS

- [1] Vich, A, 2011 Estado actual del conocimiento de los aspectos naturales y antrópicos del piedemonte de la Precordillera de Mendoza y San Juan. Amenazas Naturales de Origen Hídrico en el centro – oeste árido de Argentina. (Vich y Gudiño eds) 15-26 pp
- [2] ABRAHAM E.M.(2000) Geomorfología de la Provincia de Mendoza. En: Abraham E.M. & F Rodríguez Martínez (eds) Argentina: recurso y problemas ambientales de la zona árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja: 29-48. Junta de Gobierno de Andalucía, universidades y centros de investigación de la Región Andina Argentina, Mendoza, Argentina. [3] Hungr, O.; Evans, S. G.; Bovis M. y Hutchinson, J. N (2001). Review of the classification of landslides of the flow type. Environmental and Engineering Geoscience, VII, 221-238.
- [4] Norte, F. A. 1988. Características climatológicas del viento Zonda en la región de Cuyo. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- [5] Furque y Cuerda 1979. Precordillera de la Rioja, San Juan y Mendoza. En Turner ed Geología Regional Argentina. 1: 455-522. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba
- [6] Regairaz y Barrera, 1975. Formaciones del Cuaternario, unidades geomorfológicas y su relación con el escurrimiento de las aguas en el piedemonte de la Precordillera. Anais da Academia Brasileira de Ciencias 47 (suplemento): 5-20, Río de Janeiro.
- [7] Ponte, J. Historia del regadío. Las acequias de Mendoza, Argentina Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2006, vol. X, núm. 218 (07).
- [8] 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.
- [9] CSIRO (1999). Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines. Melbourne, CSIRO Publishing: 268p.
- [10] 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.
- [11] National SUDS Working Group (2003) Framework for Sustainable Drainage Systems (SUDS) in England and Wales. TH-5/03-3k-C-BHEY. 75 pp.
- [12] 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.
- [13] EPA 1999 Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices. Office of Water, United States Environmental Protection Agency. Washington DC, EEUU. EPA-821-R-99-012. 210 pp.

# Comparación de escalas de abundancia y/o cobertura para el estudio de la vegetación

## RESUMEN

J. Braun-Blanquet (1928, 1932) ha sido reconocido como el pionero en la historia de la Ciencia de la vegetación. Su escala de abundancia/cobertura como así también su método para el estudio de la vegetación han sido usados por científicos de gran parte del mundo, beneficiando así a la fitosociología con una gran cantidad de conocimientos acerca de la vegetación del mundo. Sin embargo, en los últimos años se ha puesto en tela de juicio el hecho de que la escala de Braun-Blanquet es solamente ordinal y como tal no debe ser tomada como numérica (Podani 2006). En este trabajo analizamos una matriz de vegetación herbácea del SE de la provincia de Santa Fe (Argentina), obtenida mediante una transecta perpendicular al arroyo Saladillo y caracterizada por la presencia de tres comunidades vegetales: flechillar, pradera salada y espartillar. Los datos de vegetación se registraron con la escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet, los cuales fueron transformados a 3 escalas distintas para su análisis: porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet, escala de abundancia/cobertura de van der Maarel y datos de presencia-ausencia. Estas 3 matrices fueron analizadas con Análisis de Componentes Principales usando matrices de correlación. Nuestros resultados indican que si renunciamos a perder la información sobre la abundancia/cobertura de la vegetación y trabajamos los datos como presencia-ausencia se obtienen los mismos resultados que si trabajamos con la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel. En ambos casos se diferencian bien las tres comunidades con sus especies dominantes: el flechillar de *Stipa hyalina*, el espartillar de *Spartina densiflora* y la pradera salada de *Paspalum vaginatum*. En cambio, si trabajamos con los porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet las comunidades no se diferencian tan claramente.

P.S. Torres (1),

S. Camiz (2).

1- *Cátedra de Ecología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario.*

2- *Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo, Sapienza Università di Roma.*

[patrizia662@gmail.com](mailto:patrizia662@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

J. Braun-Blanquet ha sido reconocido como el padre de la historia de la Ciencia de la Vegetación [23]. Sus dos obras más importantes [2] [3] han causado una gran influencia en la práctica de campo y en el pensamiento científico de la mayoría de los ecólogos de vegetación en Europa y en otras partes del mundo [19] [12]. La descripción y clasificación de la misma no puede ser evaluada correctamente sin hacer referencia a sus trabajos pioneros y los de sus colegas y seguidores, como los de la Escuela de Fitosociología de Zürich-Montpellier. Si bien se tiene al presente una gran cantidad de información sobre la vegetación del mundo, mucha de la cual se ha obtenido con la aplicación del método de Braun-Blanquet, algunos autores han reconocido que la metodología presenta problemas [5] [23]. Estas dificultades aparecen cuando se analizan numéricamente datos de vegetación obtenidos con dicho método.

El método tradicional para registrar observaciones de campo en Fitosociología es a través de una muestra de "censos". Un censo básicamente es una lista de especies vegetales observadas en una parcela junto con una estimación de su abundancia/cobertura o cobertura como indicador de su importancia. La conocida escala de abundancia/cobertura de Braun-Blanquet toma los valores: (+), +, 1, 2, 3, 4 y 5. Obviamente, la presencia de símbolos en la escala excluye inmediatamente la posibilidad de realizar cálculos matemáticos, por lo tanto se han sugerido varios procedimientos para convertir los valores a otras escalas que contengan solamente números [25]. Entre ellas tenemos la de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet, la de abundancia/cobertura de van der Maarel, la de Domin, etc. Estas transformaciones resuelven el problema de los símbolos, sin embargo, de acuerdo a Podani [23], la nueva escala así obtenida es ordinal y como tal, ciertas operaciones con dichos valores son estrictamente inadmisibles.

De acuerdo a Podani [23], la mejor solución matemática del problema es elegir un coeficiente de similitud/disimilitud compatible con datos ordinales y usar métodos ordinales de análisis de datos. Por ejemplo recomienda el coeficiente  $\gamma$  de Goodman & Kruskal,  $\zeta$  de Kendall ó la medida de discordancia de Podani [22] y como método de análisis de datos Escalamiento Multidimensional (Non Metric Multidimensional Scaling).

Otra solución es utilizar los datos como valores de presencia/ausencia, cuyo análisis no posee problemas computacionales, sin embargo, esta simplificación implica una pérdida de información [23].

Ricotta & Avena [24], contrariamente a lo manifestado por Podani [23], sostienen que el uso de métodos multivariados convencionales para evaluar datos provenientes de dichas escalas no representa un error metodológico, ya que implica un ajuste desde un espacio métrico a un espacio topológico.

El uso de la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel en el análisis de datos de vegetación ha sido más que satisfactorio [1, 9, 10, 11] y es más apropiado que la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet. Por lo tanto, sería de interés entonces comparar ambas escalas con la de presencia/ausencia en un conjunto de datos de vegetación con estructura conocida.

El objetivo de este trabajo es comparar el uso de la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel [25], la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet, y los datos de presencia/ausencia con un mismo conjunto de datos y un mismo método multivariado.

## MÉTODOS

El área de estudio está situada en el valle del arroyo Saladillo, aproximadamente a 10 km al sur de las localidades de Sandford y Chabás, distrito Caseros, provincia de Santa Fe (Argentina). Cercano al río se encuentra una pradera de *Stipa hyalina*, luego pastizales altos de *Spartina densiflora* y más alejado del río, diferentes tipos de praderas halófilas [7, 8].

Cada 25m sobre una transecta perpendicular al arroyo, se delimitó un cuadrado de 4m<sup>2</sup> y sobre el mismo se registraron todas las especies presentes junto con una estimación de la abundancia/cobertura de cada una, empleando la escala combinada de Braun-Blanquet [4].

Se construyó una matriz de 27 censos por 65 especies con los datos de vegetación. Los valores de la escala combinada de Braun-Blanquet fueron transformados a la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet, a la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel y a datos de presencia/ausencia, perdiendo la información de la importancia de la especie en el censo.

Las tres matrices de datos fueron sometidas a Análisis de Componentes Principales [16, 17] empleando una matriz de correlación, utilizando el paquete de programas PC-ORD [18]. Para estimar el número de componentes principales significativas tuvimos en cuenta el criterio de Peres-Neto [20] que considera con el mejor comportamiento a dos métodos de aleatorización basados en autovalores (Rnd-Lambda y Rnd-F) y otro basado en promedios aleatorios bajo permutación (Avg-Rnd).

## RESULTADOS

Cuando la matriz de presencia/ausencia es ordenada por PCA, los cuatro primeros ejes fueron significativos con Rnd-Lambda y Avg-Rnd, mientras que diez lo fueron con Rnd-F. Aquí analizamos solamente las cuatro primeras componentes principales. Los primeros cuatro ejes explican el 49,8% de la variación total en los datos. En todas las figuras los censos son indicados por puntos y las especies por flechas. En la Figura 1, el eje 1 segrega dos grupos: hacia el lado negativo se ubican los censos del "flechillar" (pradera de *Stipa hyalina*) y hacia el lado positivo el resto de los censos. Estos últimos son separados por el eje 2 en dos grupos: el "espartillar" (pastizales altos de *Spartina densiflora*) se ubica abajo y la pradera halófila arriba.

*Stipa hyalina*, *Phyla canescens* y *Paspalum dilatatum* son las especies más abundantes del "flechillar" y como especies acompañantes tenemos *Lolium multiflorum*, *Rumex crispus*, *Coniza bonariensis*, *Cynodon dactylon*, *Sida leprosa* y *Carex sororia*. *Spartina densiflora* es la especie dominante del "espartillar" y como especies acompañantes encontramos a *Rumex pulcher*, *Heliotropium curassavicum*, *Lepidium* sp y *Petunia parviflora*.

Las especies más importantes de la pradera halófila son *Paspalum vaginatum* y *Distichlis spicata*, acompañadas por *Ranunculus cymbalaria*, *Chaetotropis chilensis*, *Triglochin striata*, *Scirpus americanus* y *Apium sellowianum*.

En la Figura 2, el eje 3 segrega el "flechillar" en dos grupos, uno hacia el lado positivo asociado con el "espartillar" y el otro hacia el lado negativo junto con los censos de la pradera halófila. El eje 4 ubica al censo 20 en la parte superior del biplot, asociado con las especies: *Ambrosia tenuifolia*, *Modiolastrum gillesii*, *Polygonum brasiliense* y *Polypogon monspeliensis*. Dicho censo es un ecotono entre el "espartillar" y el "flechillar". Hacia abajo del biplot se ubica el censo 21, el cual es el único donde se encuentra presente la especie *Althernanthera philoxeroides*.

Cuando la matriz de datos en la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel [25] fue ordenada con PCA, obtuvimos los mismos resultados que con la escala anterior. Los cuatro primeros ejes fueron significativos con Rnd-Lambda y Avg-Rnd mientras que diez lo fueron con Rnd-F. Aquí analizamos de nuevo solamente las cuatro primeras componentes principales. Los primeros cuatro ejes explican el 49,6% de la variación total en los datos. Se puede observar en las Figuras 3 y 4 las componentes principales 1 versus 2 y 3 versus 4 respectivamente. La Figura 3 muestra un despliegue de datos casi exactamente igual que la Figura 1, mientras que la Figura 4 lo es también con respecto a la Figura 2.

Cuando la matriz de datos en la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet fue ordenada por PCA, no se obtienen los mismos resultados anteriores. Los primeros cinco ejes fueron significativos con Rnd-Lambda, Avg-Rnd y Rnd-F y explican el 50,2% de la variación en los datos. Las Figuras 5, 6 y 7 muestran las componentes principales 1 versus 2, 3 versus 4 y 5 versus 1 respectivamente.

En la Figura 5, el eje 1 segrega dos grupos: hacia el lado negativo, se ubican los censos del "flechillar" y hacia el lado positivo el "espartillar" junto con la pradera halófila. El eje 2 divide al "flechillar" de acuerdo a las especies acompañantes. Hacia arriba se ubican *Paspalum dilatatum*, *Rumex crispus*, *Carduus acanthoides*, *Lolium multiflorum* y *Cynodon dactylon* y hacia abajo *Carex bonariensis*, *Cressa truxilensis*, *Ammi viznaga*, *Juncus balticus*, *Eleusine tristachya*, *Apium leptophyllum* y *Sesuvium portulacastrum*.

En la Figura 6, el eje 3 segrega los censos de la pradera halófila hacia el lado negativo y los censos del "espartillar" hacia el lado positivo, mientras que los censos del "flechillar" aparecen diseminados por todo el biplot. El eje 4 separa al censo 20 (ecotono) hacia abajo y a los censos del "espartillar" hacia arriba.

En la Figura 7 (eje 1 versus eje 5) solamente describimos el comportamiento del eje 5, el cual separa los censos del "flechillar" en dos grupos (diferentes a los del eje 2) y también de acuerdo a las especies acompañantes. Hacia arriba del biplot encontramos: *Melilotus officinalis*, *Stipa brachichaeta*, *Hirschfeldia* sp, *Carduus acanthoides* y *Coniza bonariensis* y hacia abajo: *Cressa truxilensis*, *Lolium multiflorum*, *Brassica hirschfeldia*, *Phyla canescens* y *Stipa hyalina*.

Los resultados obtenidos indican que las escalas que mejor describen la estructura, conocida de antemano, de la matriz de vegetación estudiada en este trabajo son la de van der Maarel y presencia/ausencia. Por otra parte los resultados obtenidos son casi exactamente iguales: se diferencian las tres comunidades principales (pradera halófila, "espartillar" y "flechillar") junto a sus especies dominantes y acompañantes. Esta similitud en los resultados es en parte consecuencia de la forma en banda que tienen las matrices de datos de vegetación provenientes de análisis fitosociológicos con el método de Braun-Blanquet. Esto se debe al modelo Gausiano de estructura de la comunidad [14, 13], de acuerdo al cual todas las especies responden independientemente unas de otras a los factores ambientales (gradientes). La respuesta de una especie se puede representar por una curva gaussiana. Cada curva de respuesta de una especie cualquiera tiene tres propiedades: la ubicación de su pico máximo, la altura de dicho pico y la dispersión. Así, si la composición de especies se examina a lo largo de un gradiente ambiental, como en nuestro caso, se encuentra que ciertas especies van disminuyendo su abundancia al principio, luego estas son reemplazadas por nuevas especies que van aumentando su abundancia hasta llegar a un pico máximo y luego gradualmente disminuyen en abundancia y son reemplazadas por otras y así sucesivamente [21]. Por tanto, el patrón de distribución de especies y muestras en los planes factoriales resulta en forma de herradura [15, 6]. Por otra parte, al trabajar con PCA y elegir estandarizar los datos (matriz de correlación), se igualan todas las variancias de las especies, lo cual da como resultado que las especies dominantes y las acompañantes tengan más o menos el mismo peso. Esto hace que la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel se asemeje a una escala de presencia/ausencia.

Por lo tanto, resumiendo podemos afirmar que no existe error metodológico en analizar una matriz de datos de vegetación en la escala de van der Maarel con Análisis de Componentes Principales estandarizado, ya que se alcanza el mismo resultado que con una matriz de presencia/ausencia y por otra parte el resultado tiene significado ecológico.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a Eduardo A. Franceschi las sugerencias y la corrección del manuscrito.

Nombre de la especie	Acrónimo
<i>Ambrosia tenuifolia</i>	amte
<i>Ammi viznaga</i>	amvi
<i>Apium leptophyllum</i>	aple
<i>Apium sellowianum</i>	apse
<i>Brassica hirschfeldia</i>	brhi
<i>Carduus acanthoides</i>	caac
<i>Carex bonariensis</i>	cabo
<i>Carex sororia</i>	caso
<i>Chaetotropis chilensis</i>	chch
<i>Coniza bonariensis</i>	cobo
<i>Cressa truxilensis</i>	crtr
<i>Cynodon dactylon</i>	cyda
<i>Distichlis spicata</i>	disp
<i>Eleusine tristachya</i>	eltr
<i>Heliotropium curassavicum</i>	hecu
<i>Hirschfeldia sp</i>	hirs
<i>Juncus balticus</i>	juba
<i>Lepidium sp</i>	lepi
<i>Lolium multiflorum</i>	lomu
<i>Melilotus officinalis</i>	meof
<i>Modiolastrum gillesii</i>	mogi
<i>Paspalum dilatatum</i>	padi
<i>Paspalum vaginatum</i>	pava
<i>Petunia parviflora</i>	pepa
<i>Phyla canescens</i>	phca
<i>Polygonum brasiliense</i>	pobr
<i>Polypogon monspeliensis</i>	pomo
<i>Ranunculus cymbalaria</i>	racy
<i>Rumex crispus</i>	rucr
<i>Rumex pulcher</i>	rupu
<i>Scirpus americanus</i>	scam
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	sepo
<i>Sida leprosa</i>	sile
<i>Spartina densiflora</i>	spde
<i>Stipa brachichaeta</i>	stbr
<i>Stipa hyalina</i>	sthy
<i>Triglochin striata</i>	trst

Tabla 1: Nombre completo y acrónimo de las especies vegetales más importantes en el ordenamiento de los datos por Análisis de Componentes Principales.

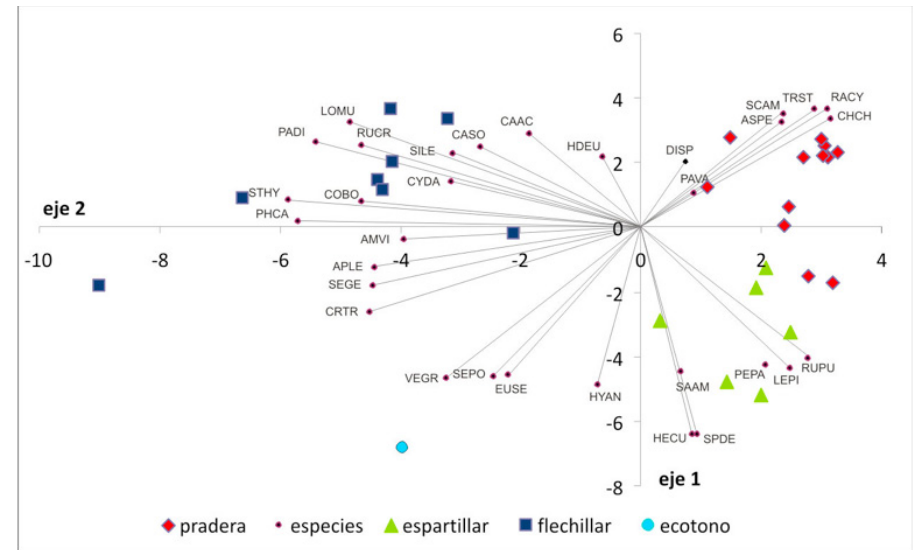


Figura 1: Biplot de los ejes 1 y 2 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos de presencia/ausencia.

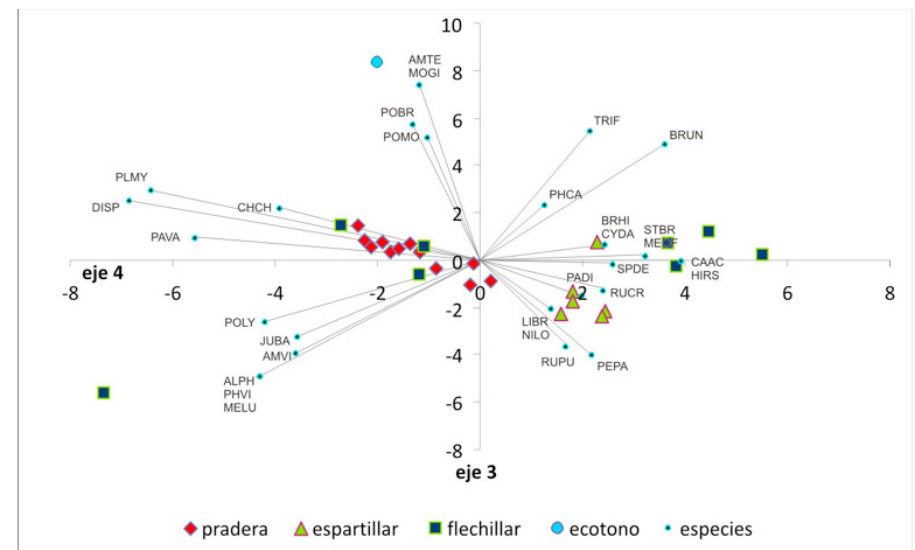


Figura 2: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos de presencia/ausencia.



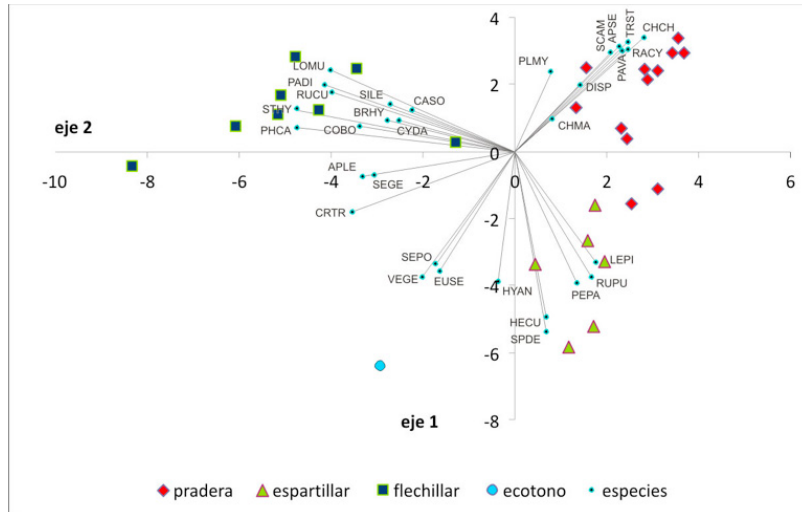


Figura 3: Biplot de los ejes 1 y 2 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel.

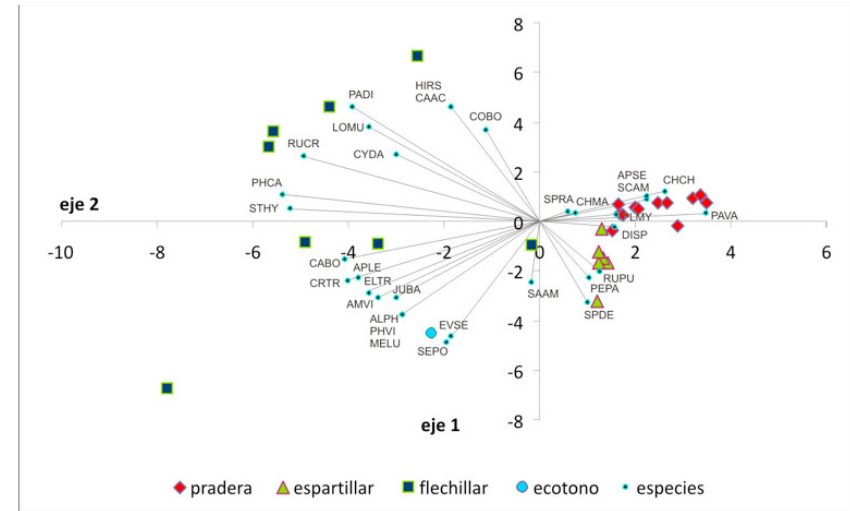


Figura 5: Biplot de los ejes 1 y 2 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet

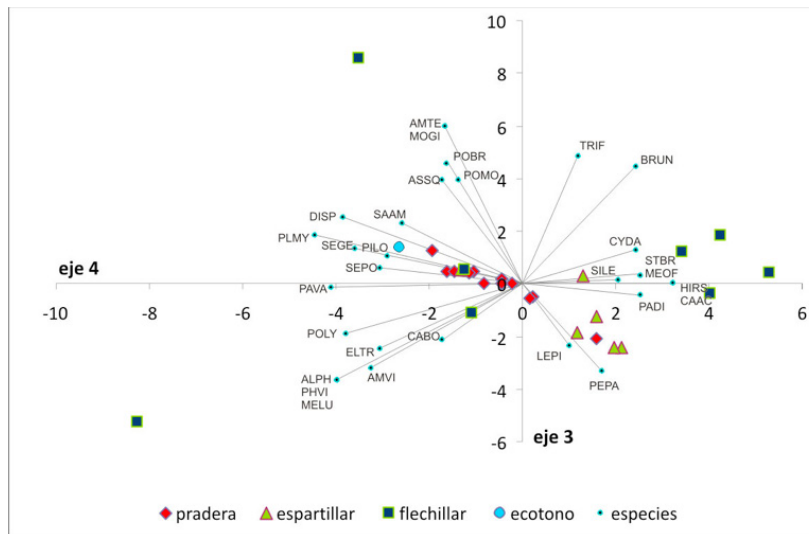


Figura 4: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de abundancia/cobertura de van der Maarel

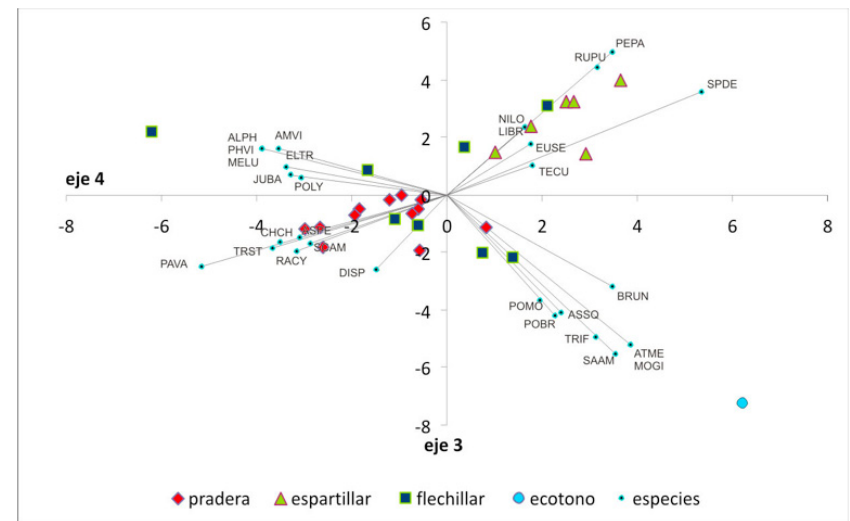


Figura 6: Biplot de los ejes 3 y 4 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet

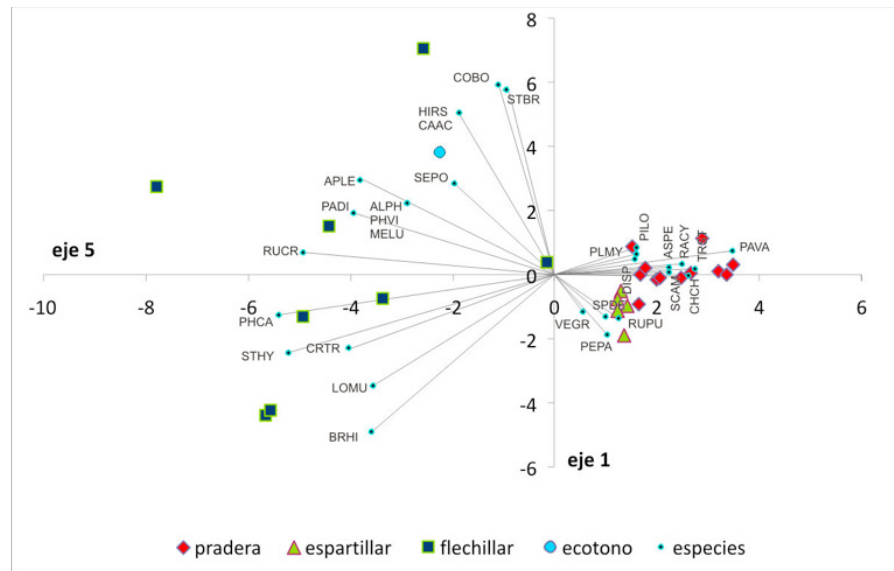


Figure 7 Biplot de los ejes 1 y 5 resultantes del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz de correlación de los datos en la escala de los valores medios de las clases de porcentajes de cobertura de Braun-Blanquet

## REFERENCIAS

- [1] Boccaneli Silvia I., Pire Eduardo F., Torres Patricia S. y Lewis Juan P. 1999. Cambios en la vegetación de un campo abandonado después de un cultivo de trigo. *Pesq. Agropec. Bras.* 34(2): 151-157
- [2] Braun-Blanquet J. 1928. *Pflanzensoziologir. Grundzuge der Vegetationskunde.* Springer. Wien, AT.
- [3] Braun-Blanquet J. 1932. *Plant Sociology.* Mc Graw-Hill. New York.
- [4] Braun-Blanquet J. 1979. *Fitosociología.* H. Blume Ediciones. Madrid.
- Camiz S. 1993. *Scopi e finali*
- [5] Camiz S. 1993. Scopi e finalità dell'analisi della vegetazione e relativi schemi di rilevazione campionaria. In S. Zani (ed.), *Metodi statistici per le analisi territoriali.* Milano, Franco Angeli, Studi urbani e regionali: 301-322.
- [6] Camiz S. 2005. The Guttman Effect: its Interpretation and a New Redressing Method. *Τετραδια Αναλυσησ Δεδομενων (Data Analysis Bulletin)*, 5: 7-34.
- [7] Carnevale Nélida J., Torres Patricia S., Boccaneli Silvia I. y Lewis J.P. 1987. Halophilus communities and species distribution along environmental gradients en SE Santa Fe province, Argentina. *Coenoses* 2 (2): 49-60
- [8] Carnevale N.J., Torres P.S. 1990. The relevance of physical factors on species distributions in inland salt marshes (Argentina). *Coenoses* 5 (2): 113-120
- [9] Carnevale Nélida J., Torres Patricia S. y Lewis J.P. 1999. Análisis numérico y estacionalidad de las comunidades higrófilas de los Bajos Submeridionales Santafesinos (Arg.). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 34(1-2): 39-46
- [10] Franceschi E.A., Torres P.S. y J.P. Lewis. 2005. Recovery and stability of Parana river floodplain grassland after eighteen years from a catastrophic flood. *Community ecology* 6(2): 209-217
- [11] Franceschi E.A., Torres P.S. y J.P. Lewis. 2010. Diversidad de la vegetación durante su recuperación tras una creciente extraordinaria del Río Paraná Medio (Argentina). *Biología Tropical* 58(2): 707-716
- [12] Fujiwara K. 1987. *Aims and methods of phytosociology or "vegetation science".* Plant ecology and taxonomy. The Kobe Geobotanical Society. Kobe, JP.
- [13] Gauch H.G. Jr. 1982a. *Multivariate Analysis in Community Ecology.* Cambridge University Press.
- [14] Gauch H.G. Jr. y Whittaker R.H. 1972. Coenocline simulation. *Ecology* 53: 446-451.
- [15] Guttman L. 1953. A Note on Sir Cyril Burt's Factorial Analysis of Qualitative

Data. *British Journal of Statistical Psychology* 6: 21-24

- [16] Hotelling H. 1933 a. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology* 24: 417-441
- [17] Hotelling H. 1933 b. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology* 24: 498-520
- [18] McCune B. y Mefford M.J. 2011. PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data, version 6. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon.
- [19] Mueller-Dombois D. y ElleMBERG H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley. New York.
- [20] Peres-Neto P.R., Jackson D.A. y Somers K.M. 2005. How many principal components? Stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics & Data Analysis* 49: 974-997.
- [21] Pielou E.C. 1984. The interpretation of ecological data. John Wiley & Sons. New York.
- [22] Podani J. 1997. A measure of discordance for partially ranked data when presence/absence is also meaningful. *Coenoses* 12(2-3): 127-130.
- [23] Podani J. 2006. Braun-Blanquet's legacy and data analysis in vegetation science. *Journal of Vegetation Science* 17: 113-117.
- [24] Ricotta C. y Avena G. 2006. On the evaluation of ordinal data with conventional multivariate procedures. *Journal of Vegetation Science* 17: 839-842.
- [25] van der Maarel E. 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio* 39(2): 97-114

# Iniciación en la investigación científica en temas de glaciología. El glaciar piloto

## RESUMEN

El proceso de retroceso generalizado a nivel mundial de los glaciares ha puesto de manifiesto la importancia de las cordilleras como reservas de agua en estado sólido. La contribución de los glaciares a los caudales de los ríos cordilleranos ha motivado e intensificado su estudio, particularmente en Asia, Norteamérica y Sudamérica. Su importancia se incrementa principalmente cuando la precipitación nival es escasa. El seguimiento del balance de masa de glaciares en estas zonas es importante para el estudio de los cambios en el ciclo hidrológico y, también puede ser usado para inferir información climática sobre la evolución de los glaciares.

En Los Andes de Mendoza existen fotos que permiten reconstruir su evolución desde el siglo XIX. Pero es recién a partir de 1914 cuando se producen cartas topográficas de calidad cuya comparación con cartas modernas, ha permitido calcular la variación del volumen de los glaciares entre 1914 y 1974 en la cuenca del Plomo, afluente del río Mendoza. En los últimos 20 años, esta tendencia de desgaste es confirmada por los datos de balance de masa obtenidos en el glaciar Piloto ubicado en las nacientes del río Cuevas. El incremento del derretimiento tendría que tener como primer efecto el aumento de la contribución de agua a la escorrentía del río, pero cuando el desgaste del hielo de los glaciares supere un volumen crítico, su contribución a la escorrentía total del río debería disminuir. Esto tendrá un fuerte impacto, durante épocas de escasa precipitación nival en cordillera, en la disponibilidad de agua en el futuro en las cuencas de los Andes.

El presente trabajo sintetiza los resultados de la investigación glaciológica y de los métodos utilizados para la determinación del balance de masa de glaciares. Caso de estudio: lengua Este del glaciar Piloto, ubicado en las nacientes del río Cuevas. Las mediciones fueron llevadas a cabo con el método glaciológico directo: pozos

**Tosoni, Damián Esteban (1)**

1- *Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, A. Brown s/n, Chacras de Corias, Lujan de Cuyo, Mendoza, Argentina.*

[damiantosoni@gmail.com](mailto:damiantosoni@gmail.com)

de nieve, estacas, perfiles de densidad derivados de la dureza del RAM y datos de participación de la ablación. El balance de masa neto para el periodo 2010-2011 es negativo, confirma la tendencia generalizada de recesión glaciar que se observa desde principios de 1979.

Las campañas realizadas en el glaciar Piloto con el fin de medir el balance de masa fueron consumadas en la Lengua Este del mismo, en Diciembre de 2010 y Abril de 2011.

Observación Las tareas de investigación se realizaron en el marco del Proyecto de Investigación: "Los riesgos naturales originados por la nieve y los glaciares en la cuenca superior del río Mendoza, su manejo y control", de la SECTYP de la UNCuyo, Código: 06/A405 aprobado por Resolución N° 1094/2009-R" durante una Concurrency de Investigación.

## Palabras clave

Glaciar, Balance de masa, Ciclo hidrológico, Glaciar Piloto

## INTRODUCCIÓN

El presente Informe corresponde a la concurrencia de Investigación autorizada por Resolución N° 381/ 09 del 9 de setiembre de 2009 de acuerdo a lo establecido por Ord. N° 499/08CD y N° 385/97 CD. Las tareas de investigación, iniciadas a mediados del 4 de agosto del año 2009, se realizaron en el marco del Proyecto de Investigación: "Los riesgos naturales originados por la nieve y los glaciares en la cuenca superior del río Mendoza, su manejo y control", de la SECTYP de la UNCuyo, Código: 06/A405 aprobado por Resolución N° 1094/2009-R".

Las tareas de investigación realizadas durante esta Concurrencia se desarrollaron durante las campañas de medición en el glaciar Piloto y el procesamiento de los datos y elaboración e informes en la Cátedra de Física de la FCA y, principalmente, en el IANIGLA bajo la dirección del Dr. Juan Carlos Leiva y con el asesoramiento de sus colaboradores.

Durante los últimos cien años las regiones montañosas del mundo experimentaron grandes pérdidas de masa de sus glaciares e importantes reducciones en las superficies de los mismos (WGMS, 2008). En los próximos años en la cordillera de Los Andes algunos glaciares desaparecerán y otros sobrevivirán con áreas y volúmenes reducidos.

Existe a escala global un interés creciente en la disponibilidad de los recursos hídricos en respuesta al crecimiento sostenido de la población mundial y a la mayor presión que las sociedades modernas ejercen sobre las demandas en la cantidad y calidad del agua (Vörösmarty et al., 2000).

En la Cordillera de los Andes, los glaciares cumplen un papel fundamental en la regulación del régimen hídrico andino. En años con precipitaciones de nieve abundante, la cantidad de nieve depositada sobre los glaciares es mayor que la que se funde durante la época de ablación, por lo que perdura y se transforma aumentando la masa de hielo de los mismos. De esta manera los glaciares retienen y conservan parte de la precipitación anual.

En años con precipitaciones de nieve escasa o nulas, la ablación (fusión, evaporación y sublimación) supera a la nieve caída y una gran parte del agua que escurre por los ríos cordilleranos se origina en la fusión del hielo de los glaciares que, de este modo, disminuyen la intensidad de las sequías.

En síntesis, los glaciares actúan como diques o embalses naturales regulando los caudales de los ríos cordilleranos.

Por lo tanto, conocer el número, área y distribución espacial de los cuerpos de hielo en las diferentes cuencas andinas provee una indicación de la capacidad reguladora de una cuenca del recurso agua. La escorrentía en una cuenca sin glaciares depende-

rá directamente de la precipitación que en ella ocurra, con caudales extremadamente reducidos o nulos durante sequías prolongadas.

### Zona de estudio

La zona en estudio es el Glaciar Piloto Este ( $32^{\circ}37'S$ ,  $70^{\circ}09'W$ ) está ubicado en la cabecera de la cuenca del Río de las Cuevas, Provincia de Mendoza, y tiene aproximadamente 0,5 km cuadrados de superficie distribuidos entre los 4740 y 4185 m de altura.

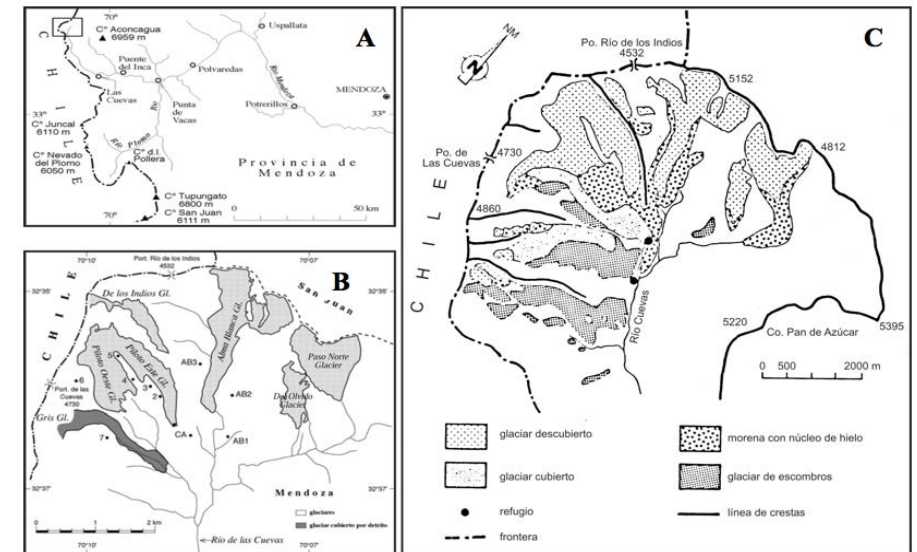


Figura 1 (de Leiva 1982) muestra la zona del Cajón del Rubio en las nacientes del río de Las Cuevas A-Mapa de ubicación, B- Glaciares y C- Tipos de cuerpos de hielo

### Objetivo general

Iniciación en la investigación glaciológica y en los métodos utilizados para la determinación del balance de masa de glaciares. Caso de estudio: el glaciar Piloto en las nacientes del río Cuevas.

### Objetivos específicos

- Introducción a la Glaciología a través del estudio de la Bibliografía y de los proyectos de investigación, antecedentes realizados en la FCA y en el IANIGLA.
- Adquirir conocimientos de los ensayos de determinación del balance de masa



de glaciares. Análisis de las diferentes metodologías que se pueden utilizar para dicha determinación.

- Generar registros actuales de balance de masa del Glaciar Piloto.

### El Glaciar Piloto

Los estudios de balance de masa en el Glaciar Piloto comienzan en el verano austral del 1979-1980. El Glaciar Piloto ( $32^{\circ} 37' S$ ,  $70^{\circ} 09' W$ ), fue seleccionado como un punto de referencia para el estudio del balance de masa, tanto por su representatividad territorial como su accesibilidad. El glaciar Piloto se halla en las nacientes del río Cuevas a unos 25 km al norte de la entrada del Túnel Internacional.



Figura 2: Los glaciares del Cajón del Rubio

### Características del Glaciar

- El Piloto tiene una forma de "U" con 2 Lenguas: ESTE y OESTE, separadas por una cresta.
- Área Total:  $1.4 \text{ km}^2$
- Esta situado entre 4185 m y 4900 m

Los estudios de balance de masa del glaciar Piloto se iniciaron en 1979. A partir de 1985 se continuó solamente con las mediciones en la Lengua Este del Glaciar Piloto ya que los campos de penitentes y a las frecuentes avalanchas ocurridas dificultaban las mediciones tareas de campo en la Lengua Oeste del Glaciar Piloto.

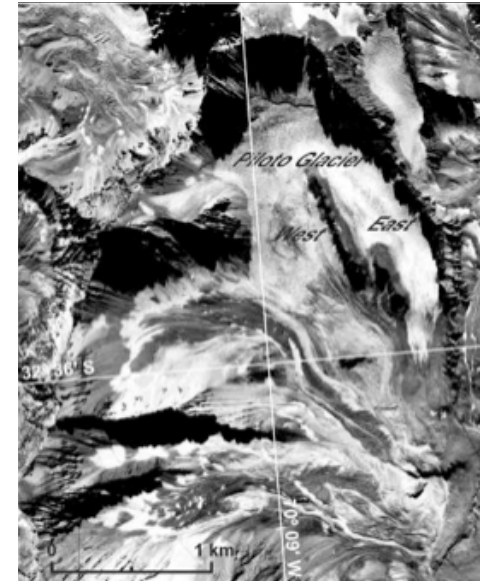


Figura 3. Foto aérea del glaciar Piloto

### Antecedentes de estudios realizados en el Glaciar Piloto

El seguimiento del balance de masa de glaciares en esta zona es importante para el estudio de cambios en el ciclo hidrológico dentro del escenario de cambio climático, y puede ser usado también para inferir información climática sobre cambios en el tamaño de glaciares.

Las series de balance de masa del la Lengua Este del Glaciar Piloto muestran una tendencia negativa en el periodo 1979-2003, particularmente desde 1988-1989.

El periodo 1979-2003 muestra un balance de masa total equivalente a una pérdida de 10.5 m w.e. y demuestran un retroceso general de los glaciares, que ha tenido lugar en todo el mundo al menos desde el comienzo del siglo XX, también está ocu-

riendo en las cuencas de los Andes centrales de Argentina. También indica, que de continuar esta tendencia, este pequeño glaciar Piloto que en 1979 tenía una profundidad máxima de 60 metros (Leiva 1982) desaparecerá en un futuro cercano, similar a lo que ocurrirá con muchos otros pequeños glaciares de las provincias de Mendoza y de San Juan de los Andes Centrales de la Argentina.

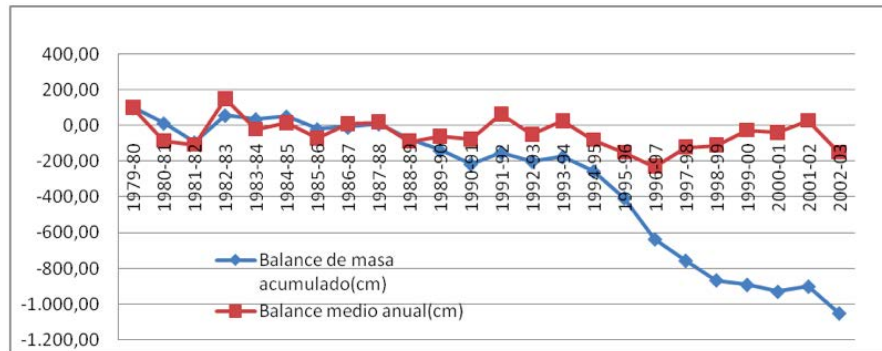


Gráfico 1: Balance de masa en cm e.a.(cm equivalente en agua) acumulado de la Lengua Este del Glaciar Piloto desde 1979. Aclaración: la serie roja corresponde al balance específico medio.

### Método o desarrollo experimental

Para la obtención de los datos se realizaron 3 salidas a campo, que fueron realizadas en Marzo de 2010, Diciembre 2010 y recientemente en Abril de 2011. Una en la temporada de acumulación y dos en la temporada de ablación.

### Balance de masa de un glaciar

El balance de masa neto anual de un glaciar puede ser expresado como la suma del balance invernal y del balance estival, en símbolos:

$$b_n = b_w + b_s \text{ (VALORES PUNTUALES PARA CADA PUNTO DE MEDICIÓN)}$$

donde;  $b_n$ = balance neto;  $b_w$ = balance invernal;  $b_s$ = balance de verano

La determinación del término invernal del balance de masa,  $b_w$ , clásicamente se realiza, haciendo calicatas en el glaciar al fin de la estación de acumulación, normalmente un mes y medio después del equinoccio de la primavera local. El dato se

expresa en lámina de agua equivalente calculada a partir de los datos de densidad de la nieve de muestras obtenidas en la pared umbría de la calicata.

Cuando los glaciares presentan formas sencillas y extensiones moderadas, como es el caso de este estudio, suele bastar con una sola calicata hecha en un sitio representativo. Cuando no se puede alcanzar la superficie del verano anterior, ya sea por encontrarse a varios metros de profundidad o porque la excavación se hace muy penosa si la nieve está muy compactada, en el IANIGLA se han logrado buenos resultados complementando la calicata con un perfil de dureza (Niedringhaus, L, 1965 Waterhouse, R.,1966).

Las mediciones directas de balance de masa fueron llevadas a cabo en el Glaciar Piloto desde 1979 con el método glaciológico directo. Pozos de nieve, perfiles de densidad derivados de la dureza del RAM (Keeler, C.M., 1969; Leiva et al., 1986; Leiva and Cabrera, 1996), y los datos de participación de la ablación fueron utilizados para obtener el balance de masa neta para el período de 1979-1984. Los datos de acumulación no fueron obtenidos para los inviernos de 1984, 1985, 1988, 1989 y 1990. A finales de 1986 y 1990 fueron medidos los datos de ablación para el balance neto de masa.

El tratamiento de los datos aportados por las estacas de los glaciares del Cajón del Rubio, y algunas consideraciones teóricas (Cabrera, G 1984, 1986a y b), permitió comprobar la existencia, en cada uno de los glaciares de la zona, donde el balance de masa local específico es representante del saldo neto medio de todo el glaciar. Esta zona representativa se mantiene estable a pesar del valor y el signo del balance de masa. Las medidas tomadas con estacas en estas zonas, que se realizaron con el fin de determinar el correspondiente balance de masa, muestran que la distribución de altura de los balances de masa ( $b = b(z)$ ) y el valor de la ablación media parece ser invariante año a año. Por lo tanto, luego de exhaustivos años de medición de balances de masas, en una red extensiva de estacas y pozos distribuidos en toda el área del glaciar, se constató que la extensa red podría ser sustituida por varias estacas ubicadas dentro de una zona representativa cerca a la elevación de 4500 metros.

Este resultado experimental obtenido en el glaciar Piloto verifica la consideración teórica de que la altitud de la línea de equilibrio (ELA), donde el balance específico

de masa es cero en las condiciones de estado estacionario, es una zona representativa de todo el glaciar en el cual el balance específico en un momento dado es igual al balance medio de masa específico para el todo el glaciar. Esta "altitud característica" no varía en el tiempo - dentro de un año y de año a año -sin importar el valor ni el signo del balance de masa (Cabrera op. cit.).

Desde 1987 las mediciones discretas del balance específico de masa en la Lengua Este del Glaciar Piloto se han llevado a cabo dos veces al año, una al final de la temporada de acumulación y otra al final de la temporada de ablación, dentro de un área reducida alrededor de la "altitud característica".

El balance de invierno se obtuvo a finales de la primavera con el resultado de dureza de ramsonde, estos datos fueron convertidos a valores de densidad por correlación estadística, ajustándolos con datos de densidad obtenidos en una calicata (pozo en la nieve). El balance de verano ha sido determinado a principios del otoño. Este método ha sido utilizado en años con balances positivos. En años con balances de masa negativos solamente los datos de ablación de la estacas se ha medido porque no hay acumulación de nieve en el glaciar durante la primavera.

### Balances medios anuales del Glaciar Piloto, lengua Este

Los balances medios anuales específicos netos desde 1997 son los siguientes:

- Balance 1997-1998: -120 ( $\pm 30$ ) cm equivalente agua (w.e.)
- Balance 1998-1999: -110 ( $\pm 30$ ) cm equivalente agua
- Balance 1999-2000: -25 ( $\pm 3$ ) cm equivalente agua
- Balance 2000-2001: -39 ( $\pm 15$ ) cm equivalente agua
- Balance 2001-2002: +29 ( $\pm 3$ ) cm equivalente agua

El balance de masa acumulado entre 1979-2003 de la Lengua Este del Glaciar Piloto muestra una pérdida de masa de 10.5 m equivalente agua. En general, los valores de balance de masa son negativos, particularmente a partir de 1988-1989, con un 67% de los años mostrando un balance específico anual negativo. En años con balances negativos extremos, todo el glaciar se convierte en área de ablación, con una relación del área acumulación/ablación AAR=0. Los balances positivos de masa muestran en general un AAR= 58%.

Una gran variabilidad interanual de saldo específico anual neto se muestra en el registro de datos, debido en gran parte a las variaciones en la acumulación de nieve de invierno. Dentro del período se encuentra un balance de masa máximo de +151 cm equivalente agua y un mínimo de -230 cm equivalente agua. Los años con balances positivos de acumulación de nieve están correlacionados con el evento "El Niño", mientras que los negativos están más correlacionados con el evento "La Niña". Es evidente, una tendencia decreciente en general de la acumulación de nieve invernal, particularmente después de 1992, que ha tenido un fuerte impacto en todos los datos de registro de balance negativo.

### Relevamiento de balizas

Las balizas, utilizadas para medir el balance estival, son caños de pvc divididos en tramos de 2 m, articulados en sus extremos para formar conjuntos de 4, 6 u 8 m. Se colocan en un orificio en la nieve hecho con una sonda de vapor. En su extremo superior poseen un código que permite identificarlas.

Tras colocar la baliza en primavera se mide el tramo que emerge, y se vuelve a medir en otoño. La diferencia, con algunas correcciones, se multiplica por la densidad del hielo poroso de fin del verano ( $750 \text{ kg/m}^3$ ) para constituir el balance estival específico en el lugar. La Figura 4 esquematiza los elementos gráficos utilizados y explica su concepto.

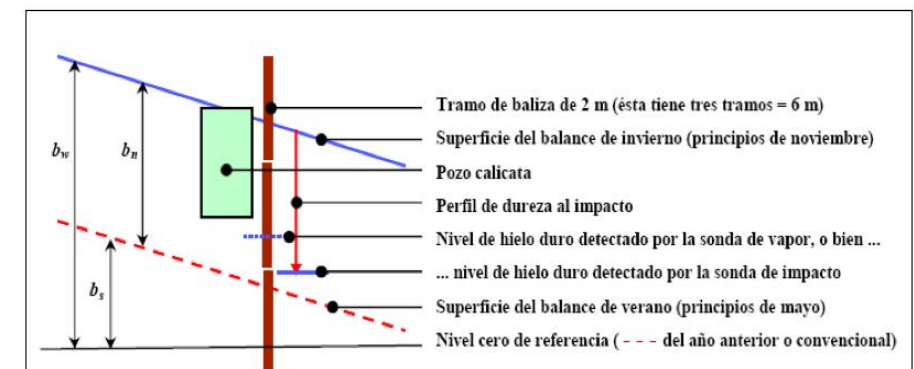


Figura 4: Elementos de la baliza

**Perfil de dureza**

El material utilizado consistió en palas agrícolas, sondas nivométricas de impacto (rammsonde) de acero con pesa de 3 kg (más fuerte y potente que las comunes de aluminio con pesa de 1 kg), termómetros de esfera y vástago, balanza de dial monoplato, toma muestras de nieve cilíndricos de medio litro, cintas métricas, sonda de vapor para perforar hielo modelo IANIGLA-3 con garrafa de gas de 5 kg, cascos, crampones y vestimenta glaciaria de alta montaña.

**RESULTADOS**

**Baliza**

- Baliza 21-04/22-04
- Long S 32°35' 22,6'' Lat W 070°08' 41,7'' h: 4560 m.s.n.m
- Fecha: 01/12/2010 Emergencia 160 cm
- Fecha: 09/04/2011 Emergencia 282 cm  $\Delta e = 122$  cm

Muestra	Profundidad (cm)	Temperatura (°C)	Peso(gramos)	Densidad (Mg/m3)
1	-15,00	0,50	569,00	0,322
2	-30,00	-6,00	655,00	0,494
3	-45,00	-6,00	592,00	0,368
4	-65,00	-6,50	576,00	0,336
5	-75,00	-6,00	621,00	0,426

Tabla I: Datos del perfil de densidad de la nieve.

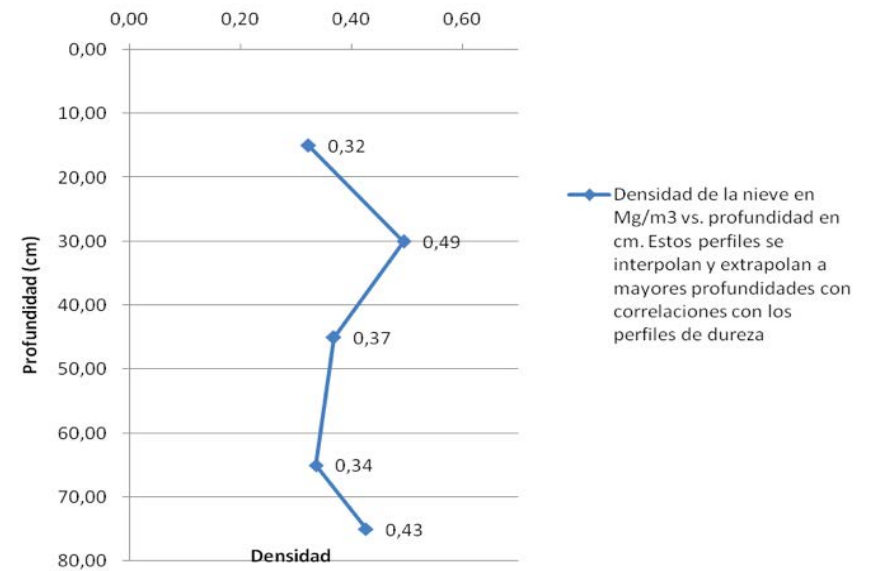


Gráfico 2: Densidad de la nieve en Mg/m3 vs. Profundidad en cm.

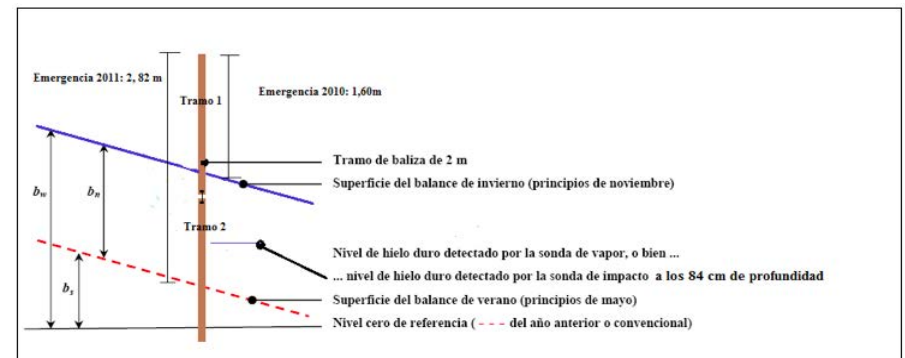


Gráfico 3: resultado de la baliza, en ella se observa la emergencia a principio de noviembre de 2010 y a principios de mayo de 2011, y los datos necesarios para la interpretación del perfil de nieve.

**Balance de masa:**

$$b_n = b_w + b_s$$

$b_w$  = Balance de Invierno 2010-2011 = 84 cm determinado por el nivel de hielo duro en la calicata con la sonda de impacto.

**Corrección del valor para ser expresado en cm equivalente H<sub>2</sub>O**

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Espesor de representatividad (cm)	cm equivalente H <sub>2</sub> O
0,32	22,50	7,20
0,49	15,00	7,35
0,37	15,00	5,55
0,34	15,00	5,10
0,43	16,50	7,10
		<b>32,30</b>

Tabla II: conversión de las mediciones de densidad de la nieve en cm e.a.(cm equivalente en agua).

$$b_w = 32,30 \text{ cm equivalente H}_2\text{O}$$

$b_s$  = Balance de verano 2010-2011= 122 cm determinado con las balizas en base a la variación de la emergencia de la baliza de ablación entre las dos fechas de medición

$$\Delta e = 122 \text{ cm.}$$

De esos 122 cm, los primeros 84 cm equivalen a 32,3 cm equivalente agua. Los últimos 38 cm son de hielo glaciar que se fundió después que desapareció la capa de nieve. Dicho 38 cm de hielo representan:

$$38 \text{ cm de nieve} * 0.9 \text{ g/cm}^3 \text{ (densidad agua)} = 34,2 \text{ cm. Equivalente H}_2\text{O o}$$

$$38 \text{ cm de nieve} * 0.85 \text{ g/cm}^3 \text{ (densidad hielo)} = 32,3 \text{ cm equivalente H}_2\text{O.}$$

$$\text{Promedio} = 33,25 \text{ cm equivalente H}_2\text{O}$$

- $b_s = - 33,25 \text{ cm equivalente H}_2\text{O} + (-) 32,30 \text{ cm equivalente H}_2\text{O} = - 65,55 \text{ cm equivalente H}_2\text{O}$
- $b_n = b_w + b_s$
- $b_n 2010/2011 = + 32,3 \text{ cm equivalente H}_2\text{O} + [(-) 65,55 \text{ cm equivalente H}_2\text{O}] = b_n 2010/2011 = - 33,25 \text{ cm equivalente H}_2\text{O.}$

**DISCUSIONES**

El resultado negativo del balance de masas confirma la tendencia generalizada de recesión glaciar que se observa desde principios de 1979. Así mismo, la importancia regional de los glaciares como origen del caudal de los ríos cordilleranos ha sido demostrada. Se debe prever cual será la consecuencia del continuo retroceso de los mismos y de los balances de masa negativos que están llevando a la desaparición de los pequeños glaciares en Mendoza.

Se debería comenzar a contemplar medidas de mitigación de impacto, entre otras, contemplar acciones tendientes a reemplazar el rol regulador de caudales que actualmente desempeñan los glaciares. El reto para los científicos es, por lo tanto, proveer información no sólo científicamente relevante sino también socialmente aplicable (Mark et al, 2008). Esta situación impone límites al desarrollo en los ecosistemas de montañada la escasez del recurso hídrico.

**CONCLUSIONES**

1. El balance de masa neto para la temporada 2010-2011 es negativo para la lengua Este del Glaciar Piloto. Siendo el mismo -33,25 cm equivalente agua.
2. El resultado del balance de masa neto 2010-2011 confirma la tendencia generalizada de recesión glaciar que se observa desde principios de 1979.
3. Esta investigación será continuada en el futuro, se analizarán los datos nuevamente buscando la continua actualización de la información

**REFERENCIAS**

- Cabrera, G.A., 1984. Balance de masa de los glaciares del Cajón del Rubio, nacientes del río de Las Cuevas, Andes Argentinos, 1982/84. Jornadas de Hidrología de Nieves y Hielos en América del Sur, Programa Hidrológico Internacional, Santiago de Chile, Diciembre de 1984 I (17), 27
- Cabrera, G.A., 1986a. Existencia de una zona representativa del balance neto medio o altitud característica de un glaciar. Trabajo inédito 14 p.
- Cabrera, G.A., 1986b. Aplicación y análisis de criterios de determinación de la altitud de la línea de equilibrio en balance estacionario como estimadores de la altitud característica. Trabajo inédito 13 p
- CORTE, A.E. Y ESPIZUA, L.E. (1981): "Inventario de glaciares de la cuenca del Río



- Mendoza.” 5-62. 19 planos. IANIGLA-CONICET.
- HELBLING, R (1919): Beitrage zur Topographischen Erschliessung der Cordilleras de los Andes zwischen Aconcagua und Tupungato: Sonderabdruck aus dem XXIII Jahresbericht des Akademischen Alpenclub. Zürich 1918
  - Keeler, C.M., 1969. Some physical properties of alpine snow. CRREL Research Report 271, December. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers. Hanover, New Hampshire.
  - LEIVA, J.C. 1982. Le glacier Piloto du Cajón del Rubio, AndesCentrales Argentinos. TesisDoctoral, Universidad deGrenoble, Francia.
  - LEIVA, J.C., et al (1986): “Glacier mass balances in the Cajón del Rubio, Andes Centrales Argentinos”. Cold Regions Science and Technology, 13 (1986), pág. 83-90. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Holanda.
  - LEIVA, J.C. and CABRERA, G.A. 1996. Glacier Mass Balance Analysis and Reconstructions in the Cajón del Rubio, Mendoza, Argentina. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 31: 1-7.
  - Leiva, J.C., (2002): “La situación actual de los glaciares andinos” en IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales; D. Trombotto y R Villalba, editores. Pág. 181 - 185. ISBN 987-43-4545-4
  - Leiva, J.C (2005): “Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en la Cordillera de Los Andes – Un caso de estudio: evidencia, pronostico y consecuencias en la cuenca superior del río Mendoza” en “Situación Ambiental Argentina 2005” A. Brown, U. Martínez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera Editores. Fundación Vida Silvestre Argentina, 2006. 587 p. ISBN 950-9427-14-4. Pág. 387-390.
  - Leiva, J.C., Cabrera, G.A., Lenzano, L.E. 2007. 20 years of mass balances on the Piloto glacier, Las Cuevas river basin, Mendoza, Argentina. Global and Planetary Change 59, 10–16.
  - Leiva J.C., Espizúa L., Iturraspe R., Masiokas M., Norte F., Villalba R.(2008): “La risposta dei ghiacciai argentini al clima dei secoli XX e XXI – The response of the Argentinian glaciers to the climate of the XX and XXI centuries”. En Terra Glacialis - Edizione Speciale – 2008 Editor: Servizio Glaciologico Lombardo. 240 páginas. 179-192.
  - Niedringhaus, L. (1965): “Study of the rammsonde for use in hardsnow” - CRREL Technical Report 153, April 1965.- Cold Region Research & Engineering Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers.
  - OSTREM, G. and A. STANLEY (1969): Glacier Mass-Balance Measurements. Inland Water

Branch, Dept. of Energy, Mines and Resources. Canada Repr. Series No. 66, 107 pp.

- OSTREM, G. and M. BRUGMAN (1991): Glacier Mass-Balance Measurements. NHRI Science Reports No. 4. Canadá.
- PATERSON, W.S.B.(1994): “The Physics of Glaciers”, 3rd Edition, Pergamon. 480 págs.
- Vorosmarty, C.J. et al. (2000). Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. Science 289: 284-288.
- Waterhouse, R. (1966): “Reevaluation of the rammsonde hardness equation” - CRREL Special Report 100, August 1966.- Cold Region Research & Engineering Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers.

## ANEXO

Aclaración: las fechas que aparecen en las fotos no se correlacionan con las fechas en que fueron tomadas.

## Fotos



# Recycling of slag from steel industry for CO<sub>2</sub> sequestration

## SUMMARY

In recent years the need to mitigate emissions of greenhouse gases in the atmosphere increased the number of studies on the use of slag for the capture of CO<sub>2</sub>: the use of mining and steel industry waste to capture carbon dioxide permanently is a method well known[1][2][3]; the question concerning the efficiency of these materials, however, is not solved[4].

In this paper we present the results obtained from tests on the carbonation of steel slag, studied by type, size class and composition, in order to verify the possibility of providing products to recover as much CO<sub>2</sub> as possible. It was verified that most of the light and dark steel slag of blast furnace have a reactivity that, with the same content of alkaline oxide, depends on the particle size. This reactivity is expressed clearly with exothermic reactions, which can be emphasized if are used certain procedures that increase the reactivity, as agitation in ultrasound. The results show that we can achieve efficiencies of capture and reaction speed very high, but low energy consumption.

## INTRODUCTION

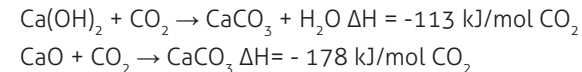
All methods to combat climate change provide a mitigation of greenhouse gas emissions into the atmosphere by reducing the consumption of fossil fuels, absorbing greenhouse gases through new green areas and injecting industrial or atmospheric CO<sub>2</sub> in the subsurface[5]. Instead a large part of the scientific world looks favourable to the use of natural or synthetic materials that consist of alkali as raw materials to absorb CO<sub>2</sub> and give rise to the formation of stable carbonates[6][7][8]. This system, which is less "visible" from the political point of view, might actually be the most suitable approach to reduce the enormous amount of CO<sub>2</sub> emitted annually by human industrial and agricultural production[8][9]. From the thermodynamic point of

F. Trapasso (1),  
P. Plescia (1),  
E. Tempesta (1),  
M. Esposito(1),  
D. Croci(1).

1- CNR IGAG - National Council of Research Institute for Environmental Geology and Geoengineering, Research Area Rome1, Montelibretti (Rome), Italy

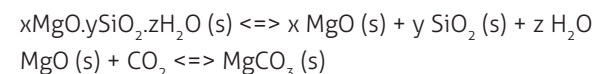
francesca.trapasso@igag.cnr.it

view, the carbon cycle starts with an oxidation, which, if total, leads to the generation of 400 kJ/mol (energy generated by combustion in oxygen of one mole of carbon converted to CO<sub>2</sub>). However, the most stable phases of carbon generated by combustion are not CO and CO<sub>2</sub> but carbonates: the carbonation is generated through the transfer of more energy; in the case of calcium carbonates reactions are as follows:



In the simplest form of carbonation, a stream of CO<sub>2</sub> released into an aqueous solution produces carbonic acid with consequent reduction of pH to weakly acidic values[7]. If the solution contains soluble alkaline hydroxides (such as Ca, K, Na, Ba, Sr) stable carbonates are generated. The precipitation of stable carbonates MCO<sub>3</sub> occurs at the time of the over saturation of the solution in carbonate[6][7]; soon after, the pH begins to rise until the quantity of carbonic acid and alkaline hydroxides is not enough to precipitate another carbonate.

Some industrial processes already active use silicate mineral phases, such as magnesium silicates of the type Serpentine, in the varieties Antigorite, Lizard, Chrysotile, with general formula xMgO · ySiO<sub>2</sub> · zH<sub>2</sub>O. It is generically of phyllosilicates present in so-called green rocks, minerals that are often the object of attention for the presence of asbestoid phases, such as Chrysotile[9][10]. The reactions involving carbonation of magnesium silicates are generally of the type:



Also these reactions are exothermic: it is possible to produce on average from 50 to 100 kJ per mole of  $\text{MgCO}_3$ . The widespread use of the Serpentine to capture  $\text{CO}_2$  is however an expensive process: for every kg of  $\text{CO}_2$  are required at least 2 kg of silicates[9][10] with prices that exceed \$ 5 per ton of silicates, that is over \$ 10 per ton of captured  $\text{CO}_2$ [8][10].

More simply and economically are available on the Planet large amounts of industrial slag and waste that have a high content of alkaline hydroxides and can absorb easily carbon dioxide; materials that can be exploited at almost null cost. In Italy the amount of steel slag available annually exceeds 4 million tons: potentially steel slag could absorb at least 400 kg of  $\text{CO}_2$  per ton, so 1.6 million tons of  $\text{CO}_2$ . In addition there are 2 million tons of incinerator slag and about 1 million of fly ash from waste incineration, the paper mill sludge and sludge from filter-water carbonate industry, consisting of over 1 million tons; then over 1 million of paper mill sludge and carbonaceous sludge from industrial water filter.

Overall, in Italy the available amount of alkaline solid waste to absorb  $\text{CO}_2$  exceeds 8 million tons: could be recovered 4 million tons of  $\text{CO}_2$  per year, equivalent to annual emissions of a city of 1600000 residents or rather 20% of  $\text{CO}_2$  emissions of the national industry of steel. In addition, the materials recovered from the carbonation could be easily reintegrated into the production cycle as materials for construction, for example in the foundation of roads and in the preparation of concrete. For these reasons, the use for the carbonation of steel slag and waste is viewed very positively and studied by many research groups around the world. The problem is essentially the efficiency of these materials. Considering that the major cost in  $\text{CO}_2$  sequestration is represented by the capture and transport of carbon dioxide, high capture efficiency reduces storage costs and improves the speed of processes, with considerable advantages from the industrial point of view. Among the methods studied it was shown the possibility to take advantage of the flotation as a method of treatment. The flotation technology, well known for over two hundred years in the mining industry, can treat large volumes of product at a reduced cost and allows quick removal of unwanted phases from the product as organic matter and hydrocarbons. Last but not least, flotation is now available as an industrial method in almost all countries in the world at extremely competitive costs.

## MATERIALS AND METHODS

To improve the efficiency of the carbonation of slag some materials have been chosen from steel industry integral cycle: blast furnace clear slag (MS) and Linz-Donawitz converter dark slag (LD); Premix is the mixture of MS and LD slag[11][12]. The chemical and physical properties of these materials are shown in Table I.

Oxides %	MS	LD	Premix
$\text{SiO}_2$	10,82	21,93	12,94
$\text{Al}_2\text{O}_3$	21,74	3,70	8,01
$\text{TiO}_2$	0,30	0,00	0,08
CaO	60,63	54,52	36,44
MgO	3,59	5,81	3,51
$\text{Na}_2\text{O}$	0,38	1,77	0,80
$\text{K}_2\text{O}$	0,00	0,61	0,59
MnO	0,17	1,28	0,90
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,52	4,23	25,63
FeO	0,00	1,28	7,71
ZnO	0,00	0,00	0,00
$\text{SO}_3$	1,71	2,67	1,71
Cl	0,14	2,20	1,67
pH*	9,2	12,5	9,1
Density (g/cc)	1,49	1,99	1,52
Loss at 105°C (%)	10	6	3

Table 1: Physical and chemical properties of steel slag used

The first significant information to study carbonation is the extent of so-called alkaline reserve, that is the available amount of alkali in the slag, which maintains the pH at high levels. The second important element is the particle size: smaller slag has a greater heat exchange surface, therefore a higher reaction rate.

For testing we used two apparatuses. The first reactor consists of a two litres volume beaker immersed in a thermostatic bath that can become an ultrasound bath; inside the beaker it is made bubbling air or pure gas with a constant flow.

In addition to an agitator, in the beaker temperature and pH sensors are placed and attached to a meter with data logger connected to a computer for real-time data recording (Figure 1, on the left). PH and temperature data are transmitted every 10 seconds to monitor every event.

The second reactor (Figure 1, on the right) consists of a 5 litres flotation cell where carbon dioxide is injected with a flow rate of 1 litre/minute; the sensors and the measurement system are the same of the apparatus described above. The slag used were prepared through a sieving into three particle size classes: fine sand ( $D < 1$  mm), coarse sand ( $D$  from 1 to 4 mm) and gravels ( $D$  from 4 to 12 mm). The rest of the products ( $D > 12$  mm) is not tested.

The tests were conducted in three phases: in the first phase each particle size fraction was subjected to three hours of pure  $\text{CO}_2$  stream in a thermostatic bath without ultrasound; in the second phase the same size classes were subjected to pure  $\text{CO}_2$  stream for three hours in the presence of ultrasound; in the third phase the same samples were subjected to three hour floatation (at 700 RPM) with  $\text{CO}_2$  instead of air.

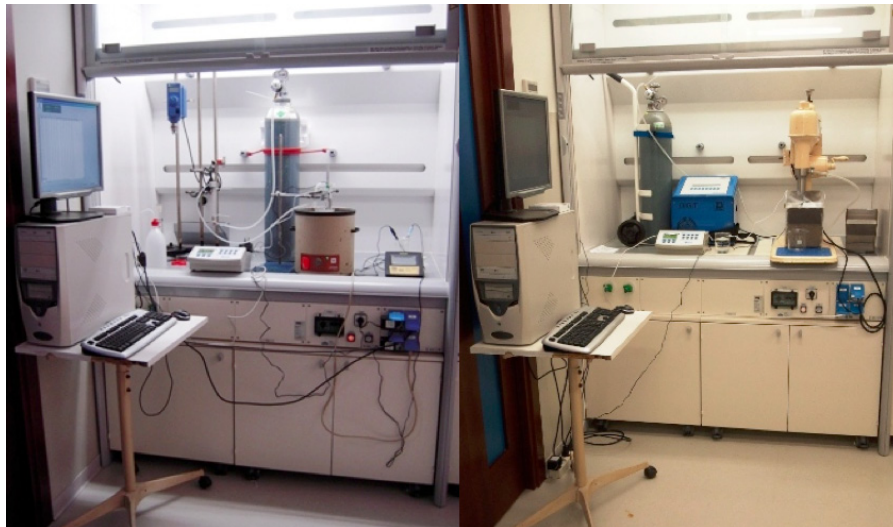


Figure 1: Apparatuses for first and second set of tests (on the left) and for third set of tests (on the right)

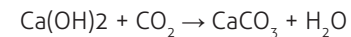
In tests conducted in this phase pure carbon dioxide was used with an average flow of 1 liter/minute, equivalent to 1.96 gram/minute. Every fraction tested is characterized by a dry weight of 270 grams immersed in 200 cc of distilled water.

The chemical composition of the slag was analyzed by X-ray fluorescence (Philips PW 1480); the parameters related to initial and final water content, initial and final amount of carbonate and total organic fraction were measured by thermogravimetric analysis (Dupont TA 600); the materials produced were analyzed with scanning electron microscope (Cambridge Stereoscan 260 with microanalysis Link OPAL) and X-ray diffraction (Rigaku Rint 1000) in order to verify the structure and content of final carbonates.

To analyze the yields of the reactions the materials were first conditioned in an oven at  $120^\circ\text{C}$  for 48 hours to reach a water content below 5%; before tests the weight of the sample was evaluated and, after the test, the sample was dried then weighed. The difference in weight obtained was used in the calculation of the carbon content and the amount of  $\text{CO}_2$  fixed. The initial amount of calcium carbonate was estimated from the analysis in thermobalance.

## RESULTS

The simplest reaction of carbonation obtained in the test cells is as follows:



In this reaction a mole of calcium hydroxide (molecular weight 74,078 g/mol) reacts with one mole of  $\text{CO}_2$  (molecular weight 44.01 g/mol) to give one mole of calcium carbonate (molecular weight 100,088 g/mol) and a mole of water. From the data by weight and elementary chemical analysis obtained on the tested slag it is possible to calculate the  $\text{CO}_2$  fixed during the test and the calcium and magnesium oxide made available to fix  $\text{CO}_2$ . Table 2 shows the effect of carbonation on the slag in terms of the amount of carbonate (next page).

Sample	% CaCO <sub>3</sub> (start)	% CaCO <sub>3</sub> after 3 hours
MS < 1 CO <sub>2</sub> bubbling	3,7	6,2
MS < 1 CO <sub>2</sub> and ultrasound	3,7	17,6
MS < 1 CO <sub>2</sub> microflot	3,7	35,6
LD < 1 CO <sub>2</sub> bubbling	4,2	6,2
LD < 1 CO <sub>2</sub> and ultrasound	4,2	6,1
LD < 1 CO <sub>2</sub> microflot	4,2	8,8
PREMIX < 1 CO <sub>2</sub> bubbling	7,7	8,6
PREMIX < 1 CO <sub>2</sub> and ultrasound	7,7	12,4
PREMIX < 1 CO <sub>2</sub> microflot	7,7	15,8

Table 2: Results of carbonation on different slag after 3 hours of CO<sub>2</sub> bubbling (bubbling of CO<sub>2</sub>, bubbling of CO<sub>2</sub> and ultrasound and microflotation)

The evaluation was carried out after three hours during which the gas flow was kept constant at 1 litre/minute corresponding to 1.96 gram/minute. After three hours the flow was stopped with a total consumption of 354 grams of CO<sub>2</sub>.

The MS sample has the highest return in terms of calcium carbonate produced: after three hours of testing it was produced pure calcium carbonate which is 36.8% by weight of the slag treated. The yield in terms of CO<sub>2</sub> fixed to the slag is 79% of the theoretical limit calculated on the basis of the alkalinity of the system.

The LD sample has a lower efficiency: the percentage by weight of carbonate reached in three hours is 8.8%, while the yield in terms of fixation of CO<sub>2</sub> is equal to 73.8%. The Premix sample, mixed slag, in terms of weight of carbonate reached 15.8% of the slag while the CO<sub>2</sub> is fixed for 65% of the maximum potential value.

From the analysis of traces of differential thermal analysis (DTA) of LD slag (Figure 2 B) it can be observed three endothermic reactions: the first around 100 °C which regards the loss of H<sub>2</sub>O of absorption, the second at about 500 °C which concerns the loss of OH of calcium and magnesium hydrates and the third at about 760-800 °C which regards the loss of CO<sub>2</sub> from carbonates.

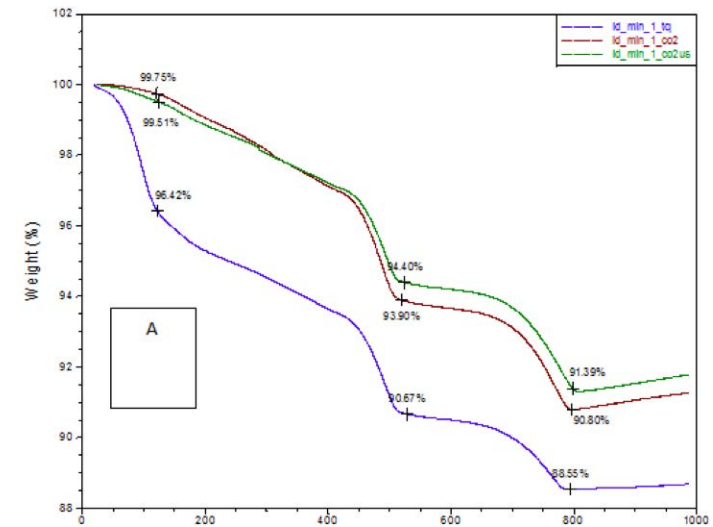


Figure 2 A: TGA analysis LD < 1mm

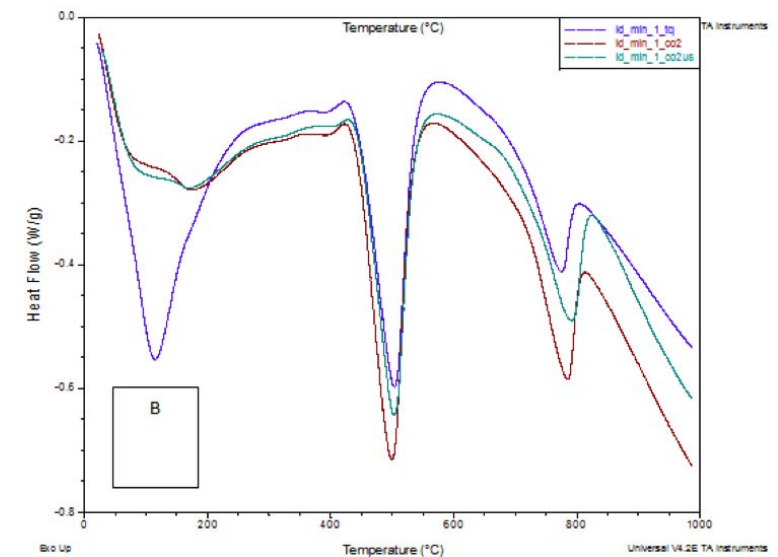


Figure 2 B: DTA analysis LD < 1mm



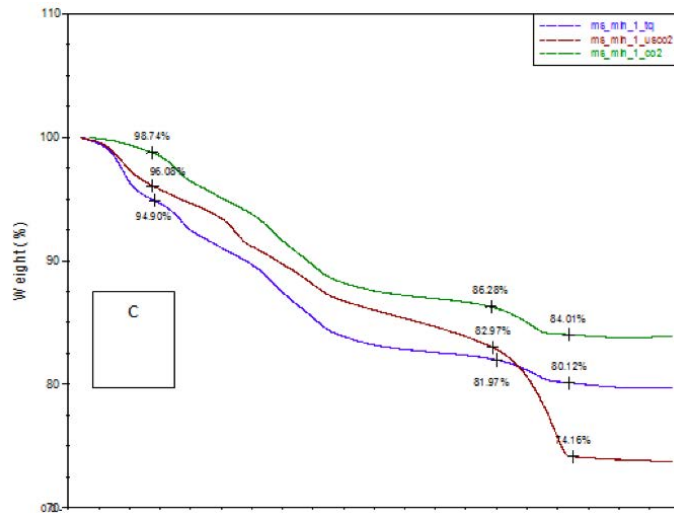


Figure 2 C: TGA analysis MS < 1 mm

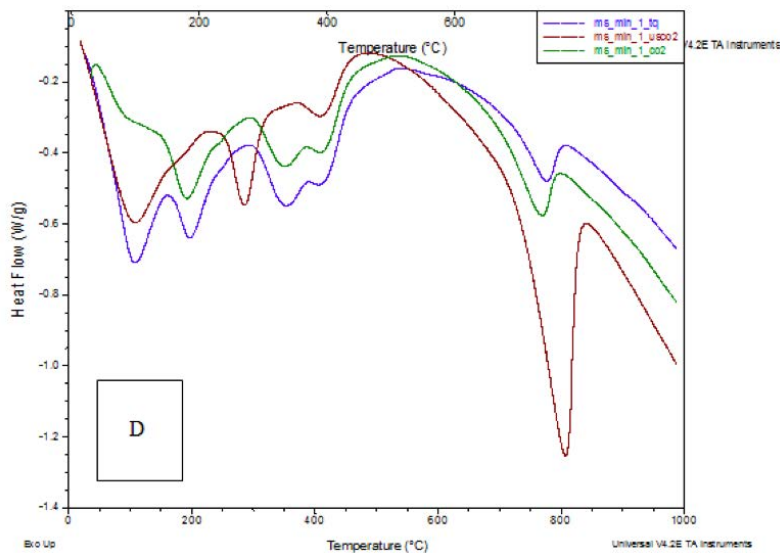


Figure 2 D: DTA analysis MS < 1 mm

The MS slag presents a more complex thermal history with five endothermic reactions placed on average around the same intervals previously described (Figure 2 D). Note the increase in area under the reaction at 800 °C relative to calcium carbonate for the MS sample treated with CO<sub>2</sub> and ultrasound.

**Effect of CO<sub>2</sub> insufflation on microelements in solution**

The acidic environment created by CO<sub>2</sub> causes a small but significant leaching of elements, in particular (Figure 3) it is leached sulphur (S), chlorine (Cl), sodium (Na) and aluminium (Al); among the heavy elements (Figure 4) iron (Fe), bromine (Br), rubidium (Rb) and strontium (Sr). Note the difference in calcium content between the samples leached obtained from MS and LD slag: LD slag showed calcium content from 2.5 to 5 times higher than LD slag not leached with maximum levels of 900 ppm; the untreated MS sample has calcium content four times greater than that leached.

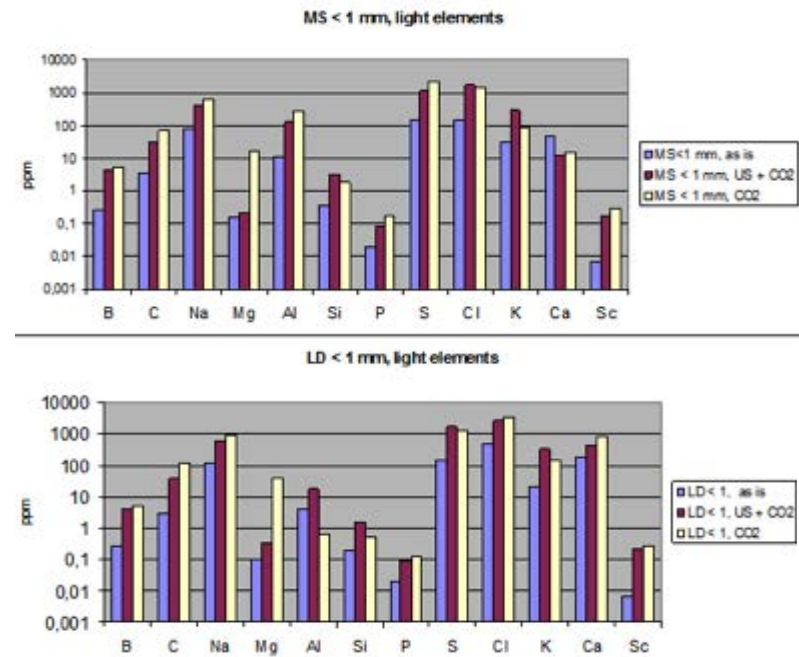


Figure 3: Chemical analysis of light elements in leached LD and MS slag

About the differences found in tests with and without ultrasound, the contents of metals and light elements in solution are higher in almost all tests with the only  $\text{CO}_2$  indicating that these elements have reacted more quickly and are precipitated thanks to the use of ultrasound.

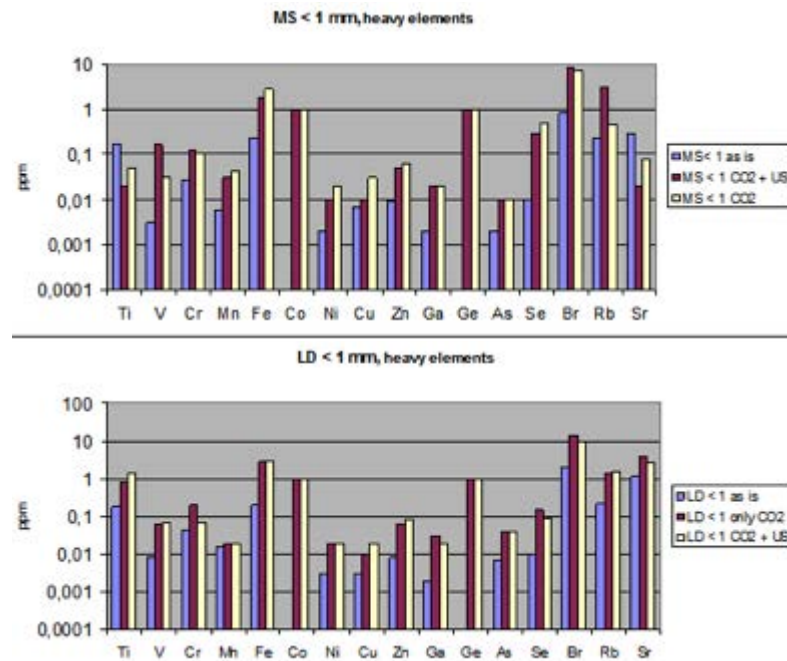


Figure 4: Chemical analysis of heavy elements in leached LD and MS slag

Structures and textures of the neoformed calcium carbonate

The structures of the carbonates that are formed from MS and LD steel slag are different and reflect different ways of crystal growth and arrangement of the structures.

In MS slag there are different structures and different forms of crystallization: in Figure 5 it can be observed fibrous crystals of calcium aluminate with botryoidal masses of calcium carbonate; in this case the crystallization of aluminates was predominant. Figure 6 is an example of oolites of calcium carbonate, empty spherules from 20 to 150 microns in diameter. The reason for which these clothing are formed is unknown.

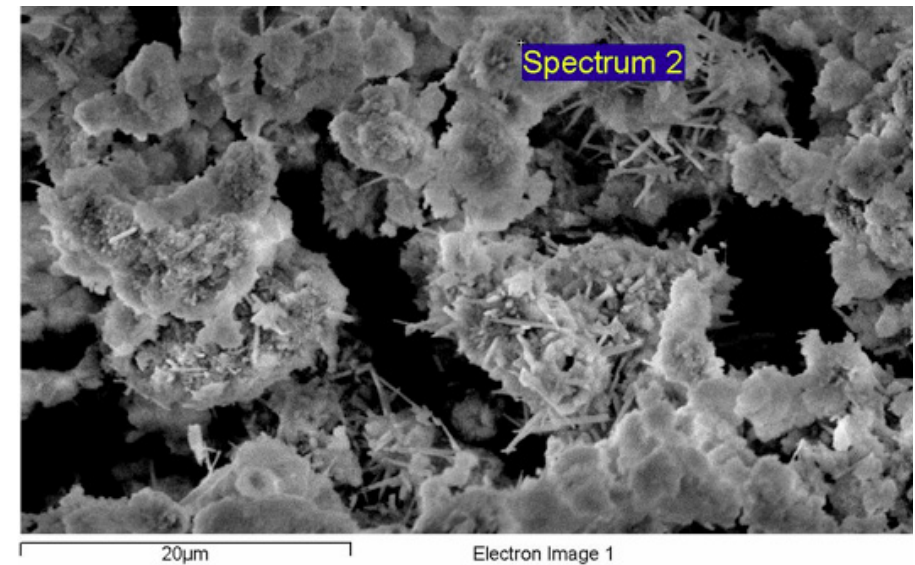


Figure 5: Deposition of calcite and calcium aluminate on slag

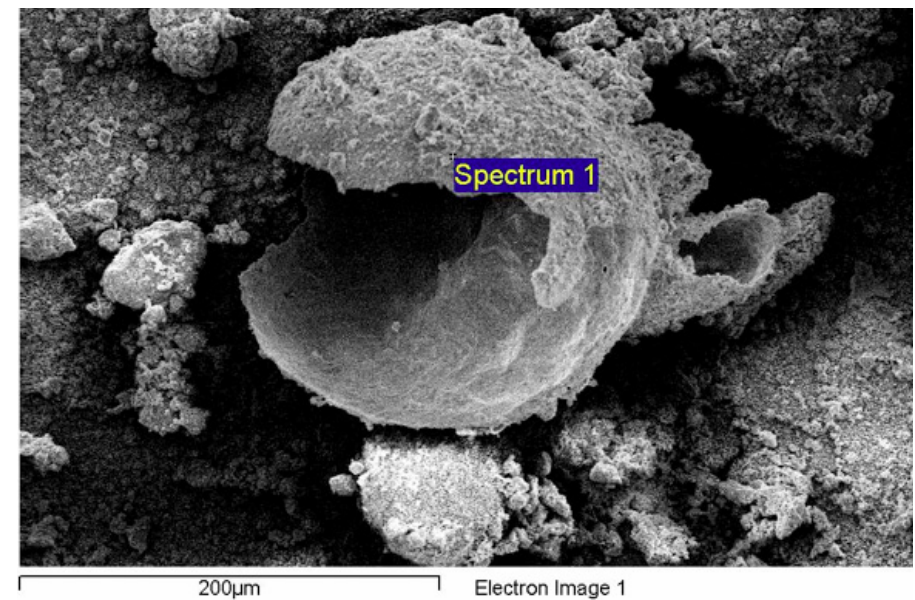


Figure 6: Oolite of neoformed calcium carbonate on MS slag

Stubby calcite crystals, forming incrustations, are obtained from quite stable and calm solutions and pave oolitic structures or crusts of calcite on the surface of the slag granules (Figure 7).

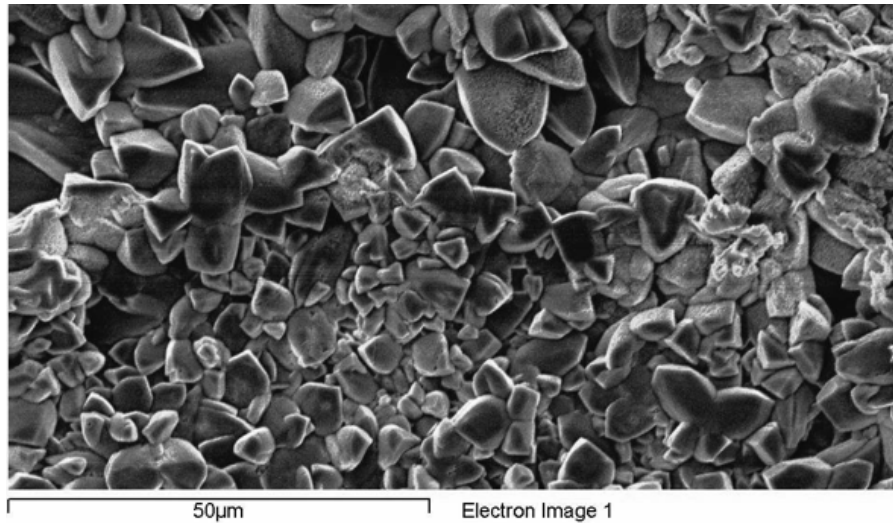


Figure 7: Felt of crystals of calcium carbonate on slag (calcite)

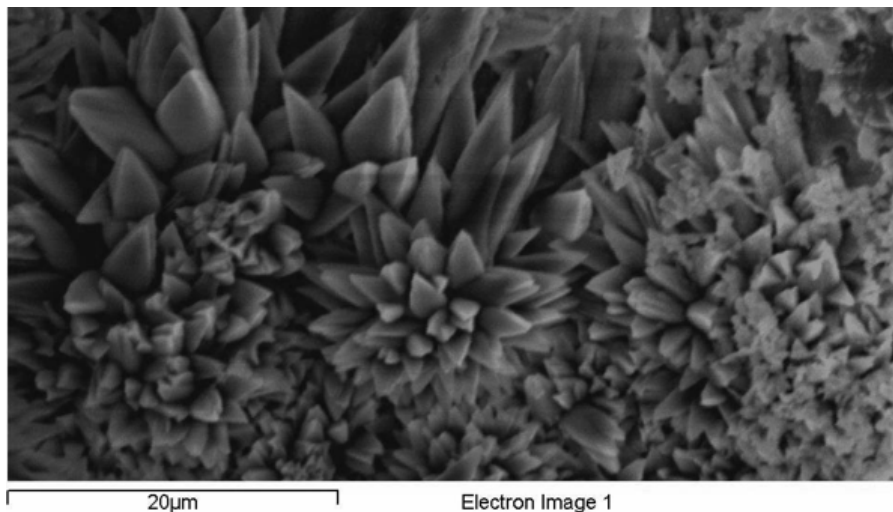


Figure 8: "Spearhead" calcite crystals on MS slag

Figure 8 refers to a crystallization of calcite obtained during flotation. From the mineralogical point of view, the neoformed carbonates are of two types:

- Calcite in the interstices of the granules and in the heavy mass
- Aragonite in the floccules

The presence of aragonite indicates a very fast reaction, probably influenced by the presence of microelements in the turbid and of magnetic materials.

### CONCLUSIONS

The results obtained in these early stages of testing on the carbonation of steel slag show that these materials have a good reactivity for recovering a certain amount of  $\text{CO}_2$  (depending on the type and the grain size of slag) and that this reactivity can be increased with the use of agitation in ultrasonic bath and, particularly in flotation, it is possible to reach very high efficiencies of capture and reaction rate, despite the low energy consumption.

Tests are still in progress to explore the various interesting aspects of the carbonation of slag and to analyze future applications in the context of sustainable development, such as the use of carbonation as a method of decontamination and stabilization of industrial waste landfills, sludge and also municipal waste.

## REFERENCES

- [1] Sipilä J., Teir S., Zevenhoven R., 2008. Carbon dioxide sequestration by mineral carbonation, literature review update 2005-2007, Åbo Akademi University Faculty of Technology Heat Engineering Laboratory, report VT 2008-1.
- [2] B. Taii, J. Brandstetr, 1989. Present State and Future of Al kali-Activated Slag Concrete, Mineral Admixtures in Cernent and Concrete, Ed. by S. L. Sarkar, Trondheim.
- [3] Halloran J. W., 2007. Carbon neutral economy with fossil fuel based hydrogen energy and carbon materials, *Energy Policy*, 35, 4839-4846.
- [4] Lal, R., 2009. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- [5] Various Authors, 2002. Workshop on Carbon Dioxide capture and storage – 2002. Regina, Canada, Ed. IPCC.
- [6] K.S. Lackner, C.H. Wendt, D.P. Butt, E.L. Joyce and D.H. Sharp, 1995. Carbon dioxide disposal in carbonate minerals. *Energy*, 20 (11), 1153-70.
- [7] Eloneva S., Teir S., Salminen J., Fogelholm C.J. Zevenhoven R., 2008. Fixation of CO<sub>2</sub> by carbonating calcium derived from balst furnace slag, *Energy*, 33, 1461-1467.
- [8] Huijgen W. J.J., 2007. Carbon dioxide sequestration by mineral carbonation, Thesis, Energy research Centre of the Netherlands, The Netherlands.
- [9] Peter B. Kelemen<sup>1</sup> and Jürg Matter, 2008. In situ carbonation of peridotite for CO<sub>2</sub> storage. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 105 (45), 17295-300.
- [10] Herzog, Howard Carbon Sequestration via Mineral Carbonation: Overview and Assessment. Massachusetts Institute of Technology.
- [11] P. Plescia, E. Tempesta, F. Trapasso, E. Barbarese, O. Cerri, 2011. Recycling of slags from steel industry and incineration for hydrogen production and CO<sub>2</sub> sequestration, Sardinia Symposium 2011, S. Margherita di Pula (Cagliari), Sardinia, Italy.
- [12] P. Plescia, E. Tempesta, F. Trapasso, E. Barbarese, O. Cerri, 2011. Recupero di scorie siderurgiche e da termodistruzione per produrre idrogeno e catturare CO<sub>2</sub>, Sardinia Symposium 2011, S. Margherita di Pula (Cagliari), Sardinia, Italy.



# Aplicación del análisis de frecuencia regional en la Cuenca Andina del Río Grande, Mendoza

## RESUMEN

El análisis de frecuencias de sucesos extremos (caudal diario máximo) es un proceso complejo y de apreciable incertidumbre. Con el fin de aumentar la confiabilidad en las estimaciones se hace uso de la información hidrológica disponible en la región. Se trata de paliar el déficit temporal con la abundancia espacial mediante transferencia de información de diferentes estaciones de la región.

El procedimiento es aplicado en la cuenca del río Grande, sur de la provincia de Mendoza. Se estimaron los cuantiles regionales, usando momentos **L** regionalizados a partir de distintas agrupaciones de estaciones, verificando su homogeneidad por medio de pruebas de Discordancia y Heterogeneidad **H2** y la adopción de la distribución de mejor ajuste por medio de la medida **ZDIST** y **PUMT**. Las distribuciones empleadas fueron: General de Valores Extremos (**GVE**), Logística Generalizada (**GLO**), Generalizada Normal (3 parámetros, **GNO**), Normal (**NOR**), Gumbel (**GUM**), Pareto Generalizada (**GPA**, de poco uso en la estimación de caudal diario medio máximo anual), exponencial (**EXP**), Pearson III (**PE3**) y Wakeby (**WAK**). Se realizaron distintos agrupamientos, a partir de las 28 estaciones hidrológicas existentes a lo largo de la Cordillera en un amplio gradiente latitudinal.

El caudal máximo diario derivado del análisis de frecuencia regional fue superior al encontrado en el análisis de frecuencia para cada sitio. La función Generalizada Normal (**GNO**) y Gumbel (**GUM**) presentaron el mejor ajuste. En general, los cuantiles fueron menores o similares en algunos sitios y mayores en relación a los obtenidos en el análisis tradicional para cada punto.

Alberto I. J. Vich (1,2),  
Federico Bizzotto (2),  
Florencia Manduca (2),  
Emilce Vaccarino (2).

1- Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA-CONICET), Av. Adrián Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, 5500 Mendoza, Argentina.

2- Instituto de Estudios del Ambiente y Recursos Naturales, Facultad de Filosofía y Letras, UNCuyo, Centro Universitario, Parque General San Martín, 5500 Mendoza, Argentina.

[aijvich@mendoza-conicet.gov.ar](mailto:aijvich@mendoza-conicet.gov.ar)

## INTRODUCCIÓN

El comportamiento de las variables hidrológicas se describe con la ayuda de funciones de distribución de probabilidades, particularmente en la estimación de sucesos extremos (caudal diario máximo diario, caudal máximo instantáneo, etc.) correspondientes a diferentes periodos de retorno. Se trata de un proceso complejo y de una apreciable incertidumbre, debido al carácter de excepcional del suceso extremo (gran periodo de retorno) y a que los registros de las observaciones de tal suceso son generalmente cortos para extrapolar con criterio a tiempos de retorno grandes. Sumado a ello, se tiene el inconveniente en la elección del modelo probabilístico que "mejor" ajusta, ya que esto constituye un motivo de controversia entre los especialistas y no existe un mecanismo de aceptación universal.

Con el fin de aumentar la confiabilidad en las estimaciones, se hace uso de toda la información hidrológica disponible. Se trata de paliar el déficit temporal de información con la abundancia espacial, aumentando la longitud de los registros disponibles mediante la transferencia de información de diferentes sitios. Este procedimiento de análisis regional desarrollado por Hosking y Wallis [8] fue aplicado a la variable caudal diario máximo, observado en distintas estaciones de la cuenca del río Grande, Mendoza, determinándose las curvas adimensionales de frecuencia de los cuantiles de caudal máximo en distintos sitios de ella.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de la cuenca del río Grande

La cuenca del río Grande se encuentra ubicada al sur de la provincia de Mendoza, en el departamento Malargüe. Se extiende entre los paralelos 34° 56´ y 35° 59´ latitud sur y entre los meridianos 69° 55´ y 70° 37´ longitud este [14]. El punto de cierre se estableció en la estación de aforo La Gotera (35° 52" latitud sur y 69° 53" longitud oeste), próximo a la localidad de Bardas Blancas. Limita al norte con la divisoria de aguas de la cuenca del río Atuel. El límite oeste está constituido por las altas cumbreras de la cordillera principal, en un frente cordillerano de aproximadamente 130 km de longitud. El límite este, sobre la cuchilla de Los Entumidos, sigue compartiendo la divisoria de aguas con la cuenca del río Atuel y posee elevaciones superiores a los 4000 m. Luego, el parteaguas, localizado sobre la sierra de Las Aguadas, comparte la divisoria de aguas con las cuencas de los ríos Salado, Pincheira y Malargüe. El límite sur, que separa las aguas entre las cuencas de los ríos Grande y Barrancas, se extiende desde la cordillera principal hasta el punto de cierre, sobre distintos cordones montañosos.

El río Grande es el más caudaloso de todos los ríos andinos de la cuenca del río Colorado. Se forma en la confluencia de los ríos Tordillo y Cobre. Drena las aguas provenientes del faldeo oriental de la cordillera principal y de los aportes del contrafuerte divisorio del río Atuel. Sus principales afluentes son los ríos Valenzuela, Chico y Poti Malal; todos ellos aforados [21]. La cuenca del río Valenzuela, con punto de cierre en la confluencia con el Grande, posee un área de drenaje de 210 km<sup>2</sup>. La cuenca del río Chico tiene su punto de cierre en la confluencia con el río Grande y presenta una extensión de 590 km<sup>2</sup>. La cuenca del río Poti-Malal, en la desembocadura con el río Grande, tiene una extensión de 755 km<sup>2</sup>. El punto de cierre de la cuenca del río Grande en el inicio del río homónimo presenta una extensión de 1330 km<sup>2</sup>; en la localidad de La Gotera, sobre el puente de la ruta nacional Nro. 40, es de 4950,65 km<sup>2</sup>. La cuenca posee una forma ligeramente rectangular con orientación predominante norte-sur, el lado mayor paralelo a la cordillera principal.

El basamento de la cuenca está formado por vulcanitas e hipabisales del Grupo Choiyoi (andesitas, dacitas, riolitas y sus tobas) de edad Pérmica superior a Triásica inferior, que ocupan la porción al noreste de la naciente del río Grande y la parte suroccidental de la cuenca. Continúan en la sucesión litológica las sedimentitas marinas

del Jurásico inferior a superior (formaciones El Freno, Puesto Araya, El Codo y parte de Puchenque), predominantemente compuestas por sedimentitas clásticas (conglomerados, areniscas y pelitas) y evaporitas y rocas carbonáticas (yeso y calizas) (formaciones Tábanos, Lotena, La Manga, Auquilco y parte de Puchenque).

Geomorfológicamente, el área se caracteriza por presentar valles profundos con perfil en forma de U y un claro control estructural de rumbo nornordeste – sursuroeste. En las cuencas de los ríos Valenzuela, Cobre y Tordillo se manifiestan los efectos del permafrost, como la presencia frecuente de termocarst y congelifracturación en las laderas de los valles, a lo que se suman depósitos de tipo morénico. El fondo del valle del río Grande presenta extensos depósitos aluviales, en partes aterrizados, y en las alturas se observan circos en los que se desarrollan campos de nieve, típicos de la morfología glaciar.

El macizo andino, donde se desarrolla la cuenca, se caracteriza por presentar cuatro niveles o pisos de vegetación. El piso glacial, por encima de 3700 m de altitud, sin vegetación, donde el agua permanece congelada la mayor parte del año. El piso nival, situado entre los 3700 y 3000 m de altitud presenta una vegetación pulvinada, en forma de cojines aplicados al suelo, con coberturas inferiores al 20 %. El piso de las veranadas se ubica entre 1500 y 3000 m de altitud, se caracteriza por el descongelamiento y congelamiento estacional, con presencia de gramíneas y leñosas. El cuarto piso es el de invernada, sobre áreas de piedemonte. Debe agregarse a ellos la vegetación riparia asociada a terrazas fluviales con corrientes de agua permanentes [13].

### Estaciones de aforos

La información hidrológica analizada se corresponde con series de caudal diario medio y fue proporcionada, en su mayor parte, por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Las estaciones de aforos se localizan sobre la cordillera de Los Andes y serranías del noroeste argentino, en un amplio gradiente latitudinal que se extiende, prácticamente, a lo largo de todo el territorio nacional. Sus características principales se muestran en la Tabla I.

### Análisis exploratorio de datos (AED)

En general, las distintas series presentaban porcentajes disímiles de datos faltantes. Se efectuó un análisis exploratorio de los datos (AED) con el objeto de rellenar los vacíos, ordenar y preparar la información disponible, caracterizar de manera sintética la variable a analizar, evaluar algunos supuestos básicos subyacentes en el diseño de test estadísticos y detectar valores fuera de rango.

En función de la extensión del vacío o laguna de información, se aplicaron distintos procedimientos para su rellenamiento [5]. Para una longitud de tres días de datos perdidos se emplea un polinomio interpolador de tercer grado. Si la extensión de la laguna varía entre 4 y 20 días, se usa un modelo autoregresivo de primer orden con corrección, siempre y cuando exista información precedente a la laguna, cuya extensión sea entre dos y tres veces la longitud de la interrupción. Para vacíos mayores de 20 días se utiliza el método **MOVE (Maintenance Of Variance Extention)**, el cual se emplea cuando existe información en otro sitio con características similares (estación base) y un registro común que incluya la interrupción. Este método preserva mejor las características estadísticas de la serie, que los métodos tradicionales de regresión. Para cada uno de los sitios a rellenar se tomaron distintas series como base. Las series base adoptadas son aquellas que presentaron el mayor coeficiente de correlación.

Se verificaron las condiciones de: normalidad, independencia y aleatoriedad de las series de caudal diario máximo. Para evaluar la normalidad se aplicaron los Test de Shapiro-Wilks y Test de Asimetría y Curtosis (Snedecor y Cochran 1962, citado en Salas [18]). La independencia entre las observaciones fue evaluada mediante el contraste del coeficiente de correlación serial con un retardo de 1 y 2 años [16], el test de Bartlett y el de Von Neuman. La medida de la aleatoriedad se realizó mediante los Test de Rachas y Test de Kendall [10].

Posteriormente, se analizó si las series eran homogéneas o estacionarias, aspecto fundamental para un posterior análisis de frecuencia. Series estacionarias son aquellas que provienen de regímenes hidrológicos que no han sufrido alteraciones naturales o artificiales. La falta de homogeneidad más frecuente proviene de la intervención humana (trasvase de cuenca, construcción de embalses, cambios en el uso del suelo, etc.) y de fluctuaciones en el régimen de las precipitaciones y las tem-

peraturas, producto del calentamiento global. Los sistemas hidrológicos son potencialmente sensibles al cambio climático, lo que implica importantes modificaciones en la magnitud y temporalidad de los escurrimientos (crecientes y estiajes). Existen evidencias de alteración del ciclo del agua en las cuencas andinas durante el siglo XX, dado por la retracción y pérdida de masa de los glaciares de montaña durante los últimos 100 años y particularmente durante las últimas décadas.

RIO	ESTACION	LAT.	LONG.	AREA (km <sup>2</sup> )	ALT. (msnm)	DATOS (%)	MES INICIO	RECOR D	
Bermejo	Aguas Blancas	ABL	22°43'	64°22'	4850	405	100.0	setiembre	1944-03
	Pozo Sarmiento	PSA	23°06'	64°13'	25000	296	100.0	setiembre	1940-03
Las Cañas	Potrero del Clavillo	LCA	27°24'	65°59'	1000	1300	100.0	setiembre	1943-03
	Alvarez Condarco	ACO	31°57'	69°42'	3710	1950	95.4	julio	1952-03
Los Patos	La Plateada	LPL	31°53'	69°41'	8500	1900	95.8	julio	1909-03
	Km 101	101	31°20'	69°06'	18348	1310	86.5	julio	1971-03
San Juan	Km 43,7	473	31°32'	68°53'	25670	945	99.9	julio	1909-03
	Vacas	Punta de Vacas	VAC	32°51'	69°46'	570	2450	99.5	julio
Cuevas	Punta de Vacas	CUE	32°51'	69°46'	680	2430	95.0	julio	1949-03
	Tupungato	Punta de Vacas	TUP	32°51'	69°46'	1800	2430	95.0	julio
Mendoza	Guido	GUI	32°51'	69°16'	9040	1238	100.0	julio	1956-03
Tunuyán	Valle de Uco	UCO	33°47'	69°15'	2380	1200	97.7	julio	1944-03
Diamante	La Jaula	LJA	34°40'	69°19'	2753	1500	98.5	julio	1970-03
	Puente Sosneado	PSO	35°05'	69°36'	2385	1580	97.6	julio	1972-06
Atuel	Loma Negra	LNE	35°04'	69°07'	3860	1340	100.0	julio	1981-06
	La Angostura	LAN	35°02'	68°52'	3800	1200	99.8	julio	1906-06
Salado	Cañada Ancha	CAN	35°13'	69°46'	810	1700	95.5	julio	1939-06
	Pincheira	PIN	35°31'	69°48'	160	1750	88.3	julio	1967-06
Grande	La Estrechura	LES	35°19'	70°18'	1070	1690	81.5	julio	1977-06
	La Gotera	LGO	35°52'	69°53'	6180	1400	94.8	julio	1971-06
Valenzuela	Valle Noble	VAL	35°19'	70°18'	243	1680	79.0	julio	1977-06
	Chico	Las Loicas	CHI	35°48'	70°05'	1500	1500	94.4	julio
Poti Malal	P. Gendarmería	PMA	35°52'	69°57'	840	1485	93.5	julio	1971-06
Colorado	Buta Ranquil	BRA	37°06'	69°44'	15300	850	-	julio	1939-05
Neuquén	Paso de Indios	PDI	38°32'	69°25'	30843	498	100.0	abril	1903-03
Limay	Paso Limay	PDL	40°32'	70°26'	26400	538	100.0	abril	1903-95
Chubut	El Maitén	EMA	42°06'	71°10'	1200	680	99.5	abril	1943-03
	Los Altares	LAL	43°51'	68°30'	16400	275	97.4	abril	1943-03
Santa Cruz	Charles Fuhr	CFU	50°16'	71°54'	15530	206	94.00	setiembre	1955-03

Tabla 1: Estaciones de aforos

En los sistemas naturales la variabilidad es la condición normal y, por lo tanto, no existen series estrictamente homogéneas. Pese a ello, a los fines prácticos, pueden ser consideradas como series estacionarias ya que la información hidrológica empleada proviene de cuencas que poseen muy baja intervención humana. Por otra parte, la sola sospecha de cambios a escala planetaria en las condiciones climáticas

obliga a evaluar el régimen de escurrimiento en lo relacionado con modificaciones en la tendencia de largo plazo o cambios abruptos en los valores medios.

La metodología empleada en la evaluación de la tendencia de largo plazo se basa en pruebas estadísticas paramétricas: *t* de Student [16], y no paramétricas: **SROC (Spearman Rank Order Correlation)** muy usado por la Organización Meteorológica Mundial [10], Mann-Kendall [7] [23] y sus modificaciones de corrección de la varianza [6] y preblanqueo [25].

Existen numerosos métodos para la detección de cambios abruptos o saltos en una serie de observaciones hidrológicas [17]. El test comúnmente usado es el test paramétrico *t* de Student secuencial. Se basan en la verificación de la igualdad estadística de dos medias muestrales, lo que significa que ambas muestras pertenecen a la misma población y, por lo tanto, no ha habido cambios abruptos en el régimen hidrológico debido a causas antrópicas (trasvase, construcción de embalses, etc.) o modificaciones en la circulación general en la atmósfera.

También se han aplicado otros test, como: Pettitt [15], Buishand [1] o Worsley [24]. Se tratan de test no paramétricos, de fácil aplicación y válidos para la detección de un sólo punto de cambio; su principal inconveniente radica en el hecho que en algunos casos previamente debe eliminarse la tendencia en la serie y que las observaciones se encuentren normalmente distribuida.

A veces se presentan datos fuera de rango, atípicos o dudosos; se trata de medidas muy grandes o pequeñas comparadas con el resto de los valores de la variable bajo análisis y se sospecha que no son representativos de la población de donde se ha extraído la muestra. Su importancia radica en que pueden distorsionar los contrastes estadísticos. Para probar la presencia de datos atípicos se emplearon el conocido Test de Grubbs [19], el Test de Rosner [3] y el desarrollado por la Interagency Advisory Committee on Water Data [9]. En general, los métodos de detección son sencillos y directos, pero el tratamiento de cada uno de ellos requiere de la incorporación de condiciones no sólo matemáticas, sino también de consideraciones hidrológicas. De existir valores dudosos altos, deben ser comparados con la información histórica y de crecientes en sitios cercanos a fin de excluirlos o no del análisis. El tratamiento de este tipo de información siempre contiene una cuota de subjetividad y prácticamente no existe una metodología de aceptación universal.

### Análisis de frecuencia regional

El objetivo del análisis de frecuencia regional es obtener frecuencia (valor esperado para determinado tiempo de retorno, probabilidad de ocurrencia, etc.) de algún fenómeno extremo, en una determinada región. Se aplicó el desarrollado por Hosking y Wallis [8]. El método realiza algunas suposiciones, tales como: reemplaza la falta de información en un sitio particular con el aumento de información espacial asumiendo que este conjunto de estaciones es homogénea; las observaciones regionales tienen la misma función de distribución de probabilidades; la variable en los distintos sitios difiere en un factor de escala, que es la media o mediana de la distribución en cada estación. Para la estimación de cuantiles de **Q<sub>max</sub>** regionales se calcularon las curvas de crecimiento para distintas funciones de distribución conjuntamente con el uso de los momentos **L** regionalizados [4] [11]. La curva de crecimiento, adimensional, es una relación funcional explícita entre un cuantil específico y su probabilidad de excedencia.

Previo al análisis regional propiamente dicho, es necesario recabar la mayor cantidad de información de distintos sitios y someterlos a un exhaustivo análisis exploratorio de datos como el descripto, para corregir errores, rellenar las series, detectar observaciones atípicas, verificar algunos supuestos estadísticos y analizar si se trata de series estacionarias.

Posteriormente, se agrupan los sitios de observación dentro de una región homogénea y estos deben ser similares respecto a su distribución de frecuencias. Es decir, para que un sitio no pertenezca a un agrupamiento, la curva de distribución de frecuencia acumulada debe ser radicalmente diferente del promedio grupal. Ello se mide por medio de la medida de discordancia **D<sub>k</sub>**, que se determina empleando los cocientes de momentos **L** adimensionales (**T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, ... T<sub>i</sub>**). La medida de discordancia fue desarrollada por Hosking y Wallis [8] para testear si un sitio o estación es similar al resto de sitios del agrupamiento.

Cuando **D<sub>k</sub> > D<sub>crítico</sub>**, valor que se encuentra tabulado [8], indica que el sitio es discordante y no pertenece al grupo. Ello significa que dicha estación debe ser separada del grupo y sometida a un análisis de calidad más profundo. Se considera que el vector de momentos **L** representa un punto en el espacio y que el conjunto de estaciones de una región específica definen una nube de puntos.

Cualquier punto que se aparte significativamente del centro de gravedad del conjunto de puntos, es considerado como discordante.

La heterogeneidad se utiliza para evaluar cuándo un conjunto de estaciones de una región específica puede ser considerado como homogéneo. La medida de heterogeneidad **H2** [8] empleada compara la variabilidad de los momentos **L** adimensionales de cada sitio que conforman una región con la esperada, obtenida a partir de pruebas de simulación. Se define como:

$$V_2 = \left[ \frac{\sum_{k=1}^M N_k \left[ (T_2^{(k)} - T_2^R)^2 + (T_3^{(k)} - T_3^R)^2 \right]}{\sum_{k=1}^M N_k} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$H_2 = \frac{(V_2 - \mu_{V_2})}{\sigma_{V_2}} \quad (2)$$

La determinación de la media **mV** y desviación estándar **SV2** del estadístico **V2** se logra mediante simulación. Se determinan series sintéticas para cada sitio de la región, se calculan los momentos **L** regionalizados y se estima **V2**. El exponente **k** o **R** indica si se trata de momentos del sitio o regionalizados. La generación de series sintéticas para cada sitio se realiza a partir de la de distribución de probabilidad de Kappa o Wakeby y haciendo equivalente la probabilidad acumulada **F(x)** a números aleatorios uniformemente distribuidos en el intervalo **(0,1)**. El número de simulaciones realizadas es igual a 500. Los autores han propuesto que una región es aceptablemente homogénea si **H2 < 1**, posiblemente homogénea si **1 < H2 < 2** y heterogénea si **H2 > 2**.

Una vez comprobada la homogeneidad de la región propuesta, es necesario adoptar una distribución del conjunto de distribuciones candidatas que mejor ajusta. Las distribuciones candidatas empleadas en el análisis son: General de valores Extremos (**GVE**), Logística Generalizada (**GLO**), Generalizada Normal (3 parámetros, **GNO**), Normal (**NOR**), Gumbel (**GUM**), Pareto Generalizada (**GPA**, de poco uso en la estimación de caudal diario medio máximo anual), exponencial (**EXP**), Pearson III (**PE3**) y Wakeby (**WAK**).

Los cuantiles para las estaciones de la cuenca del río Grande de cada distribución candidata se obtienen del producto entre las ordenadas de la curva de crecimiento regionalizada adimensional y la mediana de cada sitio. Para el procesamiento de los distintos agrupamientos, la definición de las curvas de crecimiento para las funciones citadas anteriormente (cuantiles y valor de la función de distribución) y la estimación de sus parámetros sobre la base de los momentos **L** regionalizados se elaboró un programa en FORTRAN, empleando las rutinas desarrolladas por Hosking [26].

Otra medida del grado de incertidumbre del agrupamiento, definida como la diferencia entre la función de distribución regional y los distintos sitios que integran el agrupamiento, para un cuantil de recurrencia **T** es:

$$PUM_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{sitios}}} N_i (\ln x(T)_i - \ln x(T)^R)^2}{\sum_{i=1}^{N_{\text{sitios}}} N_i}} \quad (3)$$

Donde el subíndice *i* indica el "i-ésimo" sitio del agrupamiento, el exponente **R** denota el valor regional, **x(T)** es el cuantil adimensional de recurrencia **T**. Para una función específica, el menor valor indica el un buen agrupamiento. La adopción de la función de distribución que mejor ajusta a los datos observados, se realiza sobre una medida de bondad de ajuste **ZDIST** definida por Hosking y Wallis [8]. Se expresa como:

La determinación de **B4** y **s4** se logra mediante simulación y se emplea un criterio similar al usado en la determinación del estadístico **V**. Se considera que el ajuste a determinada distribución es la adecuada si el estadístico **ZDIST** es cercano a cero, siendo un valor razonable cuando se encuentre entre **-1,64 < ZDIST < 1,64**. En síntesis, el análisis de frecuencia regional requiere del cumplimiento de cuatro etapas:

- Análisis exploratorio de las observaciones.
- Identificación de regiones homogéneas.
- Selección de la distribución regional de frecuencias.
- Estimación de parámetros y cuantiles de la función regional de distribución de probabilidades.

## RESULTADOS

### Caudal diario máximo - AED

Las principales características estadísticas de las series (promedio, mediana, valores extremos, desvío estándar, coeficiente de variación, asimetría, curtosis), resultados de test de normalidad, independencia y aleatoriedad y homogeneidad se muestran en la Tabla II:

sitio	N	media	mediana	max.	min.	desvio	CV	CS	CK	AE D	B	
ABL	60	1342,74	1063,43	4240,00	504,00	760,30	0,566	1,756	7,029	RAA	ns	ns
PSA	64	4007,55	3451,47	11260,02	1144,00	2316,94	0,578	1,653	5,813	RAA	+	1974
LCA	51	59,50	42,69	257,60	11,23	53,35	0,897	1,958	7,245	RAA	ns	ns
ACO	47	71,50	53,18	264,77	12,78	52,16	0,729	1,517	6,461	RAA	ns	ns
LPL	47	168,57	107,00	739,82	26,40	153,78	0,912	1,613	6,434	RAA	ns	ns
101	33	196,72	120,00	795,00	30,11	175,23	0,891	1,763	7,014	RAA	ns	ns
473	53	172,98	108,60	663,14	32,15	149,50	0,864	1,436	4,853	RAA	ns	ns
VAC	55	16,62	13,40	66,55	4,00	12,51	0,753	2,481	10,792	RAA	ns	1977
CUE	55	21,02	17,50	70,00	5,46	12,92	0,615	1,644	6,590	RAA	ns	1972
TUP	55	85,79	75,70	293,00	34,30	44,31	0,516	2,630	12,753	RAA	ns	1978
GUI	48	148,94	127,13	401,46	51,80	75,29	0,506	1,879	7,552	RAA	ns	1977
TUN	60	93,50	83,16	211,00	41,12	41,71	0,446	1,381	4,851	RAA	ns	ns
LJA	34	105,41	103,26	227,00	28,98	47,92	0,455	0,675	4,245	AAA	ns	ns
PSO	35	124,08	117,60	306,45	54,42	51,32	0,414	1,469	7,445	RAA	ns	ns
LNE	23	99,24	96,88	210,50	35,82	41,07	0,414	0,769	5,080	AAR	ns	ns
CAN	68	36,64	29,91	101,40	6,71	18,39	0,502	1,101	5,054	RRA	+	ns
LAN	76	89,30	83,95	207,50	37,00	32,37	0,363	0,928	4,352	RRA	+	1972
PIN	40	17,13	13,59	63,12	3,58	11,10	0,648	2,100	10,172	RAA	+	1982
LES	30	136,06	135,17	365,69	29,25	68,97	0,507	1,474	7,706	RAA	ns	1987
VAL	30	37,96	34,22	173,90	7,23	29,00	0,764	3,748	21,172	RAA	ns	ns
CHI	16	54,57	61,51	86,02	8,81	20,84	0,382	0,490	4,626	AAA	ns	ns
PMA	36	30,41	27,45	79,97	3,55	17,45	0,574	0,988	4,747	RAA	ns	ns
LGO	36	382,73	410,28	840,00	70,51	148,41	0,388	0,438	5,090	RAA	ns	ns
PDI	101	1870,71	1723,00	5569,00	153,77	1141,32	0,610	0,835	3,791	RRR	ns	1971
PLI	93	2526,21	2257,40	4909,10	786,00	1182,55	0,468	0,556	2,462	RAA	ns	ns
EMA	61	124,07	110,06	360,50	18,18	68,06	0,549	1,354	5,585	AAA	ns	1983
LAL	58	238,09	225,00	496,00	62,12	116,21	0,488	0,510	2,870	RAA	ns	ns
CFU	47	1483,62	1379,03	2669,75	762,06	408,71	0,275	1,215	4,883	RAA	ns	ns

Tabla II: Principales propiedades estadísticas de la serie caudal máximo. en  $m^3 \cdot s^{-1}$

Todas las series presentan asimetría positiva, excepto la serie corta del río Chico, por lo que la mayoría de las observaciones tiende a tomar valores menores que el promedio. La función de distribución de todas las series es leptocúrtica, con un elevado grado de concentración alrededor del modo.

La nomenclatura es: **A** se acepta la hipótesis nula, **R** se rechaza la hipótesis para un nivel de significación de  $\alpha = 0,05$ . La secuencia es: test de normalidad, independencia y aleatoriedad respectivamente. Como se han aplicado distintos métodos, se tomó un criterio restrictivo basado en el hecho que para aceptar la condición anali-

zada ningún método debía rechazar la hipótesis nula; el mismo criterio se emplea en la detección de cambios en la serie.

En general, las distintas series no presentan cambios graduales estadísticamente significativos, excepto en el Bermejo (**PSA**), Atuel (**LAN**), Salado (**CAN**) y Pincheira (**PIN**), con valores de tendencia no paramétrica  $B = 44,16, 0,30, 0,42$  y  $0,24 m^3 \cdot s^{-1}$  año<sup>-1</sup>. Se presentan cambios abruptos positivos en los valores medios en las cuencas de los ríos Bermejo (**PSA**), Mendoza (en todos los sitios de afluentes), Atuel (**LAN**), Pincheira (**PIN**) y Neuquén (**PDI**), durante la década del 70, excepto en **PIN** que se da a principios de los 80. Una disminución en el caudal diario máximo medio sólo se observa en los ríos Grande (**LES**) y Chubut (**EMA**) a comienzos de la década del 80.

Registros atípicos altos fueron identificados en todas las cuencas analizadas, particularmente en 1982-83. Los años hidrológicos con observaciones atípicas son: 1921-22, 1941-42, 1972-73, 1973-74, 1979-80, 1982-83, 1983-84, 1987-88 y 1992-93. Ellos se corresponden con años donde el fenómeno El Niño tuvo una intensidad de moderada a severa, durante esos años hidrológicos [22]. En su gran mayoría, los caudales atípicos detectados responden a fenómenos globales de características excepcionales y difícilmente se puedan deber a errores en las mediciones. Por tal razón, no se los excluye en el análisis. Del **AED** se desprende que el mayor valor de  $Q_{max}$  en el río Grande se midió en el año hidrológico 1982-83, con un valor de  $365,69 m^3 \cdot s^{-1}$  y  $840,00 m^3 \cdot s^{-1}$  en los puestos La Estrechura y La Gotera. Los años con mayores caudales en La Estrechura se presentaron en 1982-83, 1986-87 y 1983-84; en La Gotera los años 1982-83, 2005-06 y 1990-91.

En el río Valenzuela, como, el máximo maximorum de  $173,90 m^3 \cdot s^{-1}$  ocurre en 1990-91 y corresponde a una creciente excepcional; las tres mayores crecientes se dieron en los años 1990-91, 2004-05 y 1987-88.

El río Chico, serie muy corta, el régimen de crecientes es más regular, con un máximo de  $86,02 m^3 \cdot s^{-1}$  para el año 2006-07 y valores decrecientes en los años 2005-06 y 1994-95.



El río Poti Malal presenta una distribución temporal de caudales máximos similar al del río Grande, con valores importantes en los años 80 y comienzo de siglo. El caudal máximo maximorum de 79,97 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> y se presenta en 2005-06; otros máximos, en los años 1982-83 y 2002-03.

Las crecidas son fuertemente concentradas a fines de primavera, pero es factible encontrar alguna creciente importante a fines del otoño en los meses de mayo y junio, incluso hasta julio. Se muestra la posición del **Q<sub>max</sub>** para las distintas estaciones en la Figura 1.

En el río Grande, en La Estrechura, el 63% se concentra en el periodo comprendido entre el 28 de noviembre y el 1 de enero; en el río Valenzuela los valores máximos se adelantan un poco y el 67% se los encuentra entre el 18 de noviembre y el 27 de diciembre; en el río Chico entre el 8 de noviembre y el 2 de diciembre se localiza el 56% de los valores máximos; en el río Poti Malal el 58% de las crecientes se presentan muy adelantadas en relación al resto entre el 14 de octubre y 12 de noviembre; en el río La Gotera, que representa la síntesis de todos los procesos que se verifican en su cuenca, se tiene que el 80% de las crecientes se concentran en el periodo del 13 de noviembre al 27 de diciembre.

### Análisis regional de frecuencias

Como primera medida se empleó el análisis tradicional (métodos de momentos, métodos de máxima verosimilitud, momentos ponderados por probabilidad y momentos mixtos) para la determinación de la función de distribución. Se aplicaron los modelos AFMON y AFMULTI [27]. Se calculó el valor de la variable caudal máximo para 12 niveles de probabilidad de excedencia  $P(Q > x) = 1 - F(Q \leq x)$ . El proceso de toma de decisión para la elección del modelo probabilístico que "mejor" ajusta es motivo de controversia entre los especialistas ya que no existe un mecanismo de aceptación universal, y los criterios de bondad sólo constituyen una condición necesaria pero no suficiente [28]. Se calcularon los errores cuadráticos medios de frecuencia (ECMF) y de valores (ECMV) estimados, ya que son de utilidad para determinar cuál modelo ajusta mejor a la serie analizada, pero no es factible realizar inferencias sobre la población de dicha variable. Los resultados obtenidos para las estaciones de la cuenca del río Grande se muestran en la Tabla III (página siguiente):

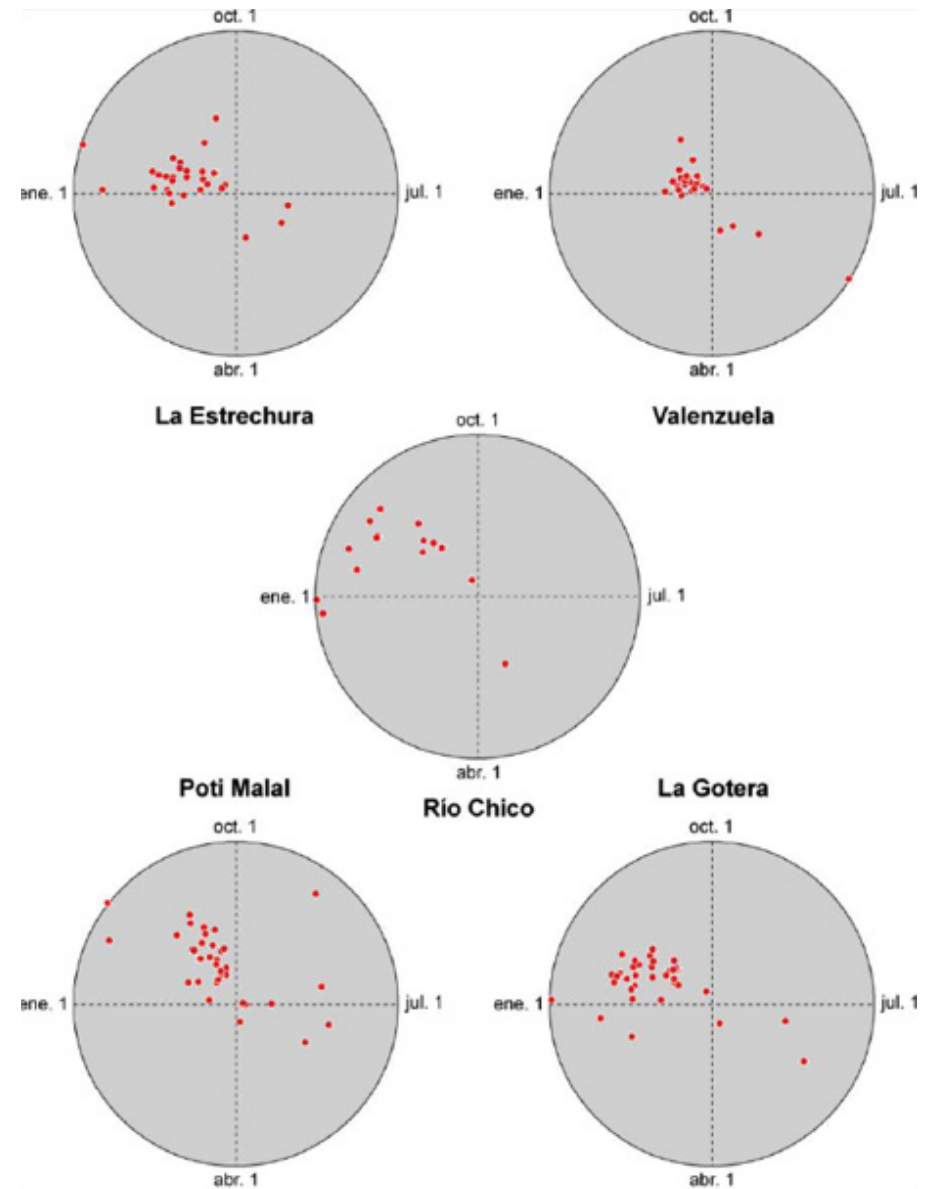


Figura 1: Estacionalidad de los caudales diarios máximos. En la cuenca del río Grande.

1-F	T	LES GU(MPP)	VAL PE3(MV)	CHI PE3(MV)	PMA GU(MPP)	LGO PE3(MV)
0.0001	10000	581,13	96,73	111,40	150,37	1018,28
0.001	1000	462,41	83,63	104,83	118,37	894,83
0.002	500	426,64	77,87	101,64	108,74	840,07
0.005	200	379,33	73,60	98,70	95,98	798,43
0.01	100	343,46	68,95	95,46	86,32	753,14
0.02	50	307,47	64,04	91,72	76,61	704,74
0.05	20	259,43	56,98	85,71	63,67	634,26
0.1	10	222,32	51,02	79,95	53,66	573,73
0.2	5	183,64	44,18	72,42	43,24	503,05
0.4292	2.33	136,13	34,66	59,89	30,43	401,79
0.5	2	125,20	32,25	56,27	27,49	375,65
		AAA	AAA	AAA	AAA	AAA
		---	---	---	---	---
	ECMF	0,0544	0,0419	0,0544	0,0206	0,0445
	ECMV	17,35	2,71	3,66	20,08	30,05

Tabla III: Cuantiles de la función de distribución de probabilidad de mejor "ajuste" del caudal máximo diario, para distintas probabilidades y estaciones de la cuenca Río Grande.

Luego de un análisis exhaustivo de los distintos agrupamientos (todas las estaciones, las estaciones al norte y sur del río Colorado, estaciones localizadas en los Andes Centrales, Andes Patagónicos y distintas combinaciones de ellas), se encontró la región homogénea. Esta incluye 16 estaciones de la cuenca de los ríos Diamante, Atuel, Pincheira, Grande, Neuquén, Limay y Chubut. La serie del río Valenzuela (VAL) se presentaba como discordante, ya que en ella existe un valor extremo (máximo maximorum de 173,90m<sup>3</sup>/s, en 1990-91) alejado del resto de las observaciones (ver Figura 2). Dicho valor fue removido y la estación pudo integrar el agrupamiento sin perder información.

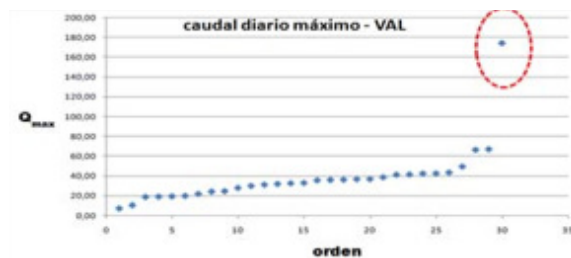


Figura 2: Caudales máximos diarios ordenados, donde se observa un valor discordante, L río Valenzuela.

Los momentos  $L$  adimensionales y los valores de discrepancia  $D$  para cada sitio se observan en la Tabla IV. Luego de comprobada la homogeneidad de la región propuesta ( $H_2 = 0,74$ ) es necesario adoptar la función de distribución que mejor ajuste con los momentos  $L$  regionalizados a los datos observados, lo que se realiza con dos medidas de bondad de ajuste: **ZDIST** y **PUMT**. Los momentos  $L$  regionales son:  $T_2 = 0,270$ ,  $T_3 = 0,145$  y  $T_4 = 0,136$ .

sitio	No.	$L_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$D$
LJA	34	105.41	0.256	0.108	0.152	0.080	0.039
PSO	35	124.08	0.219	0.187	0.230	0.132	1.216
LNE	23	99.24	0.234	0.124	0.143	0.067	0.192
CAN	68	36.64	0.273	0.185	0.130	0.049	0.214
LAN	76	89.30	0.201	0.171	0.094	0.044	2.136
PIN	40	17.13	0.326	0.295	0.225	0.136	1.331
LES	30	136.06	0.263	0.157	0.284	0.185	1.467
VAL	29	33.27	0.228	0.062	0.201	0.099	0.657
CHI	16	54.57	0.220	-0.099	0.091	-0.019	2.430
PMA	36	30.41	0.317	0.178	0.159	0.077	0.629
LGO	36	382.73	0.215	0.018	0.154	0.074	0.721
PDI	101	1.870.71	0.340	0.156	0.111	0.057	1.569
PLI	93	2.526.21	0.266	0.153	0.042	-0.019	1.242
EMA	61	124.07	0.291	0.236	0.209	0.085	0.507
LAL	58	238.08	0.279	0.122	0.069	0.018	0.650

Tabla IV: Momentos  $L$  y discrepancia  $D$  para la región homogénea de caudal máximo diario.

FD	$Z^{DIST}$	$PUM_{50}$	$PUM_{100}$	$PUM_{500}$	$PUM_{1000}$
GNO	0.29	0.448	0.528	0.697	0.765
GVE	0.50	0.462	0.562	0.798	0.900
PE3	-0.52	0.435	0.496	0.614	0.657
GUM	0.94	0.328	0.355	0.401	0.415

Tabla V: medida de bondad de ajuste  $ZDIST$  y medida de incertidumbre  $PUMT$  para cuantiles con recurrencia  $T$  de 50, 100, 500 y 1000 años, para distintas  $FD$ .

Se seleccionan los 4 valores más pequeños de **ZDIST** y los **PUMT** correspondientes; las funciones de distribución: Generalizada Normal ( $ZDIST = 0,29$ ), General de valores Extremos ( $ZDIST = 0,50$ ), Pearson 3 ( $ZDIST = -0,52$ ) y Gumbel ( $ZDIST = 0,94$ ). Cada subconjunto es jerarquizado, asignando el valor 1 para el menor valor, 2 al segundo menor valor y así sucesivamente hasta 4. Posteriormente, la función que presente simultáneamente los valores más bajo de jerarquía de **ZDIST** y **PUMT** es

la que se adopta. Se tomó la función Pearson III (PE3). La Tabla V muestra los **ZDIST**, y **PUMT** para 4 recurrencias (50, 100, 500 y 1000 años). Los parámetros de curva de crecimiento adimensional PE3 son: localización  $\mu = 1,0000$ , escala  $\sigma = 0,4919$  y forma  $\gamma = 0,9411$ .

La Tabla VI muestra las curvas de crecimiento adimensional y los cuantiles para las estaciones de la cuenca del río Grande de la distribución adoptada que se obtienen del producto entre las ordenadas de la curva de crecimiento regionalizada adimensional y la media de cada sitio. La Figura 3 muestra la curva regional adimensional y la del sitio para Pearson III en el agrupamiento. La Figura 4 la curva regional, sitio y valor observado de caudal diario máximo en el sitio la Gotera.

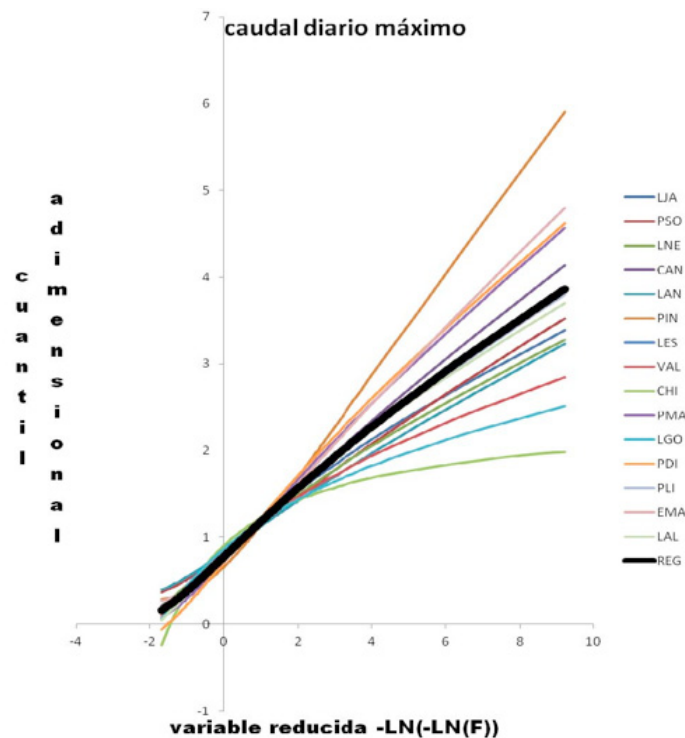


Figura 3: Pearson III regional y sitio para las estaciones del agrupamiento adoptado.

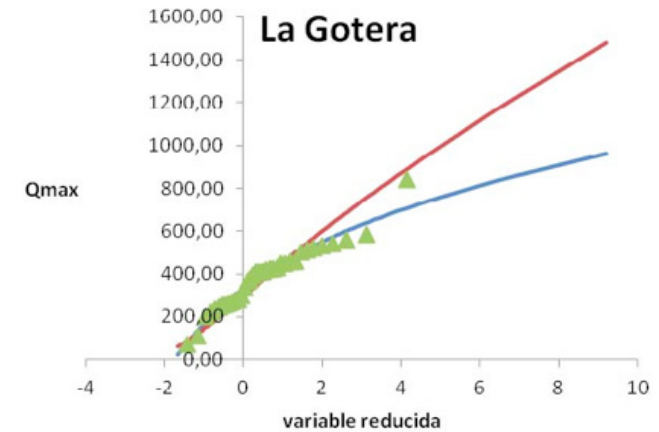


Figura 4: Pearson III regional y sitio y caudal máximo observado en la gotera

## CONCLUSIONES

El AED es imprescindible para la detección de errores, valores atípicos, verificación de supuestos básicos o faltas de homogeneidad en las series. Las crecidas son fuertemente concentradas a fines de primavera, pero es factible encontrar alguna creciente importante a fines del otoño en los meses de mayo y junio, incluso hasta julio.

En todas las series de caudal máximo diario analizadas, se rechaza la hipótesis de normalidad. Las observaciones en las cuencas de los ríos Atuel, Pincheira y Grande muestran independencia entre ellas. Los resultados de los test de aleatoriedad o contrastes de posición indican que la hipótesis correspondiente a **Qmax** únicamente es rechazada en las estaciones de la cuenca del río Atuel.

En la cuenca del río Atuel, en la estación Puente Sosneado, no se detectó tendencia. Los ríos Salado, principal afluente, La Angostura y Pincheira indican tendencia positiva en **Qmax**. Los distintos sitios de observación activos de la cuenca del río Grande no presentan tendencia significativamente distinta de cero para el nivel  $\alpha = 5\%$ . En la cuenca del río Atuel, sólo La Angostura presenta evidencias de cambios abruptos positivos y el año de quiebre se ubica en la década del 70. En la cuenca del río Pincheira se acepta la hipótesis de cambios y el salto es positivo ocurre alrededor de 1978. En La Estrechura, sobre el Grande, es factible identificar dos submuestras de **Qmax** diferentes con evidencias estadísticamente significativas.

En general, aún se requiere más investigación en la aceptación de un método u otro, ya sea para detectar cambios graduales o abruptos. Por ello, se han aplicado distintas técnicas y se adoptado como resultado aquel que se presenta en el mayor número de métodos.

En la cuenca del río Grande las observaciones atípicas bajas se asocian con valores fuertemente positivos del **SOI** (Índice de Oscilación Sur del NOAA). En su gran mayoría, los caudales atípicos detectados responden a fenómenos globales de características excepcionales y difícilmente se puedan deber a errores en las mediciones. Por tal razón, en este análisis no se los excluye.

En general, la estimación de los parámetros de las funciones de distribución empleando momentos regionales adimensionales es a menudo más eficiente que los métodos tradicionales de estimación en base a observaciones en un sitio, sobre todo cuando las series son relativamente cortas. El método de momentos **L** es un método de estimación de parámetros y cuantiles eficiente y computacionalmente conveniente [8].

Sobre la base del empleo de los estadísticos **ZDIST** y **PUMT** la distribución Pearson III es la que presenta el mejor ajuste y sus cuantiles son mayores que los derivados del análisis de frecuencia tradicional para cada sitio. Esta produce valores mayores que con los métodos tradicionales.

## REFERENCIAS

- [1] Buishand, T. A, 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records, *Journal of Hydrology*, 58:11-17.
- [2] Cunnane, C, 1985. Factors affecting choice of distributions for flood series, *Journal of Hydrological Science* 30:1-3.
- [3] EPA, 2000. Guidance for data quality assessment. Practical methods for data analysis, EPA QA/G-9. QA00 Update.
- [4] Greenwood, J.A.; Landwehr, J.M.; Matalas, M.C. and Wallis, J.R, 1979. Probability weighted moments: Definitions and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form, *Water Resources Research*, 15:1049-54.
- [5] Gyau-Boakye, Philip, 1993. Filling gaps in hydrological runoff data, *Series in West África*.
- [6] Hamed. K.H. y A.R. Rao, 1998. A Modified Mann-Kendall Trend Test for Auto-correlated Data, *Journal of Hydrology*, Vol. 204. pp. 182-196.
- [7] Hirsch. R.; J. Snack y R. Smith, 1982. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality data, *Water Resources Research*, Vol. 18. No 1. pp. 107-121.
- [8] Hosking, J.R.M. and J. R. Wallis, 1997. *Regional Frequency Analysis. An approach based on L-Moments*, Cambridge University.
- [9] Interagency Advisory Comité on Water Data, 1982. Guidelines for Determining Flood Flow Frequency, Bulletin 17 B, U.S. Department of Interior. Geological Survey. Office of Water Data Coordination.
- [10] Kundzewicz. Zbigniew; and Robson. Alice, 2000. Detecting trend and other changes in hydrological data, WCDMP-45. WMO/TD No 1013, Geneva.
- [11] Landwerh, J.M.; Matalas, N.C. and Wallis, J.R, 1979. Probability-weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles, *Water Resources Research* 15:1055-64.
- [12] Lettenmaier, D.; Wallis, J.; Wood, S, 1987. Effect of regional heterogeneity on flood frequency estimation, *Water Resources Research* 23(2):313-323.
- [13] Martínez Carretero, E., Dalmasso, A, 1999. Proyecto Aprovechamiento Integral del Río Grande. Estudio de base cero. 8 – Flora y Vegetación. CRICYT, Mendoza.
- [14] Marzo, M. e Inchauspe, O., 1967. *Geografía de Mendoza*, Spadoni, Mendoza.
- [15] Pettitt, A. N., 1979. A nonparametric approach to the change-point problem, *Applied Statistics*, 28:126-135.
- [16] Remington R. y Schork. A., 1974. *Estadística biométrica y sanitaria*, Prentice Hall Internacional, Madrid.

- [17] Rodionov. S., 2005. A brief overview of the regime shift detection methods, Joint Institute for the Study of Atmosphere and Ocean, University of Washington. [hpt://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/Regime\\_shift\\_methods\\_list.htm](http://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/Regime_shift_methods_list.htm)
- [18] Salas. J. D., 1992. Analysis and modelling of hydrologic time series, Maidment, David (ed) Handbook of Hydrology. MacGraw-Hill.
- [19] U.S. Army Corps of the Engineers, 2001. Performance Evaluation (PE) Program, Engineer Manual 200-1-7.
- [20] Vich, A., 1996. Aguas continentales: formas y procesos, Taller gráfico CELA-INA.
- [21] Vich, A., 1998. Proyecto Aprovechamiento Integral del Río Grande. Estudio de base cero. 4ª – Hidrología Superficial y Anexo, CRICYT. Mendoza.
- [22] Vich. A. y López P. M., 2000. Detección de tendencias en el régimen hídrica de los principales ríos de la provincia de Mendoza (Argentina), Anales del XX Congreso Nacional del Agua.
- [23] Westmacott. J. y Burn D., 1997. Climate Change Effects on the Hydrologic Regime within the Curchill Nelson River Basin, Journal of Hydrology, Vol. 202. pp. 263-279.
- [24] Worsley, K. J., 1979. On the likelihood ratio test for a shift in location of normal populations, Journal of Americam Statistic Associations, 74:365-367.
- [25] Sheng Y., Pilon P., Cavadias G., 2002. Power de Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series, Journal of Hydrology 259:254-271.
- [26] Hosking, J. R. M., 1996. Research Report: Fortran routines for use with the method of L-moments. <version 3. IBM Research Division, RC 20525 (90933) 8/5/86.
- [27] FICH-UNL, 1990. Adaptación para PC de programas de ajuste de modelos probabilísticos. Informe inédito del proyecto 03-12 Análisis de Frecuencias de Crecida.
- [28] Paoli C., Cacik P., 2000. Régimen de crecidas y análisis de caudales máximos. En: Paoli C. y Schreider M. (eds). El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones. Universidad Nacional del Litoral.



# Recurrence Quantification Analysis of acoustic emission time series in the Peteroa volcano area (Argentina)

## ABSTRACT

Non linear time series techniques are largely being applied in different disciplines, such as Earth Sciences, Astrophysics, Engineering, Economy, Physiology, and Neurosciences. One, in particular, Recurrence Quantification Analysis (RQA), appears quite promising for the analysis of complex systems. Moreover, it has recently been applied to investigate both acoustic emissions from rocky specimens and the dynamics of complex seismic processes.

Whenever two objects are put in contact and let them slide with respect to each other, friction induced vibrations may occur. Examples are represented by active faults within seismogenic zones, narrow-banded noise of train wheels running along tight curves, friction in bearings, and micro-scale events in molecular physics.

In this framework, the paper describes the application of RQA to the Passive Acoustic Emission (AE) signal released, at ultrasonic frequencies, by stressed rocks in the Earth's crust above a given threshold (event). The data record is represented by AE time series gathered, with 30 sec. of sampling rate, at the Peteroa Volcano monitoring station (Argentinean Andes). In these site AE data were collected by piezoelectric transducers, working at two ultrasonic frequencies, stuck to a rock. This way, a huge amount of data is available but the AE signal amplitude varies with the acoustic impedance, related to local rocks stress conditions and particularly sensitive to fracture density and water content. The aim of this work is to identify few descriptors that can explain the main characteristics of the AE signals and identify anomalies to be related to crustal stress modifications or, as

Zimatore Giovanna (1),  
Rafanelli Claudio (2),  
Poscolieri Maurizio (2).

1- *Institute of Otolaryngology, Catholic University School of Medicine, Rome, Italy.*

2- *CNR-IDASC – Institute of Acoustics and Sensor "Orso Mario Corbino" Area della Ricerca "Roma - Tor Vergata", via del Fosso del Cavaliere, 100, 00133 - Roma, Italy.*

[giovanna.zimatore@rm.unicatt.it](mailto:giovanna.zimatore@rm.unicatt.it).

in the Peteroa case study, paroxysmal volcanic activities or Earth's tides imprints.

## Keywords

Recurrence Quantification Analysis, Acoustic Emissions, Signal Analysis, Friction Induced vibrations.

## INTRODUCTION

The evaluation of volcanic eruption risk is one of major cares in the scientific community, and many are the techniques applied to monitor the volcanic system evolution toward this catastrophic event.

One feasible monitoring approach is based on the Passive Acoustic Emission (PAE) analysis [1]. As well known many days before a volcano enters in a convulsive phase, in the volcanic apparatus flow elastic waves in the ultrasonic band of frequencies [2, 3, 4]. This analytical instrument should allow to understand the behaviour of a volcano and to have information about the evolution of the inherent phenomena.

In a previous paper [5] the authors have described an analytical technique based on fractal analysis which allowed to obtain a description of the shape of PAE signal, while with this paper the authors explore a new technique for analyzing PAE, acquired from Peteroa volcano, to infer an interpretation of the signal dynamic structure. This technique known as Recurrence Quantification Analysis (RQA) is a method largely applied in different disciplines, such as Earth Sciences, Astrophysics,

ics, Engineering, Economy, Physiology, and Neurosciences [6]. It appears quite promising for the analysis of complex systems [7]. Moreover, it has recently been applied to investigate both acoustic emissions from rocky specimens [8] and the dynamics of complex seismic processes [9] producing relevant results.

The goal of the paper is to assess the applicability of RQA method to PAE data to evaluate the precursor signals of volcanic eruptions, in order to confirm indications of an incoming paroxysmal phase. So, in this paper after a brief discussion about the RQA techniques and their application on geophysics, the preliminary results of PAE for Planchón-Peteroa volcano (hereafter merely Peteroa) (fig. 1) [10,11] data set between 17<sup>th</sup> April 2009 and 23<sup>th</sup> March 2011 period are shown. During this period two explosions series, after about 12 years of quiescence, occurred approximately from 6<sup>th</sup> September to 15<sup>th</sup> October 2010 (with a small tail in the next month) (see Table 1) and from 17<sup>th</sup> February to 27<sup>th</sup> June 2011.

Date, 2010	Plume height (km)	Plume drift	Report source	Comments
4, 6, 7 Jan	0.25	nr	SERN	Fumarolic plume only
28 Jul	nr	E	VAAC	Gas plume only
6 Sep	0.2-1.2	10-30 km	SERN	Phreatomagmatic explosions; pulses of gas and ash every 40-60 sec during the eruption
10-13 Sep	nr	E, N, S nr	SERN	With time, plumes rising from the vent had progressively less ash and higher concentrations of water vapor; juvenile material absent in ash petrographic and mineralogical studies
18 Sep	nr	22 km SE	NASA Earth Observatory	Eruption intensified; ash on snow under plume
21 Sep	6.1	SE	VAAC	Ash plume
26 Sep	4.3	SSE	VAAC	Ash plume
30 Sep- 3 Oct	3-6.1	Multiple	VAAC	Strongest emission of the past 3 weeks. Ash plume diffused over wide area of Argentina
6-12 Oct	4-6.1	directions Multiple directions	VAAC	Ash plume
12 Oct	4.6	E	VAAC	Ash plume

Table 1. Ash and gas plumes from Planchón-Peteroa as reported by SERNAGEOMIN (abbreviated SERN in table) and Buenos Aires Volcanic Ash Advisory Center (VAAC) from January-October 2010; nr = not reported.

## RQA TECHNIQUES

In order to investigate the evolution characteristics of the quiescence and activation status of the crustal system, the application of the RQA method to the AE time-series is focused to pinpoint peculiar recurrence patterns, without taking into account the amplitude. RQA is a quite simple processing technique that introduces few parameters descriptive of the global complexity of a signal, which are computed from the so-called "Recurrence Plot" (RP). In particular, it is possible to monitor quantitative changes in dynamics of temporal distribution, loss of synchronization of dynamic mechanism or spatial irregularities occurring in time.

To build the recurrence plot, the time behaviour of the original signal was represented by a series of  $n$  points equally spaced in time. Then, the series was arranged in successive columns (the columns number is defined by the "embedding dimension" parameter,  $N$ ), each-one obtained by applying a delay in time (lag parameter) to the original sequence; this way an "embedding matrix" was created.

Finally, the recurrence plot was built, drawing a black dot (named recurrent point) in the represented space if the distance between the corresponding rows (the distance between the  $j^{\text{th}}$  and the  $(j^{\text{th}+1})$  row of embedding matrix) was lower than a fixed value (radius). In the obtained plot, the horizontal and vertical axes represented the relative position of the 512 points into the TEOAE waveform. RQA descriptors were then calculated on the basis of the number and the location of dots in the recurrence plot. In particular, percent of recurrence (%Rec) is the percentage of recurrence points in a recurrent plot; percent of determinism (%Det) is the percentage of recurrence points which form diagonal lines and it indicates the degree of deterministic structure of the signal; entropy (Ent) is the Shannon entropy of the probability distribution of the diagonal line lengths and is linked to the richness of deterministic structure [12]; laminarity (LAM) is the percentage of recurrent points that are included in line segments vertical to the upward diagonal and whose length meets or exceeds the minimum length threshold. It measure chaotic transitions, is related with the amount of laminar phases in the system (intermittency) [13]. The presence of horizontal and vertical lines in the recurrence plot shows that part of the considered signal matches closely with a sequence farther along the time.

In this work the delay in the embedding procedure (lag) is set to 1; the number of the embedding matrix columns (embedding dimension) is 10; and the cut-off distance (radius) is 15; an average on 120 points (1 hour) as a first smoothing of the recorded PAE signals is reckoned.

### ACOUSTIC EMISSION IN VOLCANOES

In a volcano the endogenous fluids are released depending on the time-varying lithostatic pressure determined by the weight of the volcanic edifice. Every volcano displays morphological features that depend on the tectonic setting, on the power of the breeding heat source, on the availability of fluids (either water or others), on the rheology of the materials that compose the volcanic edifice, on the deep fractures that can favour – by a time-varying amount – the outgassing of endogenous fluids.

The movement of lava and outgassing produce PAE in ultrasound band. So monitoring PAE can detect the time variation of the pressure of its endogenous fluids, which are directly related to its prime heat breeding. In particular, this pressure can either increase or decrease.

When the endogenous heat supply increases, the pressure from hot fluids also increases, and a large number of flaws will yield within the volcanic edifice. The hot fluids diffuse in 3D, implying a corresponding 3D disordered distribution of single PAE emitters.

Hence, it shall be found that the fractal dimension of PAE time-series  $D_t$  approaches 1. It can be said that the volcano is “inflating”. A large number of instrumental seismic events will then be detected.

When the opposite phenomenon occurs, the volcanic apparatus collapses under its weight, being no longer supported by the pressure, which is decreased. Hence, the PAE will be released along micro-cleavage planes of the structures that collapse under the weight of the volcanic edifice. A micro-cleavage plane appears to match a 2D micro-process, and then the fractal dimension  $D_t < 1$ . It can be said that the volcano is “deflating”. A comparatively much smaller number of seismic events will be observed, although with comparatively larger intensity, which is due to the rupture

of 2D cleavage planes. “Inflation” and “deflation” with completely different time rate were observed by analyzing PAE on Vesuvius [14,15] and on Stromboli [14,16].

On the other hands, the volcano Peteroa, due to its comparatively greater weight associated with a much thicker lithosphere or crust (related to its location on top of the Andes Cordillera), is such that its edifice operates much like the weight of a security valve of a pressure cooker.

The result is that the analysis of PAE shows that it operates like a high precision watch for monitoring several spectral lines of the Earth’s tides [10,11].

### PRELIMINARY RESULTS

In fig. 2, the high (HF) and low (LF) frequencies of PAE in the period between 17<sup>th</sup> April 2009 and 23<sup>th</sup> March 2011 are shown. It is to be noted that the LF has a periodic pattern, lasting about 6 months, due probably to Earth’s tides forcing [11]. Instead, the HF still keeping a periodic pattern, but much subdued, shows as main feature a sudden increase just after the first eruption period (November 2011).

In this paper the RQA analysis was applied with different temporal windows and time steps, chosen to tune its parameters and to observe events in a different time scale (fig. 3-4). In this work we have reported the results obtained on not superimposed windows (named epochs) of 24 and 300 points. In the upper panel of fig. 3 the pattern of initial period (the first 150 epochs corresponding to 6.25 days from 17 to 23 April 2009) of LF-PAE was depicted. In the upper panel of fig. 4 the pattern of whole period (16146 points; corresponding to 2 years) of LF-PAE was depicted. It is evident the tide oscillation and the RQA pattern (lower panel of fig. 3) shows the typical shape of sinusoidal trend, which can be well observed in windows of 150 points, while a seasonal fluctuation can be observed in the entire two years analysed.

Fig. 4 (bottom panel) shows an interesting pattern around epoch 300 where no points are present, while before and after two different complex patterns occur. This means that about this time period the internal structure of the volcano changed. In fact, epoch 300 seems to be a threshold value in the PAE time series, coinciding with the occurrence of the 8.8 M Maule earthquake (27-02-2010). The RP shape after epoch 300 appears to be biased by the incoming fall 2010 volcano eruption activity.

This consideration is confirmed by fig. 5 where the time distribution of %DET and LAM are overlapped to the raw PAE time series and to the seismic events occurring in the neighborhoods (at most 150 km) of the volcano as well. Moreover, the date of the Maule earthquake and the eruption periods are shown.

In the panel relative to HF PAE (upper panel of fig. 5) it is possible to observe three different patterns of both %DET and LAM. In the first period, approximately lasting seven months, a uniform pattern of high values of both parameters is present, accordingly with the earthquakes time series. Around the middle December 2009, the %DET and LAM trends decreased abruptly until the Maule earthquake date, when %DET and LAM increased again. In correspondence with the following aftershocks events and until the first eruption period, the values of RQA parameters raised, even though with more fluctuations, and dropped again before the fall eruption, with a successive quite significant increase during it and a major fall down just after.

In the panel for the LF PAE (lower panel of fig. 5) a less evident pattern is depicted. The first period before the Maule earthquake appears less uniform than the one shown by HF PAE with significant fluctuations, but exhibits (especially LAM) a strong decrease just before the earthquake as well. The period following the Maule earthquake RQA parameters show a much instable pattern with a relative maximum during the fall eruption period and a very strong values drop (especially the LAM) during the time interval between the two eruptions stages and a successive abrupt increase before the second eruption period.

What above described seems to confirm the capabilities of RQA method to depict the changes in the volcano system due both to seismic and volcanic activities. Particularly interesting appear the relationships of RQA parameters trends with the occurrence of the mayor 8.8 M Maule earthquake. More difficult is to find there connections with the volcanic eruptions which are the results of a long time cumulative energy release and not an instantaneous phenomenon.

## CONCLUDING REMARKS

The preliminary results of this paper show the possibilities of application of RQA technique to the volcanic PAE signals in different time scale and with a comparison between HF PAE and LF PAE. The structure of dynamical processes can be explored and relevant predictive descriptors can be reckoned. The results are encouraging, but to evaluate the impact adequately, a fine tuning and a larger amount of new data collections (data recorded from different volcanoes and from different volcanic activities) are needed. Moreover, it will be necessary to determine the most useful descriptors for this type of applications and their reliability.

## Acknowledgments

The authors thank ICES Argentinean colleagues for discussion about results and for collecting work of PAE data on Peteroa volcano.

## REFERENCES

- 1. G. P. Gregori, G. Paparo, 2003. Volcanism, heat flow, climate. Exhalation from soil, and acoustic emission. Franco Giovannelli (Ed.), Proc. of the Vulcano Workshop, The bridge between the big bang and biology. Magnetic fields of celestial bodies: their link to life, 27 May – 2 June 2002, CNR, Rome, Italy.
- 2. P. Diodati, F. Marchesoni, S. Piazza, 1991. Acoustic emission from volcanic rocks: An example of self-organized criticality. Phys. Rev. Lett., 67, pp. 2239-2243.
- 3. P. Diodati, Per Bak, F. Marchesoni, 2000. Acoustic emission at the Stromboli volcano: scaling laws and seismic activity. Earth and Planetary Science Letters, 182, pp.253-258.
- 4. P. Diodati and S. Piazza, 1993. Ultrasonic emission from volcanic rocks. Acoust. Lett., 16, pp. 243-247.
- 5. G.P. Gregori, G. Paparo, M. Poscolieri, C. Rafanelli, G. Ventrice, 2012, Acoustic Emission (AE) for monitoring stress and ageing in materials, including either manmade or natural structures, and assessing paroxysmal phases precursors. In: Sikorski W. (Ed.), Acoustic Emission, Chap. 17, pp. 365-398, InTech pub., Rijeka, Croatia, ISBN 978-953-51-0056-0.
- 6. C. L. Webber Jr., N. Marwan, A. Facchini, A. Giuliani, 2007. Simpler methods do it better: Success of Recurrence Quantification Analysis as a general pur-

- pose data analysis tool. *Physics Letters A*, 373, pp. 3753–3756
- 7. N. Marwan, M.C. Romano, M. Thiel, and J. Kurths, 2007. Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports*, 438 (5–6), pp. 237–329.
  - 8. T. Matcharashvili, T. Chelidze, N. Zhukova, E. Mepharidze, 2011. Investigation of acoustic emission accompanying stick-slip movement of rock samples at different stiffnesses of spring–block system. *Tribology International*, 44, pp. 811–819.
  - 9. T. Chelidze, T. Matcharashvili, 2003. Electromagnetic control of earthquake dynamics?. *Computers & Geosciences*, 29, pp. 587–593.
  - 10. J. Ruzzante, G. Paparo, R. Piotrkowski, M. Armeite, G.P. Gregori, I. Lopez, 2005. Proyecto Peteroa, primera estación de emisión acústica en un volcán de los Andes, *Revista de la Unión Iberoamericana de Sociedades de Física*, 1 (1), pp. 12–18.
  - 11. J. Ruzzante, M. I. López Pumarega, M. Armeite, R. Piotrkowski, G.P. Gregori, I. Marson, G. Paparo, M. Poscolieri, A. C. Catellani, (2009), “Análisis sobre el comportamiento del volcán Peteroa (Argentina), por métodos de Emisión Acústica (EA)”, *Proceed. of the Workshop AAGG2009, 1st ed.*, Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, ISBN 978-987-25291-1-6, *Ciencias de la Tierra*. I, pp. 221–227
  - 12. J.P. Zbilut and C.L. Webber, 1992. Embedding and delays as derived from quantification of Recurrence Plot. *Phys. Lett. A*, 171, pp. 199–203
  - 13. N. Marwan, N. Wessel, U. Meyerfeldt, A. Schirdewan and J. Kurths, 2002. Recurrence Plot Based Measures of Complexity and its Application to Heart Rate Variability Data. *Phys. Rev. E*, 66(2), 026702
  - 14. G. Paparo, G.P. Gregori, F. Angelucci, A. Taloni, U. Coppa, and S. Inguaggiato, 2004. Acoustic emissions in volcanoes: the case histories of Vesuvius and Stromboli. *Proc. of SCI 2004, 8th World Multi-Conf. Systemics, Cybernetics and Informatics Meeting*, Orlando, Florida, USA, July 2004
  - 15. G. Paparo, G.P. Gregori, A. Taloni and U. Coppa, 2004a. Acoustic emissions (AE) and the energy supply to Vesuvius – ‘Inflation’ and ‘deflation’ times. *Acta Geod. Geophys. Hung.*, 40, (4), pp. 471–480.
  - 16. G.P. Gregori and G. Paparo, 2006. The Stromboli crisis of 28÷30 December 2002. *Acta Geod. Geophys. Hung.*, 41(2), pp. 273–287.
  - 17. G. Zimatore, C. Rafanelli, M. Poscolieri, 2011. A novel approach to earth friction noise (Acoustic Emissions) analysis, *Proc. of the 17th European Col-*

loquium on Quantitative and Theoretical Geography (ECQTG 2011), Athens (Greece), 2–5 September 2011, pp. 589–596.

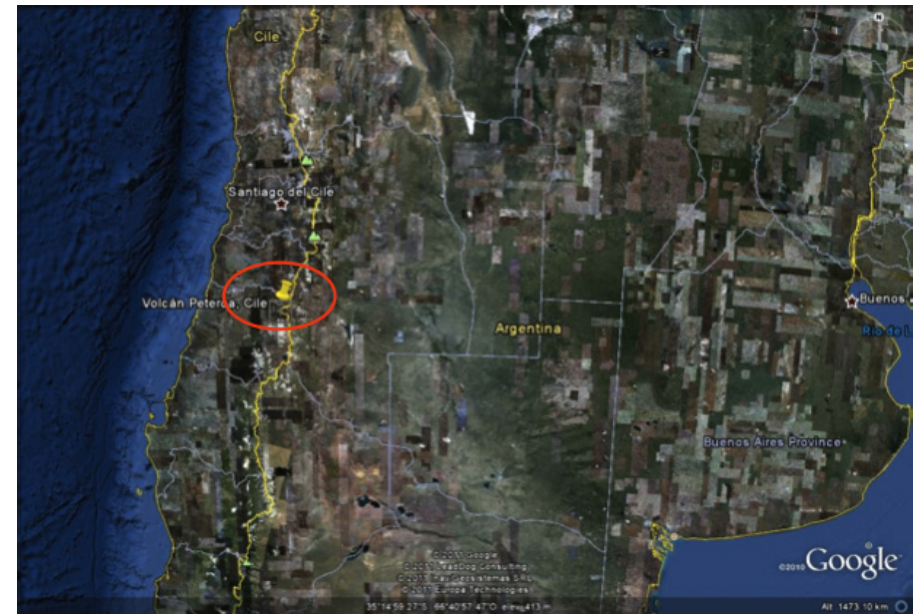


Fig. 1 – Planchon-Peteroa volcano site



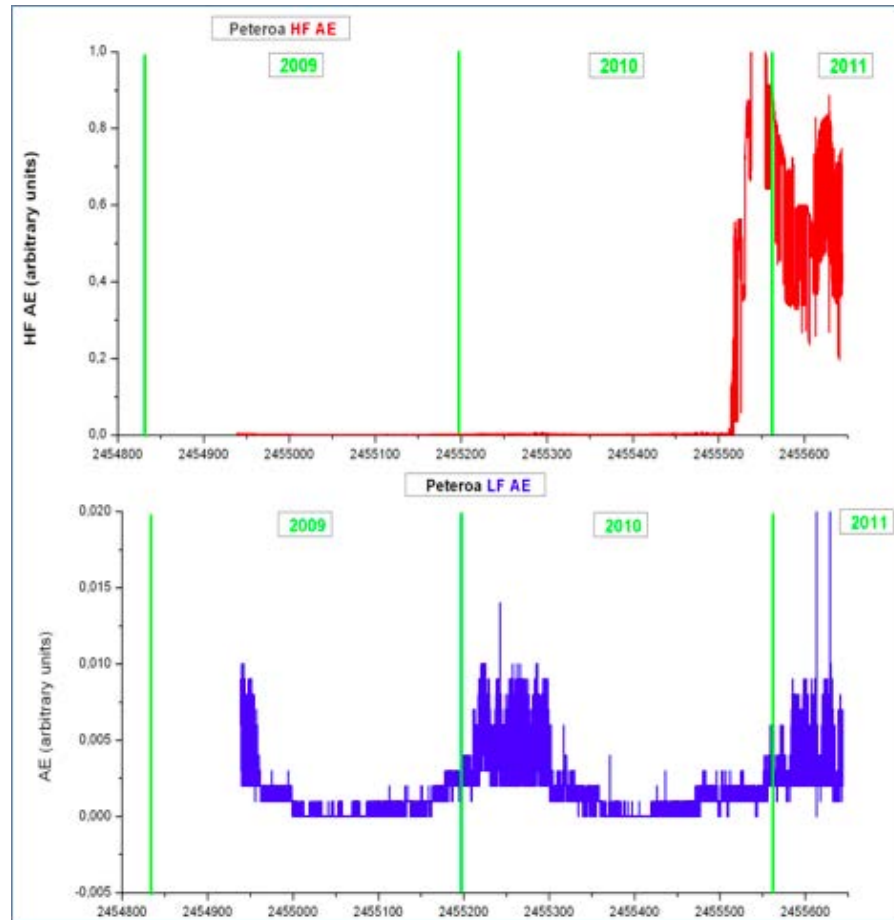


Fig. 2 – Peteroa volcano, PAE in High (top) and Low (bottom) frequencies in the period April 2009 – March 2011. The green lines are the end of each year.

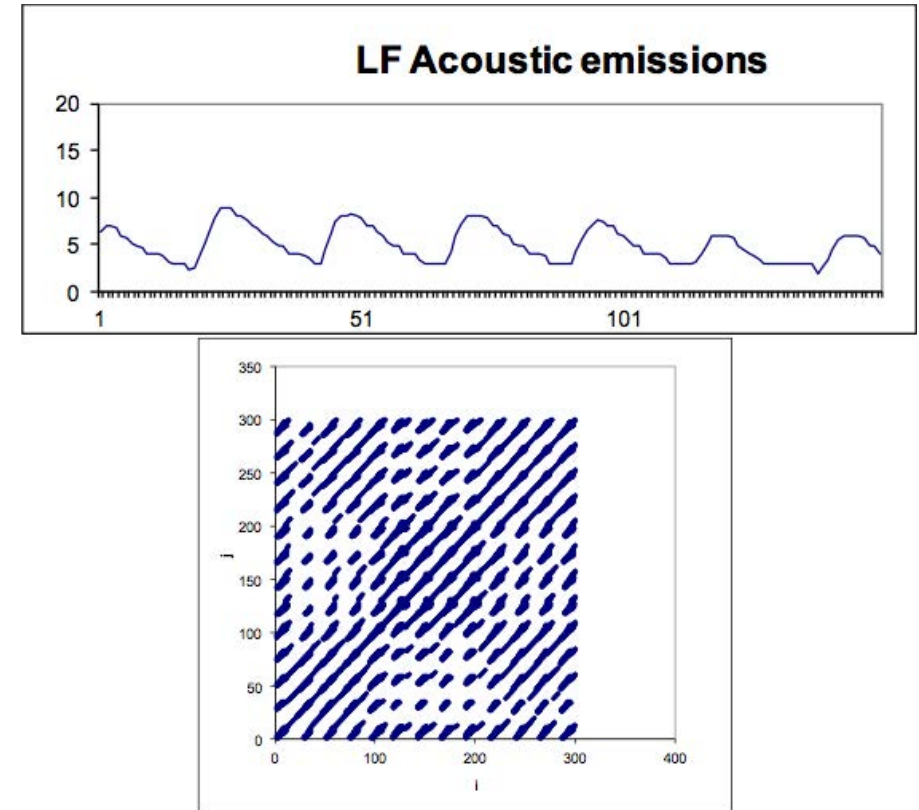


Fig. 3 – Peteroa volcano: (Upper panel) first period (150 hours: 17-23 April 2009) of LF PAE and (Lower panel) its corresponding RP: the inset on 300epochs (1 epoch=24 h=24 points). Very periodic signal and regular pattern of RP can be observed.

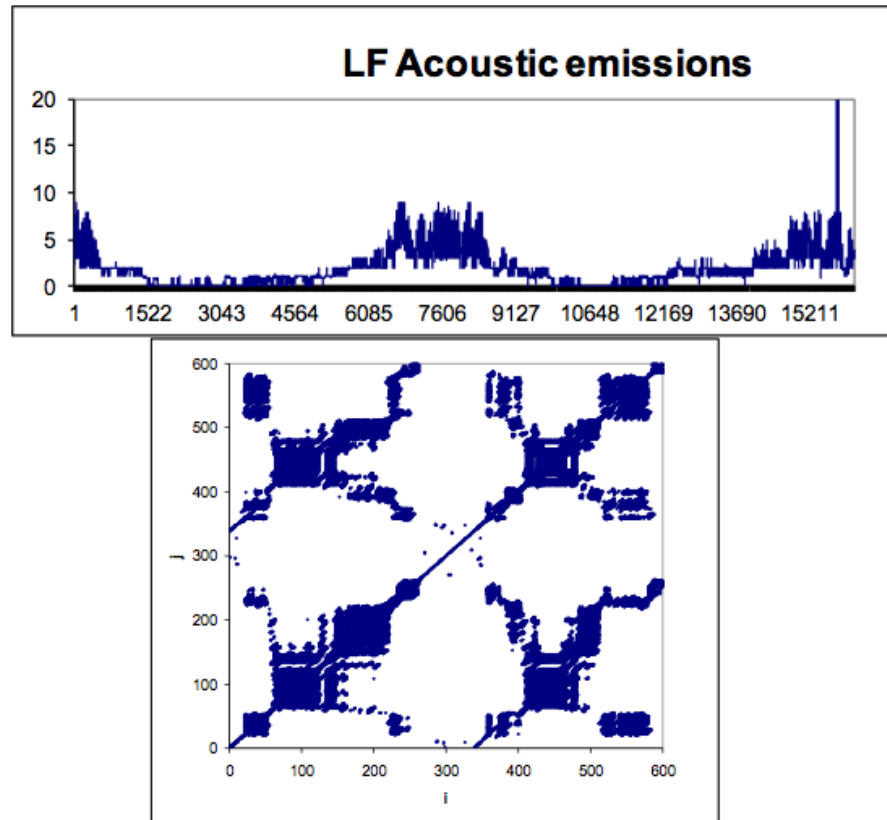


Fig. 4 – Peteroa volcano, Upper panel) LF PAE during emission in the whole period 17 April 2009–23 March 2011 (16146 points). Lower Panel) RP on 600 epochs (1 epoch = 24 points = 24 h)

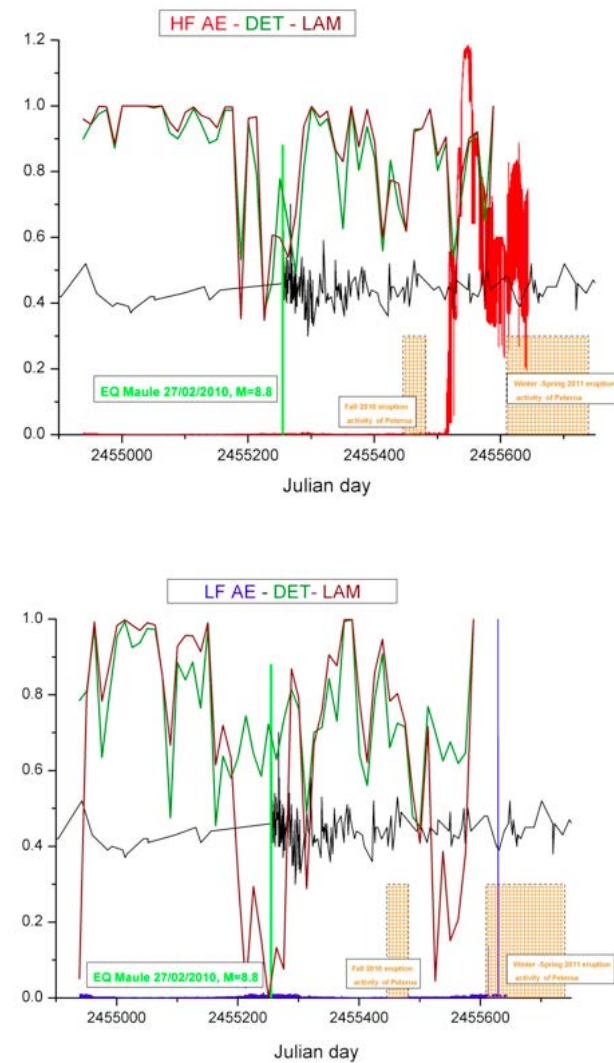


Fig 5 - Main RQA parameters for the volcano Peteroa: above HF, bottom LF (51 epochs of not superimposed; 1 epoch=300 points= 300 hours), overlapped to the rough AE time series (red and blue lines) and to the seismic events occurring in the neighborhoods (at most 150 km) of the volcano (black line) as well. Moreover, the date of the Maule earthquake and the eruption periods are shown.

**ices**  
INTERNATIONAL CENTER FOR EARTH SCIENCES

Regional Mendoza

Espacio de la Ciencia y la Tecnología.  
Padre J. Contreras 1300, Parque General  
San Martín, Mendoza, República Argentina  
00 54 0261 4299986

[ices@uncu.edu.ar](mailto:ices@uncu.edu.ar) | [ices.uncuyo@gmail.com](mailto:ices.uncuyo@gmail.com)

[www.imd.uncu.edu.ar](http://www.imd.uncu.edu.ar)