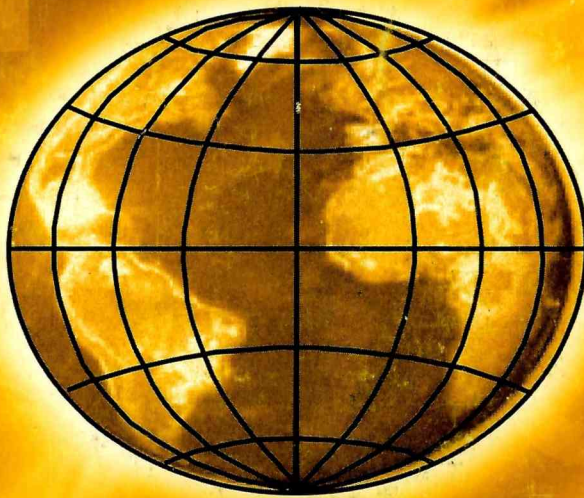




**Asociación Argentina de  
Geofísicos y Geodestas**

# ***GEOACTA***



**XXII Reunión Científica AAGG - 2006**

**VOLUMEN 32  
2007**

**ISSN 0326-7237**

# GEOACTA

## Revista de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas

*XXIII Reunión Científica AAGG - 2006*

**Editor:** Dra. María Cintia Piccolo. Instituto Argentino de Oceanografía.

CC 804 - (B8000FWB) Bahía Blanca, Argentina. FAX: (54-291) 486 11 12 - 486 15 27

e-mail: piccolo@criba.edu.ar

**Co-editor:** Dr. Angel Marcos. Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur.

San Juan 670 (B8000ICN) Bahía Blanca, Argentina. FAX: (54-291) 459 51 48

amarcos@uns.edu.ar

### *Comité Editorial Asesor (Editorial Advisory Board)*

Julio Avila, Universidad Nacional de Tucuman, Argentina

Ricardo Matano, Oregon State University, USA

Ernesto Hugo Berbery, University of Maryland, USA

Aldo Bonalumi, Universidad Nacional de Córdoba

Rudolph H. Wiens, Centre for Research in Earth and Space Sci., Canadá

Dr. Kenneth M. Creer, University of Edingburgh, Inglaterra

José Morales, Universidad de Granada, España

Miguel Pedro Auge, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Manuel Catalán, Real Instituto y Observatorio de la Armada, España

Jorge Chernicoff, SEGEMAR, Argentina

Ernesto Marcia, IAG/USP, Brasil

Diana Cuadrado, IADO, Argentina

Juan José Curto, Observatorio y Jefe de la Sección de Geomagnetismo, España

Marta E. Ghidella, Instituto Antártico Argentino, Argentina

David López de Castro, Universidade Federal do Ceará, Brasil

Daniel Martínez, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

Jorge Caló, Universidad Nacional del Sur, Argentina

Ana Sinito, Universidad Nacional del Centro, Argentina

Nemesio Heredia Carballo, Instituto Geológico y Minero de España, España

Antonio Introcaso, Instituto de Física de Rosario, Argentina

Marcelo Raúl Varni, Instituto de Hidrología de Llanuras

Carlos Zavala, Instituto Argentino de Oceanografía, Argentina

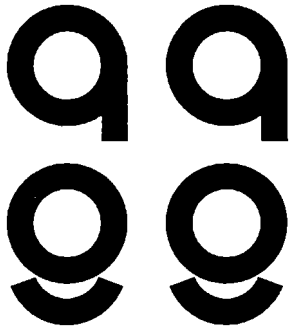
Marta Mosert, CASLEO-CONICET, Argentina

María Cristina Pacino, Universidad Nacional de Santa Fe, Argentina

**GEOACTA** es propiedad de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Director: María Cintia Piccolo. © 2007 AAGG, derecho de autor número 529123. ISSN:0326-7237. Es una revista con periodicidad anual. Para uso impreso o reproducción del material publicado en la revista se deberá solicitar autorización a la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Los trabajos se enviarán a las direcciones del editor, siguiendo las normas para los autores que se encuentran al final de este volumen. Instituto Argentino de Oceanografía, CC 804. B8000FWB Bahía Blanca, Argentina.

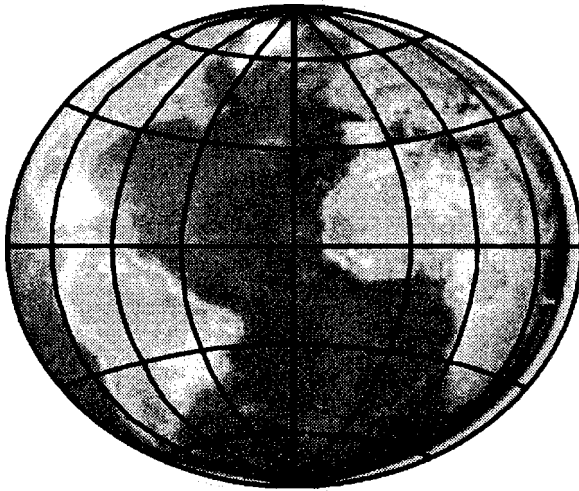
**GEOACTA** is property of the Argentine Association for Geophysics and Geodesy. Director: María Cintia Piccolo. © 2007 AAGG, royalties number 529123. ISSN:0326-7237. Is an journal published annually. For printed use and reproduction of papers published in this journal is required authorization in writing by the publisher. The manuscripts should be sent to the editor following the Instruction for Authors. The address of the editor is: Instituto Argentino de Oceanografía, CC 804. B8000FWB Bahía Blanca, Argentina.

**GEOACTA** está citada en *LATINDEX* (folio 2862), *ASFA* (*Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*).



**Asociación Argentina de  
Geofísicos y Geodestas**

# ***GEOACTA***

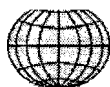


**XXIII Reunión Científica AAGG – 2006**

**VOLUMEN 32**  
**BAHIA BLANCA, ARGENTINA**  
**2007**







Variabilidad de perturbaciones espaciales y temporales de 500 Hpa para sistemas tropicales y extratropicales de Sudamérica	
<i>Adrián Yuchecheñ, Susana Bischoff y Pablo Canziani</i>	1
Aplicación del modelo de transformación de alturas de la Provincia De Buenos Aires, en el partido de General Madariaga	
<i>Diego Bagú, Raúl Perdomo, Daniel Del Cogliano y Luciano Mendoza</i>	19
Estudio de las variaciones geoelectricas en una tubería de gas en el área de Amprior - Ottawa Canadá	
<i>Patricia A. Larocca y Virginia M. Silbergleit</i>	27
Hidrografía de la columna de agua en Puerto Cuatros	
<i>M. Clara Menéndez, Alejandro J. Vitale, M. Cintia Piccolo y Mónica S. Hoffmeyer</i>	33
Estudio de sismicidad en la provincia de Tierra del Fuego, Argentina.	
<i>Nora C. Sabbione, Gerardo Connon, José L. Hormaechea y María L. Rosa</i>	41
Un modelo de tubo de flujo magnético cilíndrico para la anomalía magnética del Atlántico Sur en la región del plasma	
<i>Patricia Alejandra Sallago</i>	51
Relación entre grados-día calefacción y refrigeración con el consumo eléctrico de Bahía Blanca	
<i>Mariana Paula Torrero, María Cintia Piccolo y Alicia Campo De Ferreras</i>	59
Ancestral structure of the Neuquén Basin, evidenced by a deep seismic study	
<i>Alberto H. Comínguez and Juan R. Franzese</i>	69
Aplicación del índice estandarizado de precipitación a la Laguna Unamuno	
<i>V.Y. Bohn, M.C. Piccolo y G.M.E. Perillo</i>	75
Dinámica morfológica de los ambientes costeros de Bahía San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro	
<i>María E. Carbone, Gerardo M. E. Perillo, María C. Piccolo</i>	83
Análisis de la variabilidad del índice PC usando wavelets	
<i>P. Fernández De Campra y M. Zossi De Artigas</i>	93
Análisis de series de tiempo sobre las bases de la teoría fractal	
<i>Jorge O. Pierini y Gerardo M. E. Perillo</i>	103
Variación anual de la pesca del langostino y camarón en el estuario de Bahía Blanca	
<i>Patricia M. Cervellini y María Cintia Piccolo</i>	111
Análisis multitemporal de los usos del suelo mediante aplicación de teledetección y SIG	
<i>Alejandra M. Geraledi, M. Cintia Piccolo, Gerardo M. E. Perillo</i>	119
Estimación de la dimensión fractal sobre la costa en la Argentina	
<i>Jorge O. Pierini y Gerardo M. E. Perillo</i>	129
El balneario Maldonado para uso recreativo	
<i>M. Cintia Piccolo, Nora Pizarro, Augusto Conde, Mónica Baldini, M. Amelia Cubitto y Nedda Chiarello</i>	139
Estudio de la distribución de la precipitación mensual y estacional en la región patagónica Argentina	
<i>Paula Beatriz Martín y Leonardo Ariel Serio</i>	145
Análisis estadístico de datos gravimétricos. Una herramienta para regularizarlos	
<i>M. Patricia Martínez, Mónica Morvillo, Mario E. Gimenez, Federico Lince Klingler y Francisco Ruiz</i>	151
Influencia de la excitación hidrológica en la variación anual al movimiento del polo	
<i>Laura I. Fernández y Claudia A. Brunini</i>	163
Determinación de los parámetros de campo para la adquisición 3d de datos sísmicos	
<i>Patricia M. Gauzellino, Ángel F. Queizán, Jose Herskovits y Federico G. E. Späth</i>	173
Reproduction of an extended Lorenz equation in a thermal convection loop: analysis of transitions among Stationary orbits and equilibrium points	
<i>Mario Alberto Jordán, Federico Murray y María Cintia Piccolo</i>	181
Atenuación sísmica de corto periodo en la región de Nuevo Cuyo	
<i>Gabriela A. Badi, Jesús M. Ibañez Godoy y Nora C. Sabbione</i>	193
<b>Notas Técnicas</b>	
Ampliación de la capacidad de memoria en los magnetómetros de precesión protónica	
<i>Ricardo Ezequiel Garcta, Julio César Gianibelli, José Hernán Solans y Nicolás Quaglino</i>	207
Infraestructura y monumentación de la estación permanente GPS en el cerro Aconcagua	
<i>Mauro H. Blanco, Leonardo D. Euillades, Gabriel A. Cabrera, Gabriel A. Cabrera, Luis E. Lenzano y Jorge H. Barón</i>	213
Georreferenciación de puntos altimétricos IGM para la Provincia de Santiago Del Estero.	
<i>Lucrecia Galván, Claudia Infante e Iber Goitea.</i>	217
Planialtimetría del Arroyo Naposta, entre el camino de circunvalación Bahía Blanca y el derivador del Parque de Mayo	
<i>Oswaldo M. Fernández, Néilda B. Aldalur, Nora L. Plana, M. Irene Pintos, Karina Neuman, Claudia Bel y Esteban Laffitte</i>	223
Georreferenciación de fotos aéreas - Determinación de la traza de un ducto en Bahía Blanca	
<i>Pablo E. Napal y Ariel C. Bongiovanni. Col.: Nilda Di Croche, Beatriz Aldalur y Oswaldo Fernández</i>	231
<b>Norma Para Los Autores</b>	237



## VARIABILIDAD DE PERTUBACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES DE 500hPa PARA SISTEMAS TROPICALES Y EXTRATROPICALES DE SUDAMERICA

*Adrián Yuchecheñ<sup>1</sup>, Susana Bischoff<sup>2</sup> y Pablo Canziani<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Programa de Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global (PEPACG), Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA). (CONICET). E-mail: aey@uca.edu.ar

<sup>2</sup> Dep. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, Univ. de Buenos Aires

### RESUMEN

En este trabajo se estudia la variabilidad espacial y temporal de los campos de circulación a través de un análisis de anomalías mensuales del nivel de 500 hPa. En particular, se analizan las anomalías extremas en la región tropical y extratropical de Sudamérica oriental, y su comportamiento regional con relación al cambio climático. Se presenta también un análisis de vientos relacionados con eventos extremos, y de saltos climáticos en cada una de las estaciones.

Para este estudio se utilizan radiosondeos de Argentina (Córdoba, SACO; y Ezeiza, SAEZ) y sur de Brasil (Galeão, SBGL), cubriendo el período enero 1973-abril 2006. Ambas estaciones argentinas representan la región extratropical, mientras que la estación brasilera representa la región tropical. La variable utilizada es la altura geopotencial de 500 hPa y la metodología consiste en la aplicación de métodos estadísticos básicos, análisis de Fourier, y de clúster para la clasificación de los campos de circulación. Para detectar saltos climáticos se utiliza el test de Yamamoto.

La presencia de un dipolo ubicado al sur de 30° S caracteriza a la primera componente principal en relación con la presencia de anomalías mensuales extremas en la altura de 500 hPa para cada una de las estaciones analizadas. En general, eventos extremos negativos (positivos) están relacionados con mayor (menor) frecuencia e intensidad de oestes. Además, las series de anomalías presentan un salto climático en la década del '80 para SACO y SBGL, mientras que la serie de SAEZ no presenta cambio alguno.

**Palabras clave:** anomalías mensuales 500 hPa, altura geopotencial, eventos extremos, saltos climáticos, Sudamérica

### ABSTRACT

Spatial and temporal variability of circulation patterns associated to extreme 500 hPa geopotential height anomalies are studied. Particularly, extreme anomalies in the tropical and extratropical region of southeastern South America are analyzed, as well as its regional behaviour related to climatic change. Wind analyses related to extreme events and climatic jumps analysis are also presented.

Rawinsondes from Argentina (Córdoba and Ezeiza) and southern Brazil (Galeão) covering the period January 1973–April 2006 are used. Both argentine stations represent the mid-latitude region, while the Brazilian one represents the tropical region. The variable used is the 500 hPa geopotential height, and the methodology consists in basic statistical methods, Fourier analysis, and a cluster analysis to classify the circulation patterns. Yamamoto test is used to detect climatic jumps.

The main feature for the first principal component is the presence of a dipole located south of 30° S. The first principal component is highly related to the presence of extreme 500 hPa geopotential height monthly anomalies at each station. Negative (positive) extreme events are in general related to higher

(lower) frequency and intensity of westerlies. Moreover, the series of anomalies present a climatic jump in the eighties for SACO and SBGL, but not for SAEZ.

## INTRODUCCION

Ya sea en escala diaria, mensual, o anual, las anomalías extremas para los distintos niveles en la atmósfera aportan valiosa información de los campos de circulación en relación con los sistemas semipermanentes y migratorios. En particular, el nivel de 500 hPa ha sido ampliamente estudiado (Blackmon, 1976; Trenberth, 1979; Horel, 1985; Kidson, 1988) puesto que es un referente de la atmósfera media. El objetivo del presente trabajo es obtener una clasificación de los campos de circulación en 500 hPa asociados a eventos extremos de anomalías de altura geopotencial para el mismo nivel por el método de componentes principales, para una estación tropical y dos subtropicales ubicadas en Sudamérica oriental, y analizar la ocurrencia de saltos climáticos en las series de anomalías mensuales de altura de 500 hPa.

Algunos antecedentes de estudios en la troposfera relacionados con el objetivo aquí propuesto se pueden encontrar en Yucheche *et al.* (2006), en el que se presenta un análisis de eventos extremos de anomalías para el nivel de 850 hPa en las mismas tres estaciones estudiadas en este trabajo. Tres resultados importantes pueden extraerse del mencionado trabajo: (a) Para el nivel de 850 hPa la onda anual (semianual) domina las latitudes tropicales (extratropicales); (b) La primera componente principal del campo de circulación asociado a eventos extremos de anomalías negativas en 850 hPa está siempre caracterizada por la presencia de un dipolo de orientación zonal Pacífico-Atlántico al sur de 35° S, el cual se alterna según la estación de referencia; (c) A partir de 1990 existe un aumento (decremento) de eventos extremos positivos (negativos) en Galeão. Si bien en 850

hPa hay evidencias de saltos climáticos, en el mencionado trabajo no se presenta una verificación estadística acerca de la existencia de tales saltos. En comunicaciones personales, sin embargo, otros autores han revelado que dicho cambio ha sido detectado en diversas variables atmosféricas.

## DATOS Y METODOLOGIA

La altura geopotencial del nivel de 500 hPa fue obtenida a partir de radiosondeos tomados en las estaciones Galeão (SBGL) ( $\varphi=22^{\circ}48'$  S,  $\lambda=43^{\circ}15'$  O), Córdoba (SACO) ( $\varphi=31^{\circ}19'$  S,  $\lambda=64^{\circ}13'$  O) y Ezeiza (SAEZ) ( $\varphi=34^{\circ}49'$  S,  $\lambda=58^{\circ}32'$  O). Los mencionados radiosondeos se encuentran disponibles en la página web del Department of Atmospheric Science, College of Engineering, University of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/>) y son de dominio público. En todos los casos los datos cubren el período enero 1973–abril 2006.

Se calcularon los valores medios mensuales climáticos de la altura del nivel de 500 hPa para el período completo en cada una de las estaciones (Fig. 1). Hay un 2 % de datos faltantes en SAEZ y aproximadamente un 3 % en SBGL y un 9 % en SACO. A los valores medios climáticos se les aplicó un análisis armónico (Jenkins and Watts, 1968). Los resultados son que predomina el primer armónico (onda anual) en las tres estaciones, con un 79 % de varianza explicada en SBGL, un 96 % en SACO y un 95 % en SAEZ. El segundo armónico (onda semianual) llega casi al 17% de varianza explicada en SBGL, y en las estaciones restantes explica una varianza mucho menor.

En este trabajo se establece que un armónico es significativo cuando su varianza explicada es mayor o igual que 10% de la

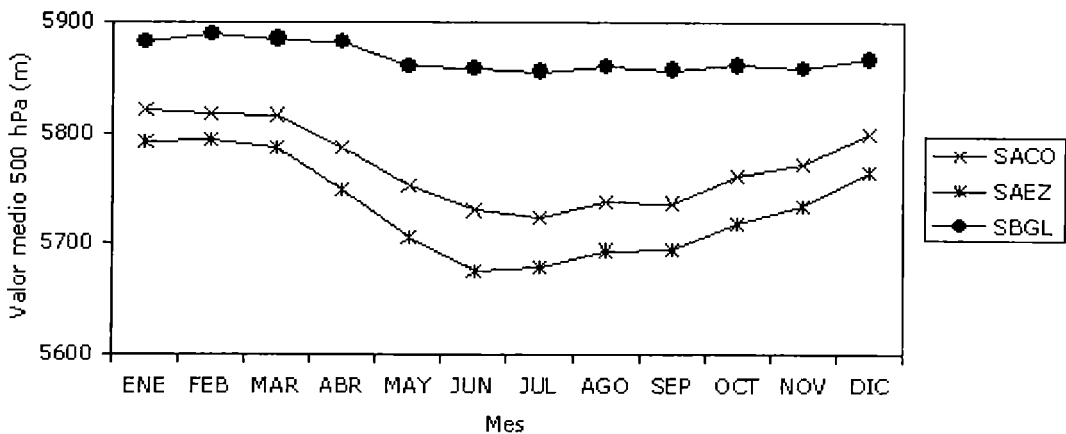


Figura 1. Valores medios mensuales climáticos de altura geopotencial para el nivel de 500 hPa.

varianza total. En consecuencia, el primer armónico será significativo para las tres estaciones. Además, en SBGL también será significativo el segundo armónico. El cálculo de anomalías se lleva a cabo en dos partes: combinación de armónicos significativos y obtención de valores medios mensuales. Una vez calculados los valores medios mensuales para cada estación, las anomalías mensuales se obtienen como la desviación de éstos respecto de la combinación de armónicos significativos. La Figura 2 muestra las series de anomalías en las tres estaciones.

El uso de anomalías mensuales elimina la variación asociada a la onda anual y permite hacer una única clasificación para todos los meses por medio de quintiles. Dado que el objetivo de estudio es analizar las anomalías extremas de altura geopotencial en 500 hPa, prestaremos especial atención a los quintiles primero y último.

El área de estudio está comprendida entre los 10° y 60° S y los 20° y 120° O. De la base de datos de reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996) se obtienen los campos de anomalías mensuales que corresponden a los meses extremos. Los campos se analizan separadamente para cada uno de los extremos por el Método de Componentes Principales dentro del área de estudio y para cada una de

las estaciones. Utilizaremos el Método de Componentes Principales en modo T, haciendo uso de la matriz de correlación como matriz de entrada de los datos (Green *et al.*, 1978, Richman, 1986, Salles *et al.*, 2001). En Richman (1986) puede encontrarse el desarrollo matemático y las propiedades que fundamentan la aplicación de esta metodología.

## RESULTADOS

Llamamos “conjunto extremo” a cada conjunto de meses clasificados como extremos según el método de quintiles. Así, se tendrán dos conjuntos extremos para cada estación: positivo, que incluye las máximas anomalías de altura geopotencial de 500 hPa, y negativo, que incluye las anomalías mínimas. La Tabla 1 muestra la varianza explicada por cada componente principal (principal component, PC) hasta la quinta para cada uno de los conjuntos extremos, como así también la suma de varianzas de cada una de ellas, en cada una de las estaciones. Dado que el método ordena los autovalores en forma decreciente y la varianza es proporcional al autovalor (Wilks, 2006), se tiene la seguridad de que cuanto mayor sea el orden de cada PC menor será la varianza explicada por ella. De esta forma, las PCs de orden superior al quinto

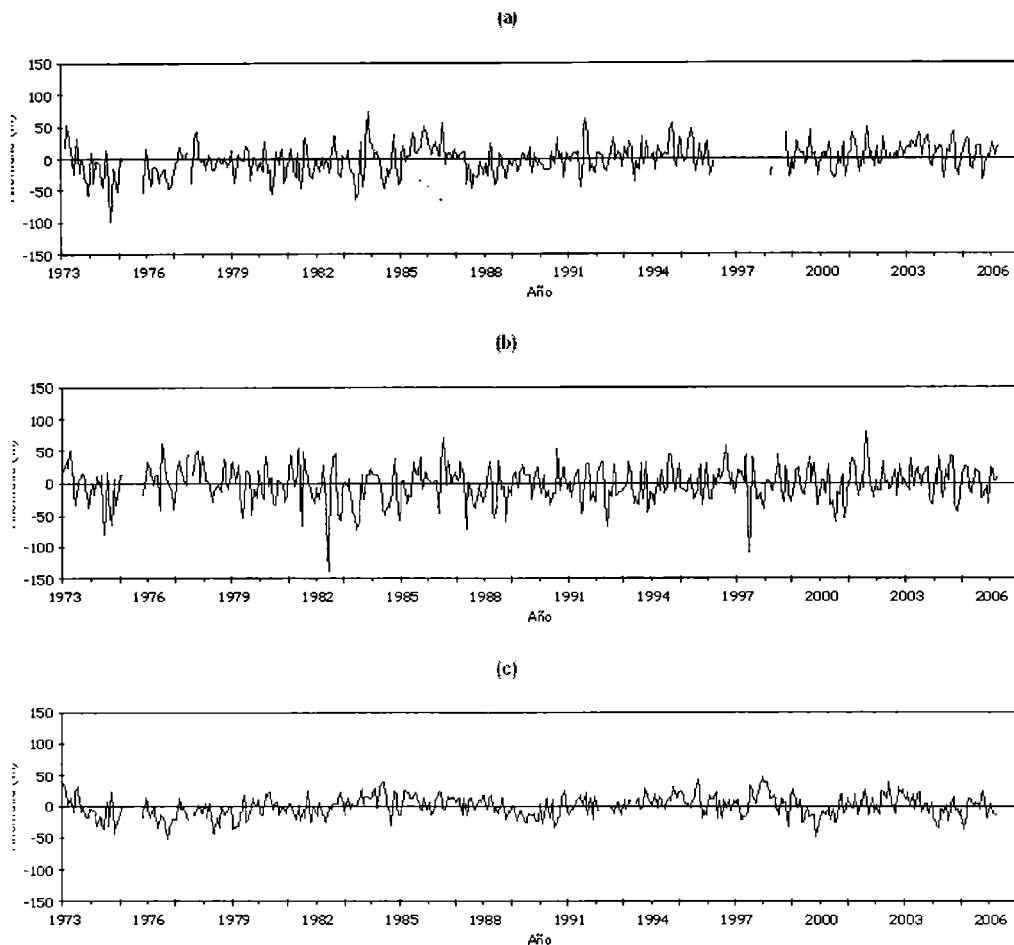


Figura 2. Series de anomalías de altura geopotencial de 500 hPa para (a) SACO, (b) SAEZ, (c) SBGL.

tienen varianzas explicadas menores que las de la PC5.

La varianza total explicada por las primeras cinco componentes principales supera en todos casos el 80 %. Las mayores diferencias de varianza explicada se tienen en SACO para la PC1: en el primer quintil se explica un 10 % más que en el último. La Figura 3 muestra la PC1 extraída del conjunto extremo negativo para las tres estaciones. En los tres casos puede observarse la presencia de un dipolo al sur de 35° S. Para el caso de SBGL, es interesante la presencia de un centro intenso ubicado sobre la costa sur de Brasil. Hasta el

momento no puede hablarse de centros ciclónicos o anticiclónicos puesto que las componentes principales no brindan tal información. La asociación entre las PCs y los campos reales viene dada por los *loadings*.

La Figura 4 muestra los campos (reales) que mejor correlación tienen en valor absoluto con la PC1. Según la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1992) se define *bloqueo* como la “acción que durante periodos de cierta duración produce interrupciones meridianas de la corriente zonal normal de la circulación general en las latitudes medias”. Asimismo, también WMO (1992) define



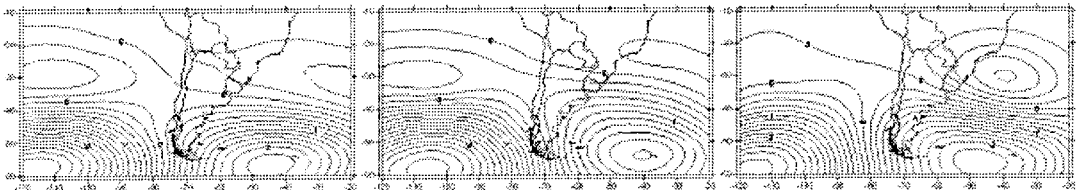
**Tabla 1.** Varianza explicada (%) por cada PC para cada uno de los quintiles, en cada una de las estaciones.

Estación	SBGL		SACO		SAEZ	
	1	5	1	5	1	5
PC1	30.82	32.54	33.11	23.75	30.38	25.39
PC2	18.80	17.68	17.41	20.39	17.64	20.07
PC3	12.48	14.30	13.72	16.00	15.41	15.76
PC4	11.27	10.07	10.43	13.65	9.76	11.01
PC5	9.37	8.45	6.97	8.66	6.95	9.19
Var. Exp.	<b>82.74</b>	<b>83.04</b>	<b>81.64</b>	<b>82.46</b>	<b>80.13</b>	<b>81.42</b>

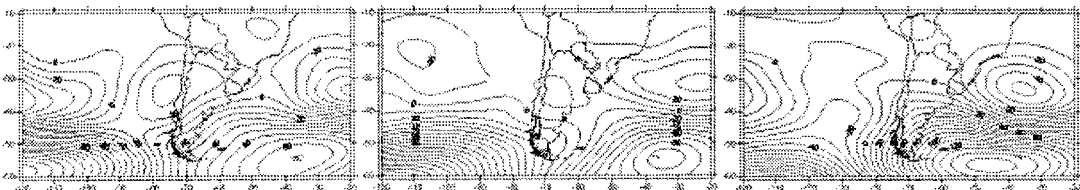
*anticiclón de bloqueo* como “anticiclón de las latitudes medias que se mueve con lentitud y que en el mapa sinóptico da la impresión de ser un obstáculo que bloquea la marcha normal, hacia el este, de las depresiones migratorias extratropicales”. Claramente, la situación que corresponde a julio de 1989 describe un bloqueo en el Atlántico Sur: un sistema de altas presiones con su centro ubicado sobre las Islas Georgias del Sur. Lejenäs (1984) y Trenberth y Mo (1985) establecen que una de las principales áreas de bloqueo se ubica en el sudeste de Sudamérica (Canziani *et al.*, 2002). Para octubre de 1991 no hay bloqueos presentes, pero sí puede apreciarse la presencia de cuatro

sistemas de distinto signo ubicados de forma tal que describen una situación similar a la de un *collado* sobre el centro de Argentina. WMO (1992) define *collado* como “región, de forma similar a una silla de montar, en que hay una presión casi uniforme. Está limitada por dos depresiones y dos anticiclones situados de manera alternada, formando una cruz”. La situación para octubre de 1973 también presenta un collado, aunque los signos de los sistemas están invertidos respecto de los de octubre de 1991, y nuevamente está presente un bloqueo en el Atlántico Sur, aunque más intenso que el de julio de 1989. Además, su centro se encuentra desplazado ligeramente hacia el sudoeste. Asimismo, los gradientes meridionales son más intensos.

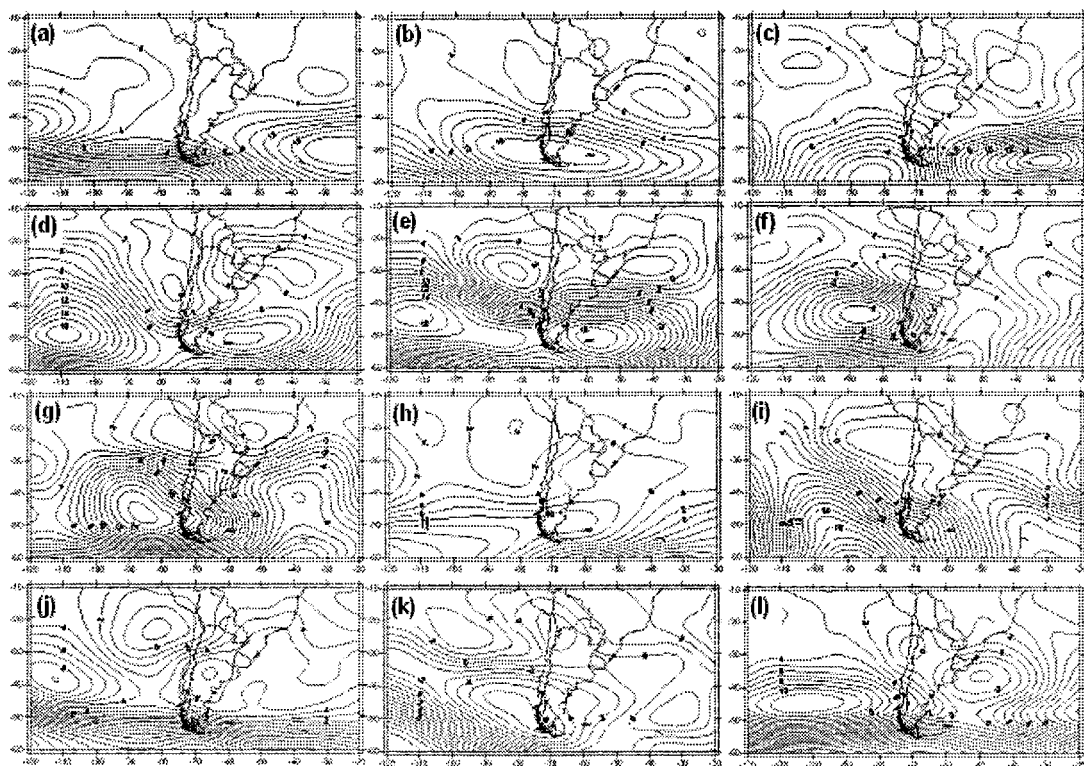
La Figura 5 muestra el campo medio climático de anomalías mensuales para cada mes del año, en la región de análisis. Para su confección se utilizó la base de datos de reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996). El campo medio climático de anomalías está calculado para el período enero 1973-abril 2006 y el campo climático medio (campo e referencia para la obtención de las anomalías)



**Figura 3.** PC1 extraída del conjunto extremo negativo para SACO (izquierda), SAEZ (centro), y SBGL (derecha).



**Figura 4.** Campo de anomalías medias mensuales de máxima correlación con la PC1 extraída del conjunto extremo negativo: SACO, julio de 1989 (izquierda); SAEZ, octubre de 1991 (centro); SBGL, octubre de 1973 (derecha). El valor del loading es de 0.93 para (a), -0.93 para (b) y -0.92 para (c).



**Figura 5.** Campo medio climático de anomalías mensuales de altura de 500 hPa en la región de análisis para: (a) enero; (b) febrero; (c) marzo; (d) abril; (e) mayo; (f) junio; (g) julio; (h) agosto; (i) septiembre; (j) octubre; (k) noviembre; (l) diciembre. El campo medio climático de anomalías mensuales está calculado para el período enero 1973 - abril 2006; las anomalías están calculadas en base a los campos medios climáticos mensuales para el período enero 1968 - diciembre 1996.

comprende el período enero 1968-diciembre 1996.

En la Figura 5g se aprecia que, climáticamente, se sitúa sobre el Océano Atlántico una vaguada con eje norte-sur en el mes de julio. Asimismo, hay presente un centro de actividad anticiclónica sobre el Pacífico Sur. La Figura 5g adopta un patrón muy similar al patrón que adoptan los sistemas anticiclónicos al cruzar los Andes hacia el este. En la posición ocupada por el centro anticiclónico en la Figura 5g aparece un collado en la Figura 4a.

Para octubre (Fig. 5j) el campo climático de anomalías mensuales muestra un débil centro anticiclónico ubicado al norte de la Patagonia. Sobre el Pacífico pueden observarse también dos sistemas: uno con actividad

anticiclónica más al oeste, y otro con débil actividad ciclónica hacia el noroeste. Para los campos asociados a la PC1, la zona de flujo casi zonal ubicada entre los 50° y 60° S ha sido reemplazada por un dipolo (Fig. 4b y c). Sin embargo, la orientación del dipolo es opuesta para cada caso. Se adopta aquí la convención de que la orientación zonal es positiva cuando se ubica un anticiclón sobre el Pacífico. De esta manera, la orientación del dipolo para octubre de 1991 (1973) es positiva (negativa).

La Figura 6 muestra la PC1 extraída del conjunto extremo positivo para cada una de las estaciones, y la Figura 7 muestra los campos de anomalías mensuales que mejor asociación tienen con ella.

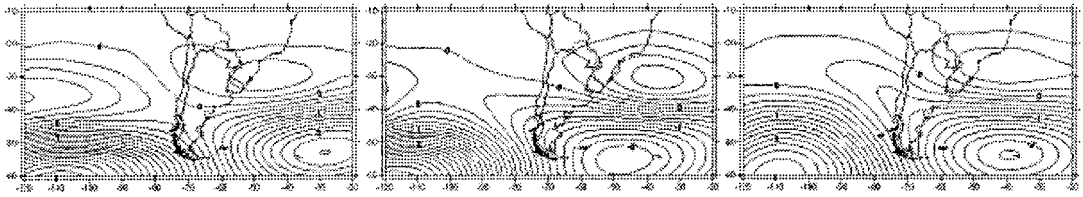


Figura 6. Ídem Figura 3 para el conjunto extremo positivo.

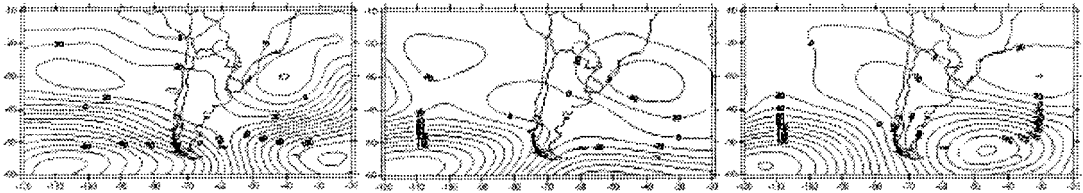


Figura 7. Campo de anomalías medias mensuales de máxima correlación con la PC1 extraída del conjunto extremo positivo: SACO, abril de 2006 (izquierda), SAEZ, abril de 1973 (centro), y SBGL, abril de 1990 (derecha). El valor del loading es de -0.93 (izquierda), 0.91 (centro) y 0.97 (derecha).

Un dipolo sigue presente al sur de 35° S. En los tres casos, la PC1 está asociada con el campo de anomalías mensuales de abril: 2006 (SACO), 1973 (SAEZ) y 1990 (SBGL). La orientación del dipolo es negativa, negativa, y positiva, respectivamente. La climatología de las anomalías para abril (Fig. 5d) muestra que al sur de 35° S no hay dipolo, sino que se ubica sobre cada océano un centro anticiclónico.

### ANÁLISIS DE VIENTOS PARA EVENTOS EXTREMOS

Para los casos extremos analizados se estudió también el comportamiento del viento. Las Figuras 8a, 9a y 10a muestran la rosa de los vientos para 500 hPa en SACO, SAEZ y SBGL, respectivamente. Naturalmente, en 500 hPa la mayor frecuencia corresponde a vientos del oeste, tanto para los eventos extremos como para los valores medios. En general, para eventos extremos negativos (positivos) puede observarse una mayor (menor) frecuencia de oestes en las tres estaciones. Adicionalmente, en SAEZ los vientos del tercer (cuarto) cuadrante tienen frecuencias mayores (menores) que la media. Esta característica

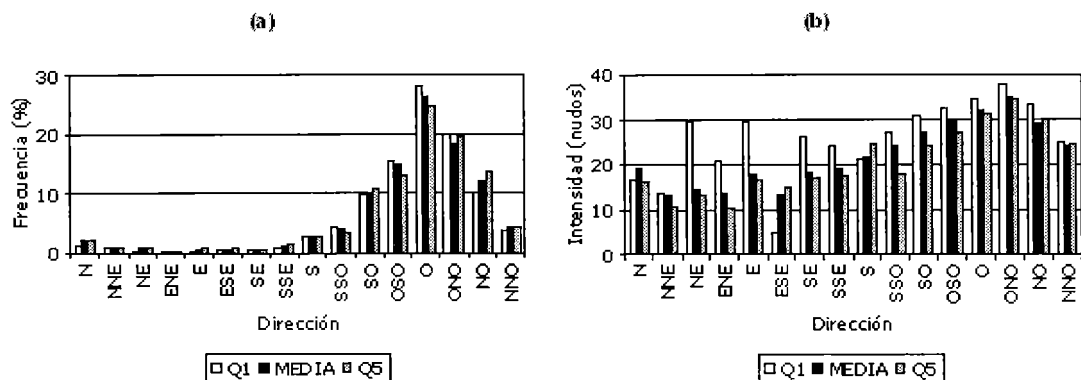
también se presenta en SACO aunque es menos evidente, y en SBGL sólo para el cuarto cuadrante.

Al analizar las intensidades de viento en SACO (Fig. 8b) se encuentra que, en general, eventos extremos negativos (positivos) se asocian con vientos más (menos) intensos. Esto último es particularmente cierto para las situaciones en las que el viento sopla con componente este: en los pocos casos observados las intensidades son considerables en todas las direcciones, salvo ESE y NNE.

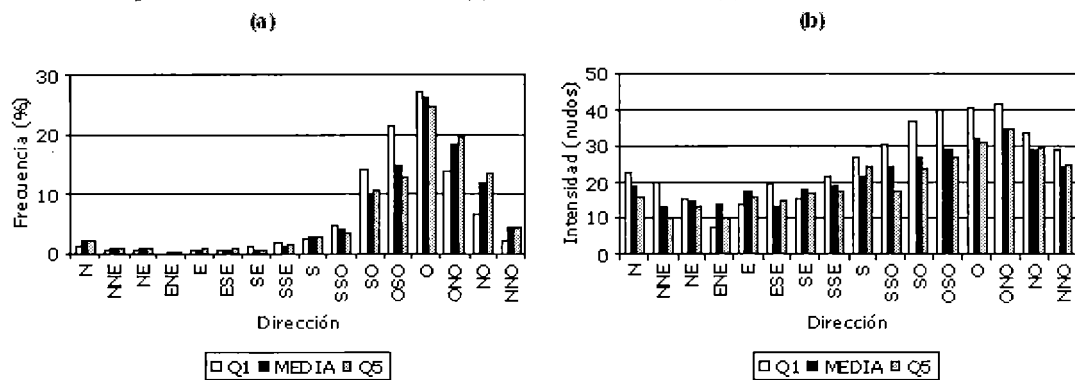
La Figura 9b muestra las intensidades para SAEZ. Nuevamente, en general eventos extremos negativos (positivos) se relacionan con intensidades mayores (menores) a la media, aunque la distribución de intensidades es mucho más regular, con máximos para vientos de componente oeste.

En SBGL (Fig. 10b) puede verse que tanto eventos extremos positivos como negativos poseen intensidades por debajo de la media, siendo las que corresponden a los eventos negativos las menores.

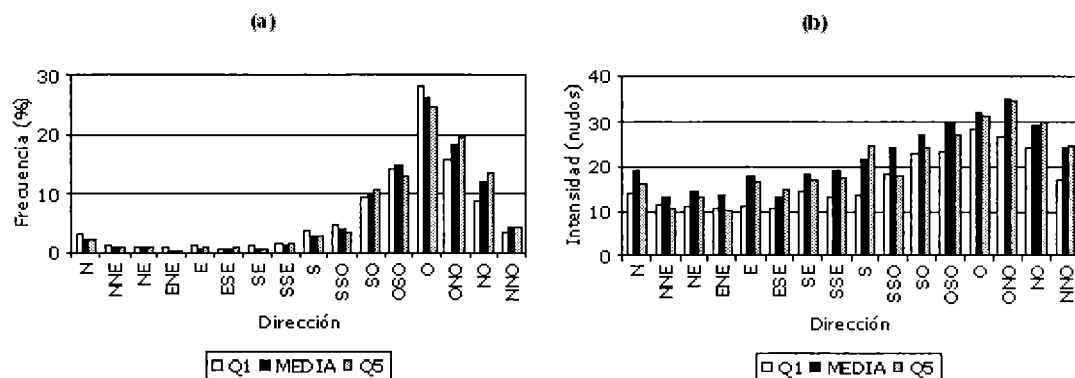
La rosa de los vientos en SBGL muestra que para los eventos extremos negativos (positivos) la frecuencia de vientos con



**Figura 8.** Frecuencia relativa e intensidad del viento en función de la dirección para ambos conjuntos extremos en SACO. Q1 (Q5) se refiere al conjunto extremo negativo (positivo). Se muestra también el valor medio para cada una de las variables: (a) Frecuencia relativa, (b) Intensidad.



**Figura 9.** Ídem Figura 8 para SAEZ.



**Figura 10.** Ídem Figura 8 para SBGL.

componente del oeste es mayor (menor) que la media. Para SAEZ, se observa el mismo comportamiento aunque restringido al tercer cuadrante. En cuanto a la intensidad, los vientos con componente oeste poseen valores

mayores (menores) a la media para los eventos extremos negativos (positivos) en SBGL. Nuevamente, SAEZ tiene el mismo comportamiento que SBGL pero mayormente dentro del tercer cuadrante.

## VARIABILIDAD INTERMENSUAL

Con el objeto de estudiar la variabilidad intermensual de los campos de circulación extremos se confeccionaron tablas que muestran la distribución de la mejor relación entre los campos medios reales y las cinco primeras componentes principales, considerando las situaciones en las que el valor del loading supera 0.7. La Tabla 2a muestra los meses extremos negativos en SACO asociados a cada una de las componentes. El número indica la PC y entre paréntesis se indica el signo del loading. Una cruz indica que la correlación entre el campo mensual de anomalías dentro de la región de interés y cada una de las primeras cinco componentes principales no es significativo. Si no hay datos para el mes, o éste no pertenece al conjunto extremo analizado, aparece un blanco. Puede verse que los meses extremos negativos se concentran en mayor medida hasta aproximadamente mediados de los '80, como así también que hay un predominio de las componentes de orden superior en la primera mitad del período.

La Tabla 2b muestra los meses extremos positivos en SACO y la asociación de cada uno de ellos con cada PC. En este caso, los meses extremos positivos se concentran mayormente en la última mitad del período y las componentes de orden superior parecen ser importantes desde mediados de la década del '80 en adelante.

La Tabla 3a muestra la asociación de cada uno de los meses del conjunto extremo negativo en SAEZ con las primeras cinco componentes principales. En ella puede observarse una menor concentración de meses extremos negativos en los primeros meses del año. Sin embargo, no se presenta el comportamiento observado en SACO y todas las componentes parecen tener una distribución homogénea en el tiempo.

En la Tabla 3b se presentan las asociaciones de los meses del conjunto extremo positivo en SAEZ con cada una de las primeras cinco componentes principales extraídas para ese conjunto. En este caso se observa una mayor concentración de los meses extremos positivos hacia la última mitad del período de estudio. Sin embargo y al igual que en la tabla anterior, el comportamiento visto en SACO no se presenta.

Para el conjunto extremo negativo en SBGL, la Tabla 4a presenta las asociaciones de los meses que lo componen con cada una de las primeras cinco PCs extraídas. Se presenta aquí el mismo comportamiento de SACO, con mayor densidad de extremos en los primeros años del período. Asimismo, hay una mayor presencia de componentes de orden superior antes del año 1983.

Se concluye el análisis de la distribución temporal de las componentes con la Tabla 4b, que muestra las asociaciones de los meses del conjunto extremo positivo en SBGL con las primeras cinco PCs extraídas. En este caso se observa el caso opuesto al de la Tabla 4a, pues hay una mayor densidad de meses extremos positivos a partir de 1983.

Además de la distribución temporal de meses extremos y de sus componentes asociadas, se computó la cantidad de loadings significativos para las Tablas 2, 3 y 4 efectuando discriminación por signo. La Tabla 5 muestra estos resultados: en cada par ordenado se muestra la cantidad de casos con loadings positivos y negativos, respectivamente.

Se dice que una determinada PC tiene un comportamiento de *flip-flop* cuando el signo del loading fluctúa. Según la Tabla 5, la PC1 tiene flip-flop en ambos conjuntos extremos y para las tres estaciones. Lo mismo ocurre con la PC2, a excepción del conjunto extremo negativo en SAEZ, el cual está bien definido. También puede observarse que a medida que el orden de la PC aumenta, el comportamiento de flip-flop se desvanece. Estadísticamente

**Tabla 2a.** Asociación de cada uno de los meses del conjunto extremo negativo en SACO con las primeras cinco componentes principales extraídas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973						2(+)		1(+)		1(+)	X	X
1974		X				1(+)			X		X	X
1975								1(-)			1(-)	
1976		1(+)			X	X	1(-)		X	4(-)	4(-)	X
1977								X				
1978												
1979		1(+)							3(+)			
1980		X		X		X					X	X
1981				X		2(-)				X	3(+)	
1982						1(+)				1(-)	1(-)	
1983					X	X	3(+)		X			
1984						2(-)		2(-)				2(-)
1985	1(+)											
1986												
1987					2(-)		1(-)	X	1(-)	X		X
1988		X			2(-)	4(+)			2(-)	X	X	
1989			1(+)						X			
1990											X	
1991						1(-)						X
1992					1(-)							
1993					X							
1994												
1995							1(-)					
1996	3(+)											
1997												
1998			X									
1999											1(+)	
2000						X	X				X	
2001					X							
2002												
2003												
2004					2(-)						X	
2005									1(+)			
2006												

hablando, la mayor incerteza se tiene presente en el conjunto extremo negativo para SACO, pues la mitad de los casos tienen loadings positivos y la otra mitad, negativos. Esto significa que no puede hallarse una relación entre las anomalías mensuales de altura geopotencial de 500 hPa y los campos de

circulación asociados a la PC1, pues existen dos configuraciones que tienen la misma probabilidad de ocurrencia. Tales configuraciones responden a la ubicación del dipolo presente al sur de 35° S, pero con distinto signo.



Tabla 2b. Ídem Tabla 2a pero para el conjunto extremo positivo.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973			X	1(+)			X					
1974												
1975												
1976												
1977									X	X		
1978												
1979							X					
1980			X									
1981								X				
1982								1(+)	X			
1983								X			1(-)	4(+)
1984	X									X		
1985		4(+)				2(-)				2(-)	X	X
1986	2(+)			X			X					
1987												
1988			X									
1989												
1990								X				
1991								X	X			
1992								X				
1993	X		3(-)					X		X		
1994			X					1(-)	X			X
1995				1(-)	4(+)	X		X			3(+)	4(+)
1996												
1997												
1998										X		
1999		2(+)	X					X				
2000				X						X		
2001		2(+)	2(+)					5(+)				1(-)
2002			1(+)							X		
2003	2(+)		X	X	3(+)	3(-)			X	X		
2004			X					X	2(+)			
2005		2(-)	X			X	2(-)	X				
2006	1(-)			1(-)								

### SALTOS CLIMATICOS EN LA DECADA DEL '80

Es casi evidente de la Tabla 2 que a fines de los años '80 ha tenido lugar un cambio significativo en las anomalías en SACO. Sin embargo, no alcanza con mencionar que se visualiza tal cambio y se necesita aplicar un test estadístico. En Yamamoto *et al.* (1986, 1987) se desarrolló una técnica para detectar saltos climáticos en base a la confección de un cociente entre señal y ruido (S/N). Cuando el valor del estadístico supera a la unidad el método detecta un salto climático. La Figura 11 muestra el cociente S/N, resultante de aplicar el test a las series de anomalías, con

una ventana de 30 meses y con un nivel de confianza del 95%. En SAEZ (Fig. 11b) no se detecta cambio alguno, pero en SACO (Fig. 11a) hay dos períodos temporales en los cuales S/N supera a la unidad. En tales períodos los valores máximos se alcanzan para febrero de 1977 y abril de 1987. Además, diciembre de 1995 es un punto aislado en el que también el valor de S/N es superior a 1. Sin embargo, el valor del estadístico en el caso de abril 1987 es superior a los otros dos.

El caso de SBGL (Fig. 11c) es particular, porque hay varios períodos temporales en los que S/N es mayor a 1. Pueden contabilizarse de la Figura 11c un total de ocho intervalos temporales en los cuales ocurre esto. Dado que

Tabla 3a. Ídem Tabla 2a para SAEZ

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973						X					X	X
1974						X			X		1(-)	
1975												
1976						1(-)						X
1977												
1978				2(+)								
1979					X				3(+)		X	
1980						X	X				X	
1981						2(+)						X
1982		3(+)			1(+)	X				1(-)	1(-)	
1983				2(+)	X	1(-)	3(+)		X			
1984					1(-)	X	X	2(+)				2(+)
1985			X									
1986					1(-)							
1987					2(+)			X	1(-)			X
1988					2(+)	X				X		
1989									X			
1990			3(+)		X							
1991		1(+)				1(-)	1(-)			1(-)		X
1992					1(-)							
1993					X		X		1(-)		1(+)	
1994	X	X										
1995						X				X		
1996	3(+)	3(+)										
1997						4(+)			1(-)	X		1(-)
1998									X			4(-)
1999											1(+)	X
2000					2(+)	X	X				1(-)	
2001												
2002												
2003												3(+)
2004					2(+)					X	X	
2005									X			1(-)
2006												

no se esperan ocho saltos climáticos en un período de tiempo tan corto, las razones deben buscarse por otro lado. Gaffen (1994) menciona distintas causas que pueden provocar discontinuidades e inhomogeneidades en los registros de temperatura obtenidos de radiosondeos. Por ejemplo, esto puede deberse a cambios en los sensores, cambios en la corrección por radiación, e incluso cambios en la longitud del hilo que une el globo con el instrumento. En el mencionado trabajo se llega a la conclusión de que las discontinuidades en los datos de temperatura provistos por los radiosondeos tienen una escala temporal de 10 años, aunque también se menciona que hay estaciones con

una escala temporal mucho menor. No hay razón para creer que las mencionadas discontinuidades en temperatura no aparezcan también en otras variables, como en altura geopotencial. De esta forma, el valor de S/N para SBGL estaría reflejando no solamente la presencia de saltos climáticos, sino también la presencia de otro tipo de discontinuidades e inhomogeneidades inducidas por las causas mencionadas.

A fines de la década del '70 tuvo lugar en el Pacífico un salto climático con consecuencias a nivel global que han sido bien documentadas (ej., Nitta y Yamada, 1989; Millar *et al.*, 1994; Zhang *et al.*, 1997; Chavez *et al.*, 2003; Hartmann y Wendler, 2005;

Tabla 3b. Ídem Tabla 2b para SAEZ

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973		X	X	1(+)								
1974												
1975												
1976	1(+)						1(+)	X				
1977		X	X			X			1(+)	X		2(-)
1978									1(-)			
1979	1(-)		1(-)									
1980			X									
1981	X	2(+)		X	X		X	X				
1982				X				X	X			
1983												4(+)
1984										X		
1985						2(-)			1(-)			
1986							X		X			
1987		3(-)	X									
1988			X				X					
1989					X						X	X
1990										X		
1991								X	X			
1992		1(+)	X					5(+)	1(-)			
1993			3(-)					X		2(-)		
1994								1(-)	X			X
1995								X	X			4(+)
1996					1(-)			X	1(-)			
1997					2(-)		X	3(-)				
1998						1(-)	2(+)			X		
1999			X					2(-)		X		
2000				X								
2001		2(+)	2(+)					X				
2002			1(+)							X		
2003			4(+)			3(-)				X		
2004			X					X	1(+)			
2005		X	X									
2006	1(-)											

Huang *et al.*, 2005) y es importante mencionar que el test aplicado lo detecta en SACO. Sin embargo, en SAEZ el valor de S/N no supera la unidad en ningún caso. El test de Yamamoto aplicado a las series intermensuales de anomalías sugiere que un salto climático ha tenido lugar en SACO a comienzos de 1987, al menos en 500 hPa. En concordancia con lo que se observa en la Tabla 3, no hay saltos registrados para SAEZ en 500 hPa. Especial cuidado debe tenerse al obtener conclusiones sobre los resultados mostrados para SBGL. Por las razones antes expuestas no puede afirmarse que haya tenido lugar un salto climático en esta estación, aunque la similitud entre las Tablas 2 y 4 podría sugerir que de

haber tenido lugar un salto climático, el mismo ocurrió entre fines de 1982 y principios de 1983. Justamente dentro de este período tuvo lugar la gran erupción del volcán El Chichón (1982). Este acontecimiento también debe ser tenido en cuenta debido a sus efectos a nivel global (Robock y Matson, 1983). Algunos aspectos de la relación entre las erupciones volcánicas y el clima pueden encontrarse en Robock (2000). Es importante mencionar que el salto climático que tuvo lugar en SACO es simultáneo al evento El Niño 1986/7, y que el potencial cambio mencionado en SBGL (que, no obstante, se aprecia claramente en las Tablas 4a y b) coincide exactamente con el evento El Niño 1982/3. En este sentido, la

Tabla 4a. Ídem Tabla 2a para SBGL

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973											X	
1974			X	X	X	1(-)		X		X	X	X
1975											1(+)	
1976		1(-)			4(-)	X	1(+)	X	X	4(-)	X	X
1977	X					2(+)						
1978		X		X	1(-)	3(+)	X		1(-)			
1979	1(-)	1(-)	1(-)				X	X				
1980												
1981				X		2(-)		1(+)		X		
1982	1(-)			X	1(-)							
1983												
1984								2(-)	X			
1985												
1986												
1987												
1988										5(-)		
1989			1(-)			X	1(-)		X		X	2(+)
1990		2(-)			X		1(-)	X	X			
1991											X	
1992												
1993												
1994												
1995										1(-)		
1996					X		2(-)					
1997			X	X	4(-)							
1998											3(+)	
1999					X	1(-)		X			1(-)	X
2000	X				X		X	1(+)				
2001												
2002												
2003												
2004	X	2(-)	X				X					
2005		X									X	2(-)
2006												

variabilidad intermensual de las anomalías mensuales de altura geopotencial de 500 hPa en SAEZ no se vería afectada por eventos El Niño.

### CONCLUSIONES

La presencia de un dipolo al sur de 35° S, con un sistema ubicado en el Pacífico y otro en el Atlántico, son una característica dominante para la presencia de anomalías extremas en la altura geopotencial de 500 hPa en las tres estaciones analizadas. Sin embargo, la configuración del dipolo depende de la estación analizada. Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 5, puede concluirse que el primer (último) quintil de anomalías en

SAEZ (SBGL) está relacionado con una orientación positiva del dipolo. Por otro lado, el primer quintil de anomalías en SBGL está relacionado con situaciones de bloqueo en el Atlántico Sur. Nada puede concluirse para SACO en ambos quintiles porque las frecuencias de situaciones con dipolos de orientación negativa y positiva son iguales para el primer quintil, o muy similares para el último. Lo mismo sucede para SAEZ en el último quintil.

Con respecto al análisis de vientos, en general sucede que los eventos extremos negativos (positivos) están relacionados con mayor (menor) frecuencia de oestes, como así también más (menos) intensos.

Tabla 4b. Ídem Tabla 2b para SBGL

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	X	X				X	1(-)					
1974									X			
1975								1(+)				
1976												
1977												
1978												
1979						X						
1980			X	X	1(-)							
1981									1(+)			
1982											1(+)	
1983								X		5(+)	1(-)	
1984	X	2(+)		X	1(+)	X				X	X	
1985		4(+)	1(+)	2(+)			X					
1986					1(+)	2(+)			X		1(+)	
1987				2(+)			1(+)					
1988	1(+)			1(+)					X			
1989												
1990				1(+)							2(+)	
1991						1(+)		X				X
1992												
1993										X	X	
1994		3(+)		X						1(+)	1(-)	3(-)
1995	X	2(-)					1(+)	1(+)	X			
1996	X			X								
1997							X	X		X	X	1(+)
1998	X	2(-)	X		2(-)							
1999	3(+)											
2000										X		
2001				1(+)				X				
2002			1(+)	X		1(+)				2(+)	1(+)	X
2003		2(+)		2(-)		X	3(+)					
2004									X			
2005										X		
2006												

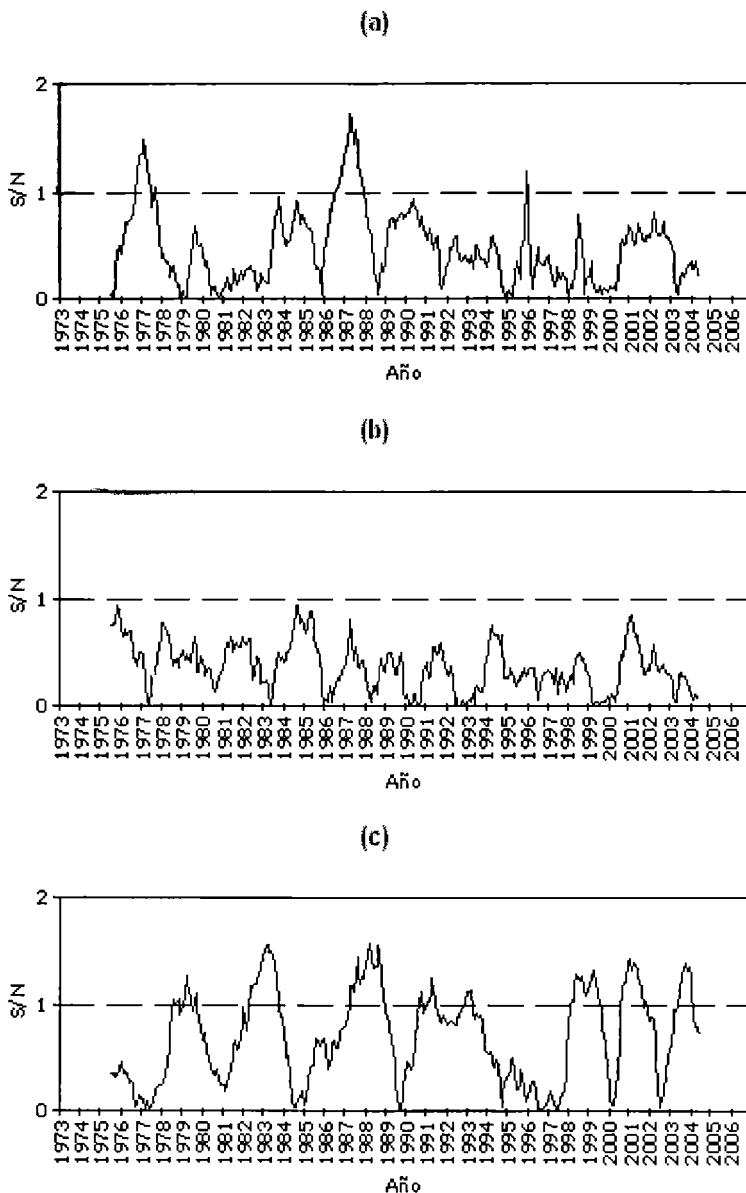
En relación a las Tablas 2, 3 y 4 y a la variabilidad intermensual de anomalías de 500 hPa, se muestra que ha tenido lugar un salto climático en SACO a fines de la década del '80 y se menciona la posibilidad de que un salto climático haya tenido lugar en SBGL a comienzos de la misma década. Ambos saltos ocurren en simultaneidad con la presencia de

eventos El Niño muy intensos. Sin embargo, no hay saltos detectados en la serie de SAEZ, por lo que se infiere que los eventos El Niño no afectan a la variabilidad intermensual de anomalías de 500 hPa en SAEZ.

Tabla 5. Cantidad de eventos con valores positivos y negativos de los loadings

Estación	SACO		SAEZ		SBGL	
	1	5	1	5	1	5
PC1	(10,10)	(3,5)	(4,17)	(7,10)	(4,15)	(20,4)
PC2	(1,8)	(6,4)	(9,0)	(4,5)	(2,6)	(7,4)
PC3	(4,0)	(2,2)	(7,0)	(0,4)	(2,0)	(3,1)
PC4	(1,2)	(4,0)	(1,1)	(3,0)	(0,3)	(1,0)
PC5	(0,0)	(1,0)	(0,0)	(1,0)	(0,1)	(1,0)

**Agradecimientos.** Los autores desean expresar su agradecimiento a los proyectos UBACyT-X095, CONICET PIP2004-5276 y PICT2004-26094. Adrián Yuchechen extiende su gratitud hacia el CONICET por haberle otorgado la Beca de Doctorado, beca bajo la cual fue desarrollado el presente estudio, y hacia la Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires, por brindarle su lugar de trabajo



**Figura 11.** Cociente S/N para las anomalías en (a) SACO, (b) SAEZ y (c) SBGL, calculado con una ventana de 30 meses y un nivel de confianza del 95%. Tabla 1. Varianza explicada (%) por cada PC para cada uno de los quintiles, en cada una de las estaciones.

**REFERENCIAS**

Blackmon, M. L. 1976. A Climatological Spectral Study of the 500 mb Geopotential Height of the Northern Hemisphere, *J. Atmos. Sci.*, 33, 1607-1623

Canziani, P. O., R. H. Compagnucci, S. A. Bischoff, and W. E. Legnani. 2002. A study of impacts of tropospheric synoptic processes on the genesis and evolution of extreme total ozone anomalies over southern South America, *J. Geophys. Res.*, 107 (D24), 4741, doi: 10.1029/2001JD000965



- Chavez, F. P., J. Ryan, S. E. Lluch-Cota and M. Niquen Carranza. 2003. From Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean, *Science*, 299, 217-221
- Gaffen, D. J. 1994. Temporal inhomogeneities in radiosonde temperature records, *J. Geophys. Res.*, 99 (D2), 3667-3676
- Green, P. E. 1978. *Analyzing Multivariate Data*, The Dryden Press, Hinsdale, IL, USA, 519 pp.
- Hartmann, B. and G. Wendler. 2005: The Significance of the 1976 Pacific Climate Shift in the Climatology of Alaska, *J. Climate*, 18 (22), 4824-4839
- Horel, J. D. 1985. Persistence of the 500 mb Height Field during Northern Hemisphere Winter, *Mon. Wea. Rev.*, 113, 2030-2042
- Huang, H. P., R. Seager, and Y. Kushnir. 2005. The 1976/7 transition in precipitation over the Americas and the influence of tropical sea surface temperature, *Climate Dynamics*, 24 (7-8), 721-740
- Jenkins, G. M. and D. G. Watts. 1968. *Spectral Analysis and Its Applications*, Holden-Day, San Francisco, CA, USA, 275 pp.
- Kalnay, E. and coautores. 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471
- Kidson, J. W. 1988. Interannual Variations in the Southern Hemisphere Circulation, *J. Climate*, 1(12), 1177-1198
- Lejenäs, H. 1984. Characteristics of Southern Hemisphere blocking as determined from a time series of observational data, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 110, 967-979
- Miller, A., D. Cayan, T. Barnett, N. Graham and J. Oberhuber. 1994. The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean, *Oceanography*, 7, 21-26
- Nitta, T. and S. Yamada. 1989. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 67, 187-193
- Richman, M. B. 1986. Rotation of principal components, *J. Climatol.*, 6, 3, 293-335
- Robock, A., y Matson, M., 1983: Circumglobal transport of the El Chichón volcanic dust cloud, *Science*, 221, 195-197
- Robock, A. 2000. Volcanic Eruptions and Climate, *Rev. Geophys.*, 38(2), 191-220, doi:10.1029/1998RG000054
- Salles, M. A., P. O. Canziani, and R. H. Compagnucci. 2001. The spatial and temporal behaviour of the lower stratospheric temperature over the Southern Hemisphere: the MSU view. Part II: spatial behaviour, *Int. J. Climatol.*, 21 (4), 439-454
- Trenberth, K. E. 1979. Interannual Variability of the 500 mb Zonal Mean Flow in the Southern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1515-1524
- Trenberth, K. E and K. C. Mo, 1985: Blocking in the Southern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 113, 3-21
- Wilks, D. S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition, Academic Press, Burlington, MA, USA, 627 pp.
- World Meteorological Organization (WMO). 1992. *International Meteorological Vocabulary*, Secretariat of the World Meteorological Organization, N182, Geneva, Switzerland, 784 pp.
- Yamamoto, R., T. Iwashima and N. K. Sanga. 1986. An Analysis of Climatic Jump, *J. Met. Soc. Japan*, 64 (2), 273-280
- Yamamoto, R., T. Iwashima and N. K. Sanga. 1987. Detection of the Climatic Jumps, Presented at XIX IUGG General Assembly, Vancouver, Canada
- Yuchechen, A. E., S. A. Bischoff and P. O. Canziani. 2006. Spatial and Temporal Perturbations Variability in Tropical and Extratropical Systems in South America; Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (8ICSHMO), Foz do Iguacu, São José dos Campos: INPE, 2006; Poster, p. 1635-1646, CD-ROM, ISBN 85-17-00023-4
- Zhang, Y., J. M. Wallace and D. S. Battisti. 1997. ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93, *J. Climate*, 10(5), 1004-1020



## APLICACION DEL MODELO DE TRANSFORMACION DE ALTURAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, EN EL PARTIDO DE GENERAL MADARIAGA

*Diego Bagú<sup>1</sup>, Raúl Perdomo<sup>1,2</sup>, Daniel Del Cogliano<sup>1,2</sup> y Luciano Mendoza<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - Universidad Nacional de La Plata  
<sup>2</sup> CONICET

dbagu@carina.fcaglp.unlp.edu.ar, perdomo@fcaglp.unlp.edu.ar, daniel@fcaglp.unlp.edu.ar,  
lmendoza@carina.fcaglp.unlp.edu.ar

### RESUMEN

Durante el año 2005 se repitió una experiencia realizada en el partido de Gral. Lavalle (Perdomo *et al.*, 2004), que consistió en el relevamiento de cotas a lo largo de toda la red de caminos rurales del partido y el posicionamiento de alcantarillas, puentes y cruces de agua. La metodología empleada consistió en el posicionamiento GPS cinemático con estaciones de control vinculadas a la red GEOBA98. De esta manera, se recorrieron unos 600 km. obteniendo cotas para unos 20000 puntos y 485 obras de arte (alcantarillas y puentes) en 5 días de campaña. Las alturas así obtenidas son elipsóidicas. La aplicación del modelo de transformación de alturas FCAG98 (Perdomo y Del Cogliano, 1999) sobre este conjunto de puntos permitió obtener una primera aproximación de las cotas sobre el nivel medio del mar.

En esta oportunidad, se realizó un control del modelo existente eligiendo como puntos de control cuatro mojones IGM con cota conocida ubicados en zonas de borde del partido. En cada uno de ellos se puede estimar la ondulación del geoide (N) como la diferencia entre la altura elipsóidica y la cota IGM y comparar este resultado con el producido por el modelo existente (FCAG98).

Dos de los cuatro puntos mostraron desvíos de 4 y 9 cm. Se incorporó ambos puntos a un nuevo modelo zonal mejorando la calidad del modelo FCAG98 en dicha región. Con esta corrección se estima que la transformación de alturas elipsoidales en alturas sobre el nivel medio del mar (cotas) en la zona es mejor que 5 cm. Los relevamientos se realizaron con una antena sujeta a un vehículo en movimiento. En consecuencia, es necesario considerar los errores que esto introduce en la realización de cada punto observado. Para obtener una estimación objetiva se tuvieron en cuenta 210 puntos de control en las cuales se midió dos o más veces en forma independiente y desde distintas bases. Los resultados permiten estimar errores típicos del orden de los 6 cm (desviación estándar).

**Palabras Claves:** GPS cinemático-modelo de transformación de alturas-geoide-estaciones de control

### ABSTRACT

During 2005, an experience previously developed in the Gral. Lavalle district (Perdomo *et al.*, 2004) was carried out. It consisted in surveying of heights on the rural roads and positioning of bridges and water flows. Kinematic GPS was used with control stations related to Buenos Aires GPS network GEOBA98. In this way, almost 600 km were surveyed and heights were obtained for about 20000 points, 485 bridges and waters flows, during a survey of only 5 days.

The heightsw were ellipsoidal. The application of the height transformation model FCAG98 (Perdomo y Del Cogliano, 1999) on these points allowed to obtain a first approximation to mean sea level heights for all of them. In this case, the existing model was monitored using four IGM pillars with known heights as control points. These points are located on the limits of the district. In each of them, the geoid

undulation (N) is calculated as the difference between the ellipsoidal height and the IGM mean sea level height and these results are compared with the predicted values from the existing model (FCAG98). Two of the points showed discrepancies of 4 and 9 cm. So both points were incorporated to a new local model improving the FCAG98 model for this region. With these local corrections, the height transformations should be at least more accurate than 5 cm. The survey was run with an antenna located on a moving truck. This procedure introduces new errors. To monitor them 210 points were measured twice, during independent trajectories and using different bases. The comparison of the heights for these 210 points is typically 6 cm (standard deviation).

**Keywords:** kinematic GPS-height transformation model-geoid-control stations

## INTRODUCCION

El presente trabajo se desarrolló en el partido de Gral. Madariaga, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, más precisamente en la región denominada Salado Inferior, al sur de la cuenca del río Salado. Es una zona comprendida entre el área extra-serrana de Tandil, el curso del mencionado río y la costa del océano atlántico. Se trata de una región deprimida, surcada por canales que desvían aguas desde el área serrana de Tandil hacia la Bahía Samborombón.

Todas estas características hacen que la zona en estudio sufra inundaciones periódicas, con los problemas que esto conlleva. Con el fin de encontrar una solución a esta situación, es imperiosa la necesidad de realizar análisis sobre la base de modelos de elevaciones del terreno actualizados. En particular, las últimas inundaciones afectaron la red de caminos vecinales, muchos de los cuales fueron modificados, "alteados", nuevas alcantarillas fueron improvisadas, etc. Por lo tanto, es necesario contar con estudios topográficos y de nivelación que actualicen la información existente, principalmente en la localización de puentes y alcantarillas y en el nivel de la rasante de toda la red vial del partido.

La utilización de GPS para tareas de relevamiento altimétrico requiere contar con un modelo de transformación de alturas para convertir las alturas elipsoidales que resultan directamente de GPS a alturas sobre el nivel

medio del mar. Esta tarea solo es posible si se dispone de un modelo específico para la zona de trabajo, o en su defecto, un modelo de geoide local o global. En cualquier caso, es fundamental validar el modelo a utilizar mediante la inclusión durante el relevamiento de puntos especialmente elegidos para tal fin.

Estos puntos son mojones preexistentes con cota conocida sobre los cuales se realizan mediciones GPS con la misma metodología y marco de referencia que la utilizada para el establecimiento de la red de puntos fijos. Sobre ellos se aplica el modelo de transformación de alturas y se verifica con la cota conocida. Si estas comparaciones están dentro de las tolerancias establecidas para el trabajo se adopta el modelo utilizado, de lo contrario, se incorporan nuevos puntos y se mejora localmente el modelo.

El levantamiento altimétrico de la red vial, puentes y alcantarillas, se puede hacer muy rápidamente utilizando GPS en modo cinemático. Esto implica disponer de un equipo fijo en un punto de coordenadas conocidas y un equipo móvil instalado sobre un vehículo en movimiento. Esta modalidad de posicionamiento requiere de cuidados especiales durante el relevamiento (evitar obstrucciones de la señal) y en el procesamiento. En esta oportunidad se dispuso una metodología de control del trabajo que consistió en la medición redundante de un conjunto de puntos comunes a distintos tramos del trabajo.

## DESARROLLO

### Medición de una red de puntos fijos apropiada para apoyar el relevamiento

Se utilizaron tres puntos de la red geodésica de la provincia de Buenos Aires, dos de ellos, GMAD y VGES, en el partido de General Madariaga, constituyeron el origen de la red de puntos fijos medida para la ejecución del proyecto. El tercer punto, LARM, ubicado en el partido de Maipú, fue utilizado como base del relevamiento auxiliar realizado sobre ruta 2.

La Tabla 1 presenta las coordenadas geodésicas, Latitud, Longitud y Altura elipsoidal, en el sistema POSGAR94 (marco de referencia GEOBA98, Red Geodésica de Alta Precisión de la Provincia de Buenos Aires, 1998, y Red Geodésica de Alta Precisión de la Provincia de Buenos Aires, densificación 2002, 2002) de los puntos fijos medidos, la quinta columna muestra la cota

sobre el nivel medio del mar (existente por tratarse de mojoncs o ménsulas IGM), y la última columna, como están materializados en el terreno. En total se utilizaron 14 puntos fijos.

### Puntos de control altimétrico

Los puntos de control VGES, GMAD, LARM, GM05, GM06, GM07, GM13 están materializados en el terreno por mojoncs o ménsulas con información altimétrica previa (Tabla 1). En todos ellos se conoce la altura sobre el nivel del mar.

Los tres primeros forman parte de la red geodésica de la provincia de Buenos Aires y se utilizaron oportunamente para la elaboración del modelo de transformación de alturas mencionado (FCAG98, Perdomo y Del Cogliano, 1999) que permite obtener cotas sobre el nivel del mar a partir de alturas elipsoidales (GPS) a partir de un software propio (Mendoza, 2001) (Fig. 1).

El modelo es fundamental para este trabajo puesto que es el que permite la utilización de

**Tabla 1.** Coordenadas de la red de puntos fijos materializados en Gral. Madariaga a partir de los tres primeros VGES, GMAD y LARA. La Figura 1 muestra la distribución de esta red.

Identificación	Longitud	Latitud	Altura Elipsoidal	Altura SNM	Tipo de marca
GM01/VGES	-57 08 04.6371	-37 19 31.2573	19.744	5.97	mojón IGM
GM15/GMAD	-57 14 36.2712	-36 58 59.7769	20.083	5.93	mojón IGM
GM16/LARM	-57 37 14.1744	-37 04 26.2333	27.330	12.80	mojón IGM
GM02	-57 06 18.6490	-37 13 08.8614	21.751		poste existente
GM03	-57 06 28.9486	-37 05 05.5912	20.788		poste existente
GM05	-57 16 39.3122	-37 19 32.8375	20.813	6.81	ménsula IGM
GM06	-57 20 33.8170	-37 13 16.2597	21.543	7.39	mojón IGM
GM07	-57 28 47.6097	-37 18 15.6127	25.445	11.03	mojón IGM
GM08	-57 37 06.9911	-37 12 30.0539	30.351		Estaca
GM09	-57 26 10.5475	-37 05 44.0418	24.113		poste existente
GM10	-57 15 40.7439	-37 04 13.7639	21.943		Estaca
GM11	-56 56 21.4394	-37 05 55.2778	18.414		Estaca
GM13/PFINVIP	-57 01 58.9871	-37 09 09.4595	19.024	5.22	mojón IGM
GM18	-57 07 14.6795	-37 01 26.8183	19.319		Alcantarilla

GPS en el relevamiento. Es decir, que todas las alturas obtenidas con GPS son transformadas utilizando este modelo. En consecuencia el control del modelo en la región de trabajo, y su mejoramiento, se realizó a partir de la medición de GM05, GM06, GM07, GM13.

### Relevamiento GPS de caminos y obras de arte

La modalidad empleada para el relevamiento fue la denominada cinemática en la que

un receptor se instala sobre un vehículo y registra datos en movimiento, mientras que al menos otro receptor permanece fijo en un punto de control.

Para lograr resultados precisos es necesario tener dos precauciones principales: no alejarse demasiado del receptor fijo y realizar sesiones relativamente cortas en tiempo. Para lograr ambas cosas es muy importante el diseño de la red de puntos fijos. En este caso, estos distan unos de otros entre 15 y 20 km, de manera que los desplazamientos del receptor móvil

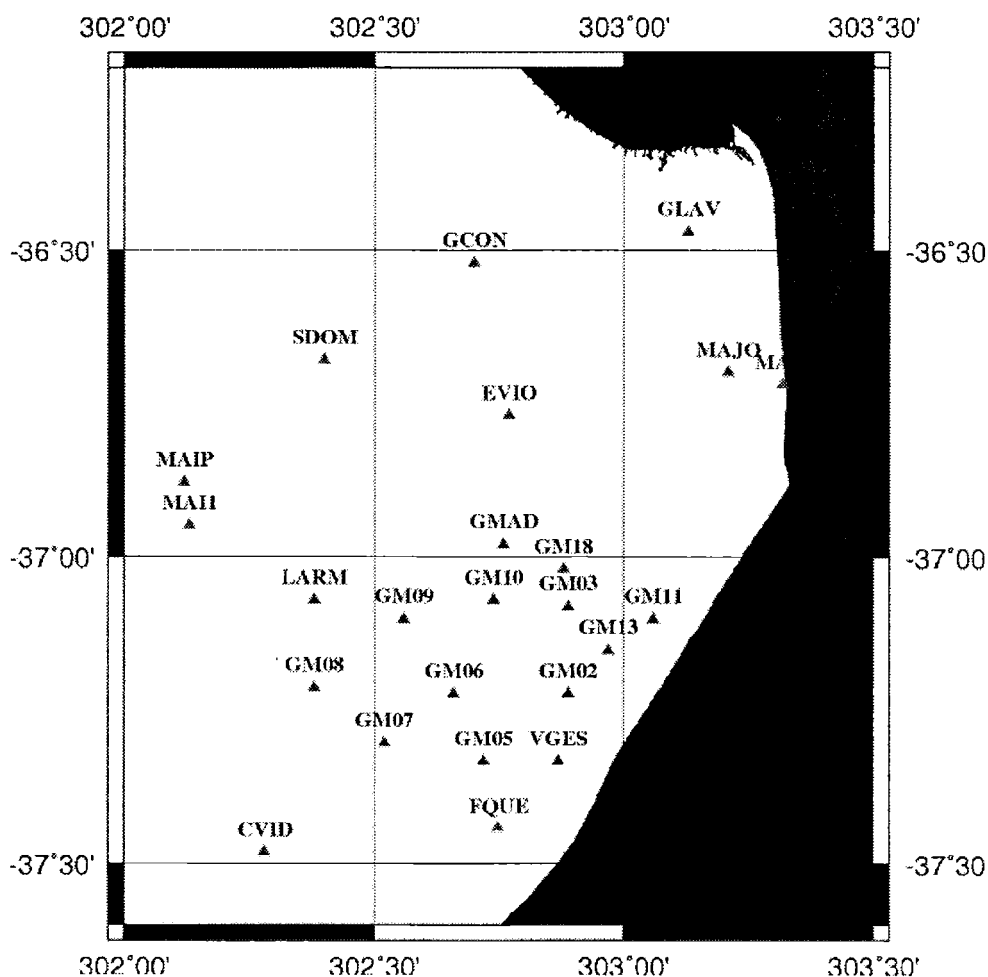


Figura 1. Red de puntos fijos. GMAD, VGES, LARM pertenecen a la red GPS de alta precisión de la Pcia. de Buenos Aires, los demás fueron materializados para este trabajo. En verde, otros puntos próximos de esta red incorporados al cálculo del modelo de transformación de alturas.



siempre están a menos de 10 km del punto fijo más próximo.

Se relevaron aproximadamente 600 km de camino y 485 obras de arte. En todos los casos, se acumularon al menos 3 épocas de medición (15 segundos) en cada obra de arte lo que permite su rápida identificación en el archivo de coordenadas. Igualmente se pueden identificar por la hora de medición que fue registrada manualmente. La Figura 2 muestra las trayectorias relevadas.

Los puntos sobre rutas y caminos se espaciaron en función de lo solicitado típicamente entre 30 y 50 metros en la mayor

parte del relevamiento. Unos 20000 puntos en total.

### Procesamiento GPS

Los equipos utilizados fueron 2 receptores Trimble 4700 (doble frecuencia), 1 receptor Trimble 4000 (doble frecuencia). Indicadores de precisión: Para las bases fijas, en todos los casos se obtuvieron soluciones muy satisfactorias con ambigüedades fijas y errores formales milimétricos (en el mayor error se obtuvo un estimador de calidad de ambigüedades de 9.5 y una varianza de referencia de 1.6). Para los

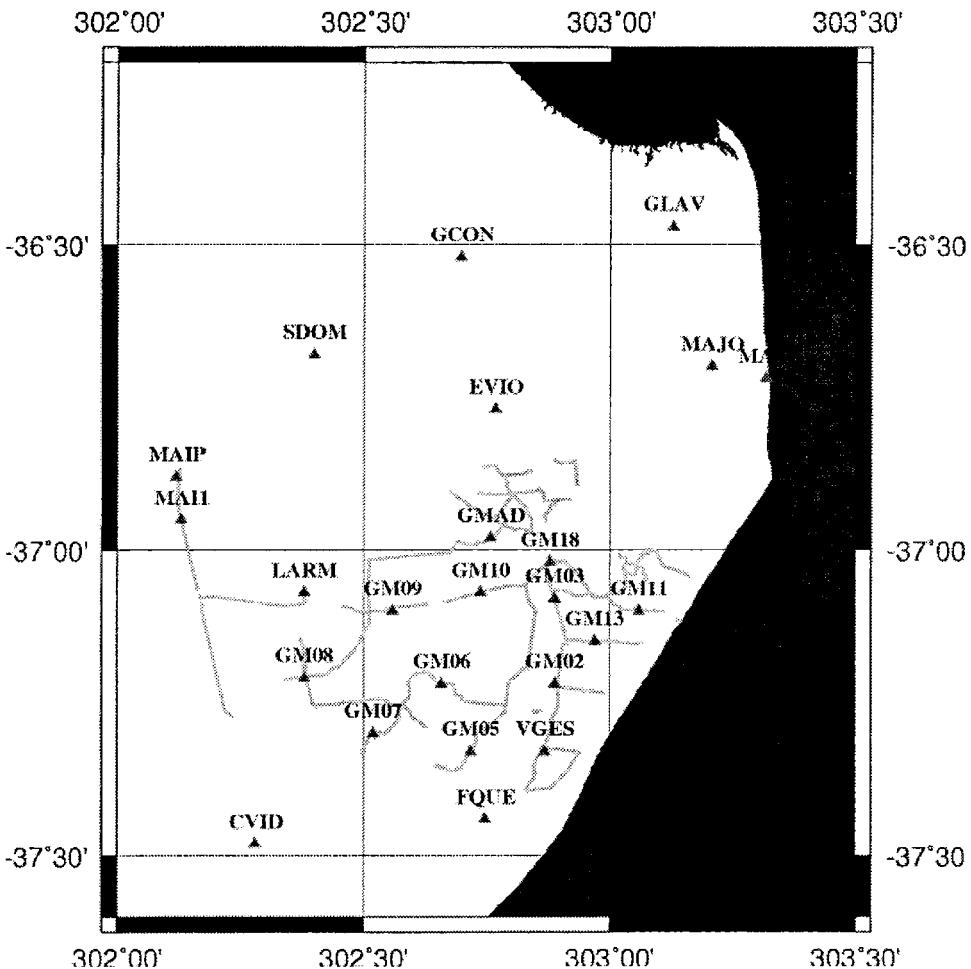


Figura 2. Rutas y caminos relevados en este trabajo. En el Este los puntos extremos se encuentran sobre la ruta Interbalnearia, y en el Oeste, sobre la ruta 2.

segmentos cinemáticos, se eliminaron tramos con mala geometría por pérdida de satélites y se mantuvieron las soluciones con errores menores a 2 cm.

Estimación de los errores reales: se midieron varios puntos comunes en distintas corridas llegando aproximadamente a la misma posición desde dos segmentos distintos. La comparación de las cotas obtenidas del procesamiento de segmentos distintos, independientes, medidos desde puntos fijos y en tiempos diferentes, permite un análisis más ajustado a la realidad.

Para este control se desarrolló un software sencillo que compara la posición de cada punto con cada uno de los aproximadamente 20000 puntos del archivo. Con una tolerancia de 2 metros, coinciden 210 puntos. Las diferencias de altura para cada uno de ellos se presenta en la Tabla 2.

En este proceso de comparación, es inevitable que se deslicen accidentalmente algunas diferencias grandes porque la comparación se realiza en un entorno de 2 m sobre un vehículo en movimiento sobre caminos de tierra siguiendo trayectorias que en muchos casos son de sentido opuesto (es decir, que la camioneta no viene pisando necesariamente la misma huella). Este resultado valida satisfactoriamente la metodología, en lo relativo a la precisión buscada (mejor que 10 cm).

**Tabla 2.** Resumen de las diferencias de altura encontradas.

Valor absoluto de las diferencias	# Puntos	%
entre 0 y 5 cm	133	63
entre 5 y 10 cm	54	26
entre 10 y 15 cm	20	10
entre 15 y 20 cm	3	1

### Obtención de cotas sobre el nivel del mar

El modelo existente FCAG98 de transformación de alturas elipsoidales (h) en cotas sobre el nivel del mar (H) contiene unos 200 puntos distribuidos en toda la provincia de Buenos Aires con la doble información, h y H. Se trata de un modelo puramente numérico que consiste en una grilla equiespaciada de las diferencias h - H obtenida a partir de los datos conocidos y un algoritmo apropiado de interpolación que permite estimar esta diferencia en función de la latitud y longitud dadas. Determinando h con GPS para cualquier punto y restando el valor h-H obtenido del modelo, es posible estimar H para el punto medido.

Cuando esta operación se realiza sobre puntos cuya H es previamente conocida, en este caso GM05, GM06, GM07, GM13, es posible "controlar el modelo". En este caso, el acuerdo entre H conocida y H del modelo fue muy satisfactorio para GM05 y GM13 (mejor que 2 cm), pero alcanzó los 4 y 9 cm para GM06 y GM07 respectivamente. Este resultado es natural dado que el partido de Gral. Madariaga se encuentra en zona de borde del modelo y cualquier interpolación "en borde" debe ser analizada especialmente.

Para mejorar la calidad del modelo se incorporaron los datos de los cuatro puntos de control a la información de toda la provincia y se reconstruyó el modelo obteniendo una grilla especialmente mejorada para la región.

La totalidad de los aproximadamente 20000 puntos relevados en cinemático fueron interpolados utilizando esta nueva grilla para convertir alturas elipsoidales h en alturas sobre el nivel del mar H. Una representación esquemática de estas cotas (relevadas siempre sobre rutas y caminos) puede verse en la Figura 3.

### Discusión de la precisión

Los errores residuales del modelo de transformación de alturas deben ser necesari-

riamente menores a los 9 cm por la nueva información incorporada al modelo con los cuatro nuevos puntos agregados en la región de trabajo. El 89 % de los puntos de control medidos sobre distintas trayectorias presenta diferencias inferiores a los 10 cm. Los restantes puntos de control con errores entre 10 y 20 cm parecen producto de diferencias accidentales propias de la metodología de relevamiento.

## CONCLUSIONES

Los errores estimados en las cotas presentadas en este trabajo para la rasante de todos los caminos del partido de Gral. Madariaga están dentro de lo razonable. Como ya se mencionó, casi todos estos caminos son de tierra y las cotas puntuales cambian a nivel de varios centímetros según las huellas que se forman tras las lluvias o el trabajo de má-

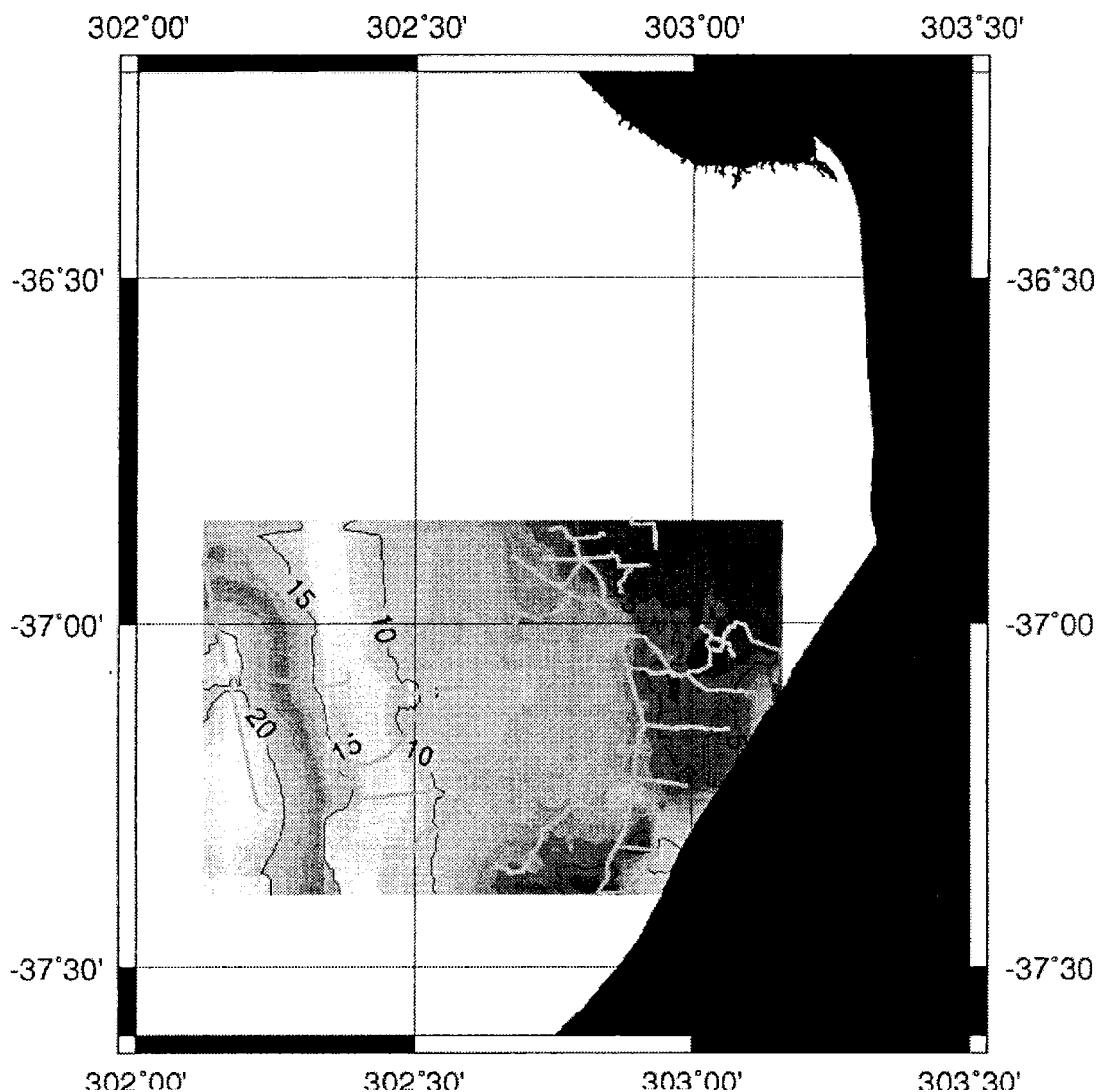


Figura 3. Curvas de nivel aproximadas, basadas solo en las mediciones sobre rutas y caminos. Muestran un rango de variación desde algo más de 20 m en el Oeste hasta 3 m en el Noreste.

quinas viales. La metodología presentada en detalle en este trabajo resulta muy apropiada para el fin establecido por la precisión, cortos tiempos de ejecución y bajo costo.

## **REFERENCIAS**

- Mendoza L., 2001, Desarrollo de un software para transformación de alturas, comunicación privada.
- Perdomo R. and Del Cogliano D., 1999, The geoid in Buenos Aires region, International Geoid Service, Bull. N9.
- Dirección de Geodesia, MOSP, PBA y Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP, 1998, Red Geodésica de Alta Precisión de la Provincia de Buenos Aires.
- Dirección de Geodesia, MOSP, PBA y Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP, 2002, Red Geodésica de la Provincia de Buenos Aires, densificación 2002.
- Perdomo R., Mendoza L. y Del Cogliano D., 2004, Una Aplicación del modelo de transformación de alturas de la Pcia. de Bs. As. (Altimetría con GPS en el Partido de Gral. Lavalle), Actas de la XXII Reunión Científica de la Asoc. Arg. de Geof. y Geod., Bs. As.

## ESTUDIO DE LAS VARIACIONES GEOELECTRICAS EN UNA TUBERIA DE GAS EN EL AREA DE ARNPRIOR-OTTAWA CANADA

*Patricia A. Larocca<sup>1</sup> y Virginia M. Silbergleit<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería UBA. Paseo Colón 850 2do.Piso Of.214.

(C1063ACU) C.A. de Buenos Aires. Tel. 48990985. plarocc@fi.uba.ar

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería UBA, CONICET. Pasco Colón 850 2do.Piso Of.214.

(C1063ACU) C.A. de Buenos Aires. vsilber@fi.uba.ar

### RESUMEN

Se ha iniciado un estudio sobre el efecto en las variaciones de potencial entre la cañería y suelo (PSP) con la estructura conductora de la Tierra. En estudios previos, se han observado grandes variaciones PSP en una cañería de gas que atraviesa el valle del río Ottawa, en Ontario. Específicamente, cerca de Arnprior en contacto con rocas resistivas Precámbricas y sedimentos rocosos Paleozoicos más conductores. Comenzamos realizando sondeos magnetotélúricos (MT) en cuatro sitios espaciados 25 kilómetros cada uno, en paralelo a la tubería, para obtener el campo geoeléctrico continuo ( $E_x$ ,  $E_y$ ) y el campo magnético ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ) en función del tiempo por un período de hasta 12 horas de duración. Dos sitios estaban en rocas precámbricas y dos sitios en rocas paleozoicas. Durante las mediciones de MT, la tubería fue equipada con 5 dataloggers que medían variaciones PSP (con una frecuencia de muestreo de 1 Hz) en 9 localizaciones diferentes para obtener los valores correspondientes con los datos de MT. **Palabras claves:** campo geoeléctrico - campo magnético terrestre - variaciones de potencial - cañería.

### ABSTRACT

A long-term study has been initiated to investigate the effect of the Earth's conductivity structure on pipe-to-soil potentials (PSP). In previous studies, large PSP variations have been observed on a natural gas pipeline running along the Ottawa River Valley in eastern Ontario, specifically near Arnprior, at the contact between resistive Precambrian rocks and more conductive Paleozoic sedimentary rocks.

Preliminary magnetotelluric (MT) soundings were made at four sites spaced 25 km apart, offset but parallel to the pipeline, to obtain continuous geoelectric field ( $E_x$ ,  $E_y$ ) and magnetic field ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ) time series data up to 12 hours in duration. Two sites were on Precambrian rocks and two sites on Paleozoic rocks. Broadband (at continuous 15 Hz sampling rate) and audio MT (at 150 and 2400 Hz sampling rates) measurements were collected. During the MT survey, the pipeline was instrumented with 5 dataloggers measuring PSPs (at a sampling rate of 1 Hz) at 9 different locations to obtain values concurrent with the MT data.

**Keywords:** geoelectric field - magnetic field - potential variations - pipeline

### INTRODUCCION

El campo magnético terrestre está continuamente cambiando en el tiempo. En rangos que oscilan entre fracciones de segundos o varios millones de años. Los cambios más rápidos, con períodos de unos

pocos años o menos son causados principalmente por influencia externa a la Tierra, principalmente del Sol. Estas grandes perturbaciones se las denominan tormentas geomagnéticas.

El campo geomagnético terrestre varía debido a los cambios en las corrientes io-

nosféricas y magnetosféricas, debido a ésto, un campo magnético dependiente del tiempo produce un campo eléctrico, expresado por la Ley de Inducción de Faraday, que, a su vez, produce corrientes en la Tierra que es conductora y en los conductores hechos por el hombre. Las corrientes en la Tierra causan un campo geoelectromagnético secundario y el campo total es la suma del campo primario originado en la ionosfera y magnetosfera y el campo secundario. Este fenómeno se denomina inducción geomagnética y las corrientes en los conductores hechos por el hombre son corrientes geomagnéticas inducidas (Boteler 1986).

La magnitud del campo geoelectrico durante una tormenta magnética está típicamente entre 0,1 y 1 V/km, que cuando el conductor tiene varios kilómetros y resistencias de pocos ohms, la corriente puede exceder los 100 Amperes. Estas corrientes pueden afectar el funcionamiento de conductores hechos por el hombre, causando saturación en transformadores de energía, perturbaciones en telecomunicaciones, vías de ferrocarril, corrosión en sistemas de tuberías de gasoductos, oleoductos, etc. Uno de los casos más trascendentes ocurrió el 13 de marzo de 1989 en Quebec, Canadá donde el sistema completo de transmisión de energía eléctrica se bloqueó durante una tormenta magnética muy fuerte y millones de personas perdieron la energía eléctrica por varias horas suponiendo pérdidas económicas de millones de dólares (Boteler 1997, 1998).

Conocidas las fuentes primarias y la estructura geoelectromagnética de la Tierra (conductividad, permitividad y permeabilidad) es posible calcular el campo geoelectromagnético usando las ecuaciones de Maxwell; aunque es necesario hacer ciertas aproximaciones debido a la complejidad de la estructura de la Tierra. (Taflove, 1979).

Un método aplicado es de suponer que el campo geoelectrico inducido es el mismo en los conductores terrestres que en la superficie

terrestre. Por lo tanto se considera primero el campo inducido en la Tierra y luego se determinan sus efectos sobre los mismos (Trichtchentko *et al.*, 2000, 2001, 2002).

## MEDICIONES EFECTUADAS

En una porción de tubería de gas de la compañía Trans Canadá, ubicada en la zona de Armprior se realizaron mediciones. La cañería cruza Canadá a lo ancho (Fig. 1).

Comenzamos realizando sondeos magnetotelúricos (MT) en cuatro sitios espaciados 25 kilómetros cada uno, en paralelo a la tubería, para obtener el campo geoelectrico continuo ( $E_x$ ,  $E_y$ ) y el campo magnético ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ) en función del tiempo por un período de hasta 12 horas de duración. Dos sitios estaban en rocas precámbricas y dos sitios en rocas paleozoicas. Durante las mediciones de MT, la tubería fue equipada con 5 dataloggers que medían variaciones PSP (con una frecuencia de muestreo de 1 Hz) en 9 localizaciones diferentes para obtener los valores correspondientes con los datos de MT.

Las amplitudes  $E_x$  y  $E_y$  del campo geoelectrico medidas con los instrumentos del MT fueron comparadas con los valores del campo geomagnético según lo registrado en el observatorio magnético de Ottawa y la diferencia de potencial PSP observado según lo registrado a lo largo de la tubería. Los resultados iniciales demuestran una relación clara entre las fluctuaciones geoelectricas medidas directamente y las variaciones de PSP (Fig. 2). Investigaciones anteriores, habían demostrado correspondencia entre el campo geoelectrico calculado y las variaciones de PSP. Las variaciones observadas de PSP responden al campo geoelectrico (componente  $E_y$ ) alineada con la orientación de la tubería (Fig. 3). Las variaciones del campo geoelectrico y su efecto sobre las variaciones de PSP son una medida significativa para la protección de corrosión de la tubería y mantenimiento. Los sistemas de protección

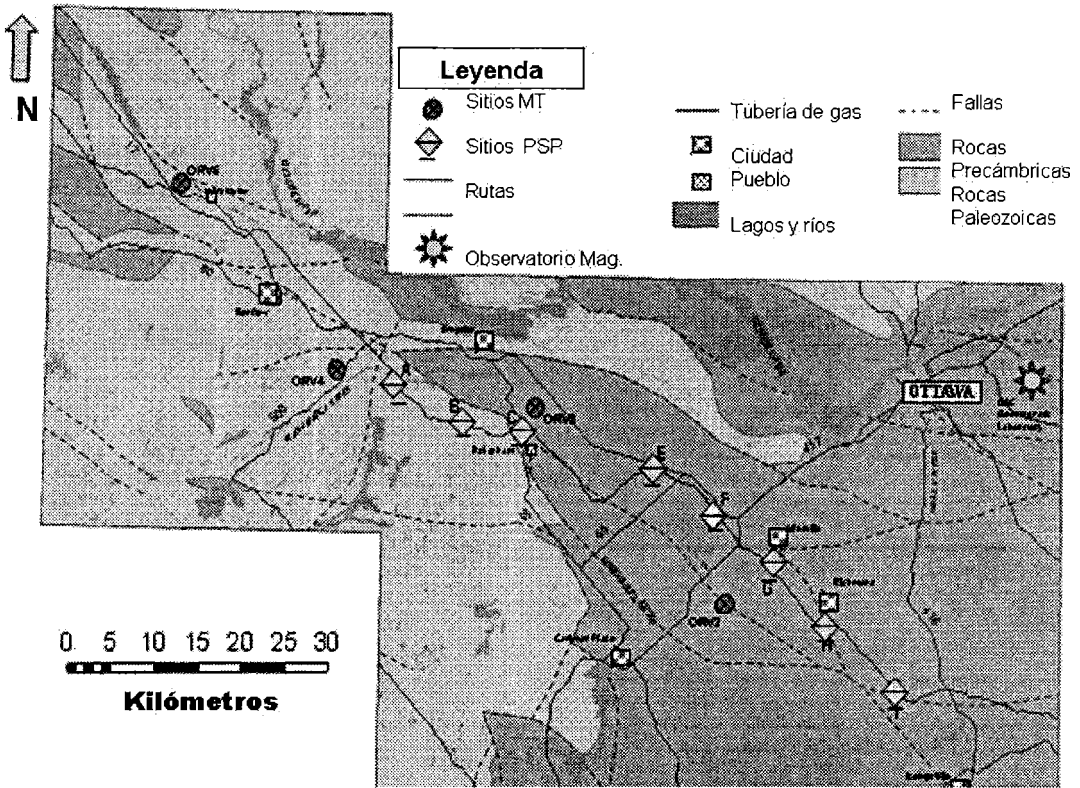


Figura 1. Mapa de la cañería. Ubicación de los dataloggers y de sondeos magnetotelúricos.

catódicos en tuberías funcionan en un nivel específico de PSP. Cuando fluctúan las diferencias PSP debido a las variaciones del campo geoelectrico se compromete el sistema de protección catódico. La Figura 4 muestra la comparación entre la componente este-oeste (Ey) del campo geoelectrico obtenida por sondeos MT y la variación del campo magnético para un intervalo de 1 hora para máxima actividad geomagnética.

### CONCLUSIONES

Resultados iniciales muestran una importante correlación entre las mediciones simultáneas de las fluctuaciones del campo geoelectrico y las variaciones PSP. Cálculos previos han demostrado la concurrencia entre el campo eléctrico calculado y las variaciones

PSP. Las variaciones PSP observadas generalmente responden con la componente este-oeste (Ey) del campo geoelectrico que es la que esta orientada en la dirección de la tubería. Las variaciones del campo geoelectrico y sus efectos sobre los niveles de PSP son una medida importante para tener en cuenta en la protección de corrosión en cañerías. Cuando PSP fluctúa fuera del rango nominal debido a variaciones del campo geoelectrico, se ve comprometida la protección catódica.

Futuras investigaciones apuntan a examinar la relación entre las variaciones locales del campo geoelectrico y la conductividad de la Tierra.

**Agradecimientos:** Geomagnetic Laboratory - Natural Resources Canada, Ottawa. CONICET

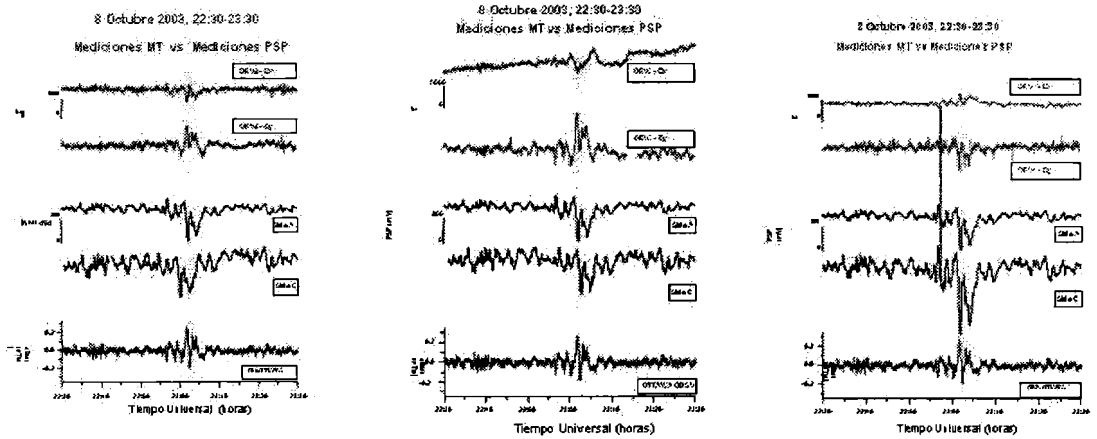


Figura 2. Comparación entre la componente este-oeste ( $E_y$ ) y la componente norte-sur ( $E_x$ ) del campo geoelectrico medidas para cada punto de observación y algunas mediciones de PSP en las cercanías.

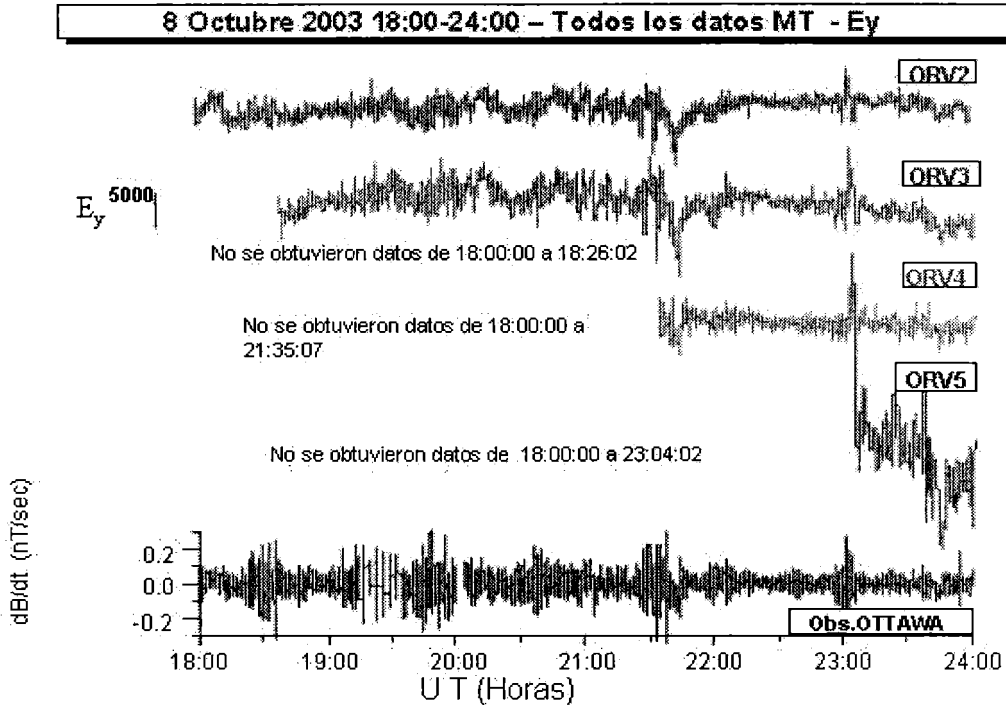
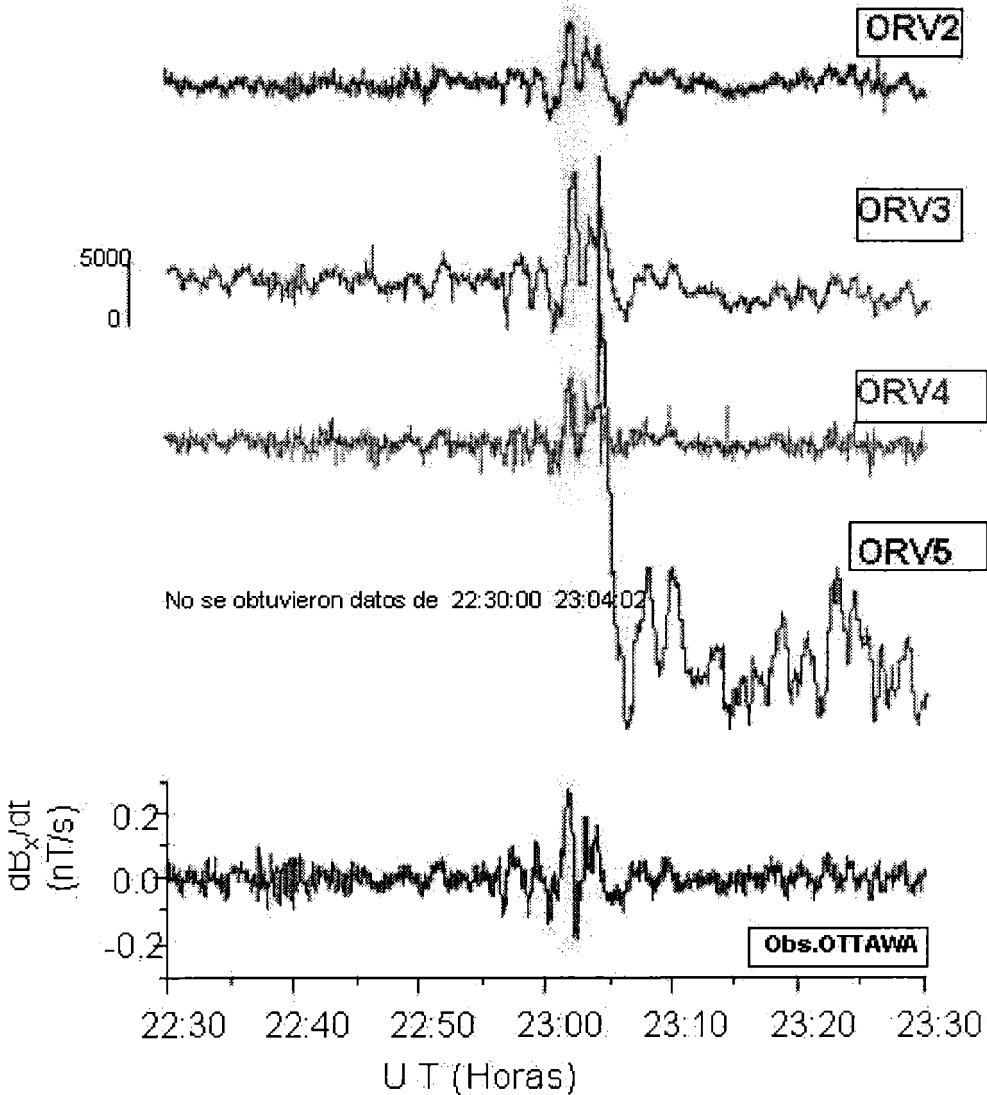


Figura 3. Un ejemplo de las fluctuaciones del campo geoelectrico comparando la componente este-oeste ( $E_y$ ) del campo geoelectrico obtenida por MT y la variación del campo magnético ( $dB/dt$ ) durante un período de 6 horas (arriba).



8 Octubre 2003, 22:30-23:30 – Todas mediciones MT - Ey



**Figura 4.** Comparación entre la componente este-oeste (Ey) del campo geoelectrico obtenida por MT y la variación del campo magnético para un intervalo de 1 hora para máxima actividad geomagnética (izq.)

#### REFERENCIAS

Boteler, D.H. and M.J. Cookson. 1986. Telluric Currents and Their Effects on Pipelines in the Strait Region of New Zealand. *Materials Performance*, 27-32.

Boteler, D.H. 1997. Distributed-source transmission line theory for electromagnetic induction studies *Proceedings, Zurich EMC Symposium, 18-20, URSI supplement*, 401-408.

Boteler, D.H. and L. Trichtchenko. 2000. *International Study of Telluric Current Effects*

- on Pipelines, Final Report, GSC Open File 3050.
- Boteler D., R. Pirjola and H. Nevanlinna. 1998. "The Effects of Geomagnetic disturbances on electrical systems at the earth's surface". *Adv. Space Res.* 22,1,17-27
- Boteler, D.H. 2000. Geomagnetic effects on the pipe-to-soil potentials of a continental pipeline, *Advances in Space Research*, 26, 13-20.
- Taflove, A. and J. Dabkowski. 1979. Prediction method for buried pipeline voltages due to 60 Hz AC inductive coupling, *IEEE Trans. Power Apparatus & Systems*, PAS-98, 780-794.
- Trichtchenko, L. and D.H. Boteler. 2002. Modeling of geomagnetic induction in pipelines, *Ann. Geophys.* 20, 1063-1072.
- Trichtchenko, L. and D.H. Boteler. 2001. Specification of geomagnetically induced electric fields and currents in pipelines, *J. Geophys. Res.*, 106, A10, 21039-21048.

**HIDROGRAFIA DE LA COLUMNA DE AGUA EN PUERTO CUATREROS**

*M. Clara Menéndez<sup>1</sup>, Alejandro J. Vitale<sup>1,3</sup>, M. Cintia Piccolo<sup>1,2</sup>  
y Mónica S. Hoffmeyer<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>CONICET. Instituto Argentino de Oceanografía. Camino La Carrindanga km. 7,5.  
CC 804. B 8000 FWB Bahía Blanca, Argentina. menendez@criba.edu.ar

<sup>2</sup>Departamento de Geografía y Turismo. Univ. Nacional del Sur. 12 de Octubre y San Juan 4º piso.  
CC 804. B 8000 FWB Bahía Blanca, Argentina.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras. Univ. Nacional del Sur.  
Avenida Alem 1253. CC 804. B 8000 FWB Bahía Blanca, Argentina. avitale@criba.edu.ar

**RESUMEN**

Se analizó la variación de las condiciones hidrográficas en la columna de agua en relación al ciclo de mareas en Puerto Cuatrerros. Durante el período comprendido entre diciembre de 2004 y diciembre de 2005 se midieron perfiles verticales de temperatura y salinidad y se obtuvieron muestras de agua en dos profundidades para determinar la concentración de sedimentos en suspensión. Los parámetros meteorológicos y la marea se obtuvieron en forma continua. La temperatura del agua presentó un suave gradiente vertical en bajamar, en tanto que en pleamar el sistema se homogeneizó producto de la mezcla turbulenta de la marea. La temperatura superficial del agua presentó una variación a lo largo del ciclo de marea con mayor amplitud en los meses cálidos. La salinidad presentó un notorio gradiente vertical en bajamar. En creciente y pleamar la salinidad fue similar a la de la plataforma continental interior, mientras que en bajante y bajamar disminuyó por influencia de la descarga de agua dulce de arroyos próximos a la zona. En meses con altas precipitaciones la salinidad decreció significativamente y en días con altas temperaturas aumentó por efecto de la evaporación. Las mayores concentraciones de sedimento en suspensión se registraron con precipitaciones máximas y en marea bajante. Si bien la marea es el principal agente que influye sobre las características de la columna de agua, el factor meteorológico contribuye a generar variabilidad sobre las características hidrográficas en Puerto Cuatrerros.

**Palabras claves:** estuario-marea-condiciones hidrográficas.

**ABSTRACT**

The variation of the hydrographic conditions in the water column in relation to the tidal cycle in Cuatrerros Port was analyzed. Vertical profiles of temperature and salinity were measured between December 2004 and December 2005. Water samples were also obtained to determine the suspended sediment concentration. Meteorological parameters and tides were registered continuously. Water temperature showed a smooth vertical gradient during low tide, while in high tide the system became homogenous as a consequence of tidal mixing. The surface water temperature showed a variation throughout the tidal cycle with the greatest amplitude in the warm months. The salinity showed a significant vertical gradient in low tide. During flood and high tide salinity was similar to the typical values of the inner continental shelf, while in ebb and low tide it diminished because of the influence of freshwater discharges of nearby streams. In months with high precipitations, salinity decreased significantly and in days with high temperatures it increased by effect of evaporation. The highest concentrations of suspended sediment were registered with maximum precipitations and during ebb tide. Although the tide is the main agent that influences the characteristics of the water column, the meteorological factor contributes to generate variability on the hydrographic conditions in Cuatrerros Port.

**Key words:** estuary-tide-hydrographic conditions.

## INTRODUCCION

Numerosos factores físicos tales como la descarga de los ríos, la acción de la marea, la composición de los sedimentos, la energía de olas y los vientos, juegan un rol primordial en los estuarios, contribuyendo a la complejidad de los mismos. Las mareas representan, en general, la principal fuente de energía en estos ambientes. Originan fenómenos de turbulencia y de mezcla y participan activamente en el movimiento de material disuelto y particulado, ocasionando importantes flujos oscilatorios en las propiedades físicas y químicas de estos sistemas (Mao *et al.*, 2004). La disipación de la energía de la marea provoca cambios en la estabilidad vertical de la columna de agua.

Denman y Powell (1984) mostraron que la mezcla generada por la marea, produce fluctuaciones de luz y nutrientes necesarias para el fitoplancton y la productividad primaria. La distribución vertical del zooplancton en estuarios, depende del estado de la marea y es función de la dilución y concentración del volumen de agua inducido por la misma (Stickney y Knowles, 1975; Madhupratap y Rao, 1979).

El estuario de Bahía Blanca se encuentra ubicado al SE de la provincia de Buenos Aires, entre los 38°45' y 35°10' S y 61°45' y 62°30' W. Las características físicas e hidrográficas del estuario han sido objeto de numerosos estudios (Arango, 1985; Sequeira y Piccolo, 1985; Serman, 1985; Perillo *et al.*, 1987 a,b; Piccolo *et al.*, 1987; Perillo y Piccolo, 1991, 1999; Perillo *et al.*, 2001). En 1974, comenzaron a realizarse estudios sistemáticos sobre la salinidad y la temperatura en la zona interior (Freije *et al.*, 1981). Perillo *et al.* (1987b) y Perillo y Piccolo (1991) estudiaron su hidrografía y circulación y Piccolo y Perillo (1990) y Perillo *et al.* (1987a) describieron sus características físicas.

La mayor fuente de energía en el estuario de Bahía Blanca es debida a la presencia de

una onda de marea semidiurna y cuasi estacionaria, la cual provoca que las situaciones de estoa ocurran cerca de las pleamares y bajamares, y que las máximas corrientes correspondan a condiciones de marea creciente y bajante (Piccolo *et al.*, 1991). La distribución de canales, ambientes intermareales e islas afecta la propagación de la onda de marea, haciéndola asimétrica y modificando las duraciones de flujo y reflujo. A su vez, los vientos que actúan principalmente en forma paralela a los mayores canales del estuario, interactúan con la onda de marea produciendo adelantos y retardos con respecto a las horas pronosticadas de la bajamar y pleamar, como así también variaciones en su altura (Perillo *et al.*, 2004). Las corrientes de marea son de tipo reversible, con velocidades superficiales máximas para la zona interior, de 80 cm/s para el flujo y 140 cm/s para el reflujo. El rango de marea varía entre 2 m en la zona externa del estuario y 3,5 en la boca del río Sauce Chico, superándose estos valores en la zona interior del estuario (Perillo y Piccolo, 1991). Los principales aportes de agua dulce lo constituyen el río Sauce Chico y el arroyo Napostá, los arroyos Saladillo de García, Maldonado y Galván son intermitentes y solo aportan en condiciones de precipitación local (Perillo *et al.*, 2004). La salinidad del agua varía entre 17 y 38, de acuerdo a regimenes estacionales de lluvias, vientos y temperaturas (Freije *et al.*, 1981). La temperatura media del agua superficial en el Canal Principal es de 13°C, con una media de 21,6°C en verano y de 3,5°C en invierno (Perillo *et al.*, 2001).

Si bien algunos de los estudios citados anteriormente, describen las características físicas y químicas de la columna de agua durante un ciclo de marea en distintas zonas del Canal Principal del estuario, ninguno de ellos se llevó a cabo en forma periódica en el mismo sitio y bajo diferentes condiciones meteorológicas. En Puerto Cuatros, tampoco existen trabajos de estas características. Este

estudio representa, entonces, la primera contribución que estudia la hidrografía de la columna de agua en diferentes estados de marea, en el mismo sitio en forma continua y en diferentes épocas del año.

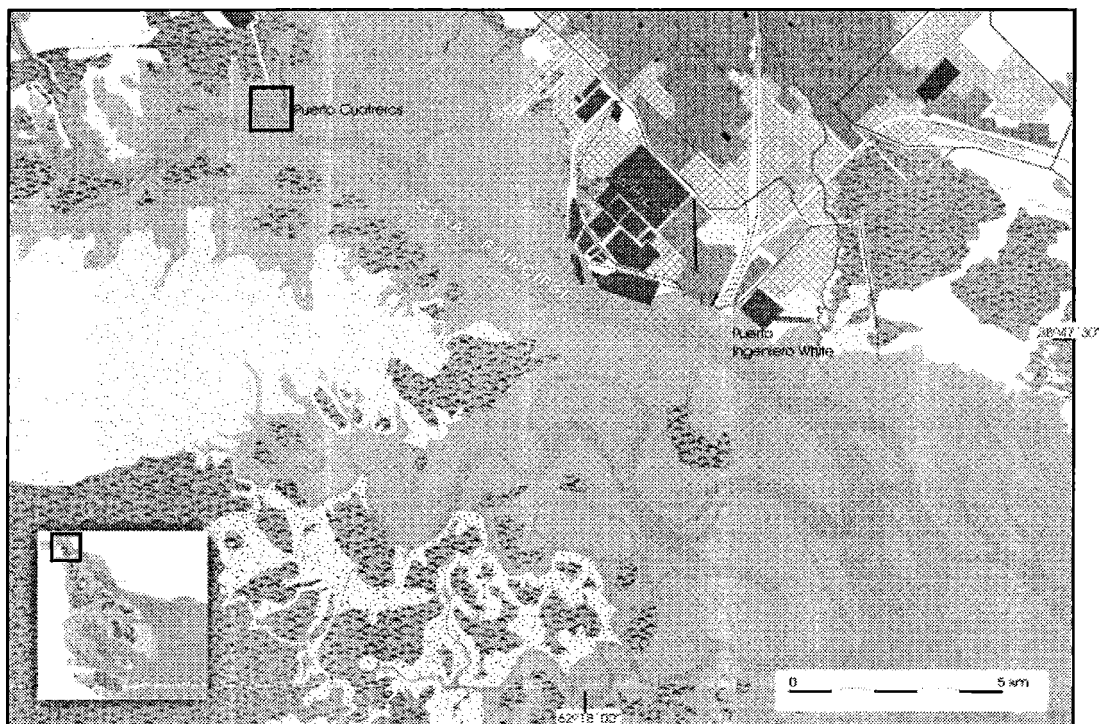
## METODOLOGIA

Las mediciones se realizaron en el muelle de Puerto Cuatrerros, localizado en la zona más interna del estuario de Bahía Blanca (Fig. 1). Las profundidades en esta zona oscilan entre los 4 y 9 m según el estado de marea. Los muestreos se llevaron a cabo bimestralmente entre diciembre de 2004 y diciembre de 2005. Las mediciones se efectuaron durante un ciclo completo de marea (15 horas aproximadamente). Se obtuvieron perfiles verticales de temperatura y salinidad con multisensor Horiba U10 y se tomaron muestras de agua en dos profundidades (superficie y fondo) para determinar la

concentración de sedimentos en suspensión. También se midió la profundidad del disco Secchi. Los datos meteorológicos se obtuvieron de una estación automática Davis Weather Monitor II y la marea con mareógrafo InterOcean WTG904/2 instalado en el muelle de Puerto Cuatrerros.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los rangos de variación de la temperatura oscilaron entre 7,1 y 8 °C en junio hasta 24,6 y 27,1 °C en febrero. Si bien la mayoría de la información que existe respecto a la temperatura de la zona de estudio corresponde al estrato superficial de la columna de agua, el rango de los mismos coincide con los hallados durante el periodo de estudio (Freije *et al.*, 1981; Perillo *et al.*, 1987). La temperatura presentó una variación superficial a lo largo del ciclo de marea, cuya mayor amplitud resultó en los meses cálidos (2 - 3 °C) y la



**Figura 1.** Localización de Puerto Cuatrerros en el estuario de Bahía Blanca.

menor en los meses fríos ( $<1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). En bajamar, la temperatura del agua y la del aire fueron similares en magnitud. Teniendo en cuenta las características someras de la zona de estudio, la temperatura del agua en bajamar estaría mayormente influenciada por las condiciones atmosféricas. Freije *et al.* (1977) hallaron que la temperatura superficial del agua en la zona más interna del estuario está fuertemente condicionada por la temperatura ambiente. En pleamar, la entrada de la masa de agua desde la zona exterior del estuario es la responsable de la temperatura registrada. Como se ejemplifica en la Figura 2, la temperatura presentó en general, un pequeño gradiente vertical en bajamar (Valor medio:  $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ). En pleamar, en cambio, la columna de agua se tornó más homogénea producto de la mezcla originada por las fuertes corrientes de marea creciente. En los días en que se registraron fuertes vientos, este factor contribuyó a homogeneizar la columna de agua.

La salinidad media durante el período de estudio fue del orden de 31,7. Los valores hallados coinciden en general con los mencionados por Freije *et al.* (1981) y Perillo *et*

*al.* (1987b). En abril, junio, y diciembre de 2005 se registraron los valores más altos de salinidad (33,75 - 34,32), en cambio, el mes de febrero, resultó con los valores más bajos (28,45). Las mayores salinidades pueden asociarse por un lado, a períodos caracterizados por condiciones de escasa descarga de ríos. Perillo *et al.* (1987b) señalan al invierno como la estación característica de tales condiciones para este estuario e indican que la escasa precipitación, asociada a vientos continentales secos, genera un proceso de evaporación concentrado en las marismas que bordean al Canal Principal, resultando en que la concentración de sales en el estuario pueda ser mayor que en la plataforma continental. Por otro lado, en diciembre de 2005, las escasas precipitaciones registradas en los días previos al muestreo sumado a las altas temperaturas contribuyeron a aumentar el proceso de evaporación provocando el aumento de la salinidad. Esto último coincide con Freije *et al.* (1981) quienes indican que en veranos de escasas lluvias la parte interna del estuario se comporta como hipersalina. Con respecto a los valores de salinidad a lo largo del ciclo de

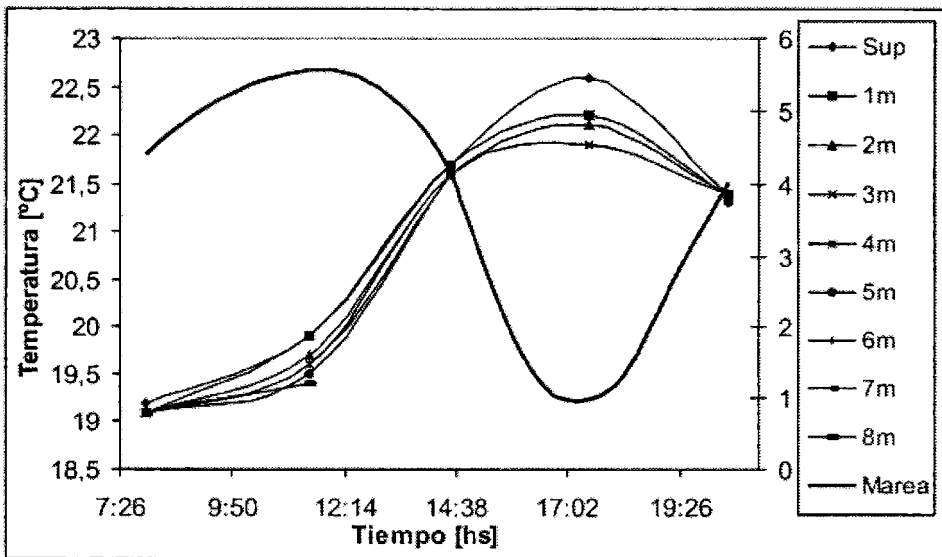
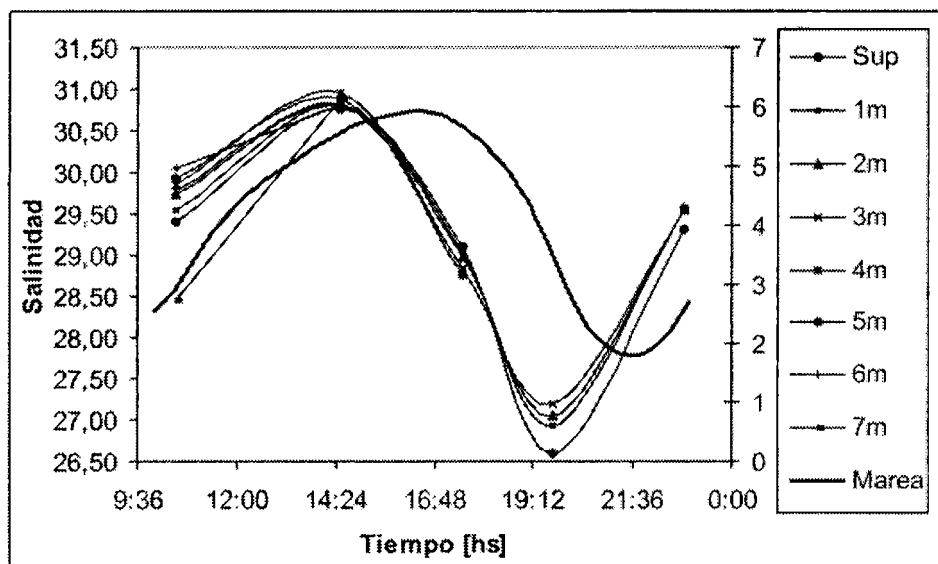


Figura 2. Temperatura de la columna de agua a lo largo de un ciclo de marea correspondiente al 21 de diciembre de 2005.

marea, se observó un notorio gradiente en el cual los valores máximos (29,1 - 34,4) se registraron en pleamar y los mínimos (26,6 - 33) en bajamar. En general, en creciente y pleamar los valores resultaron similares a los de la plataforma interior adyacente (31 - 32) mientras que en bajante y bajamar se observó una disminución de los mismos debida a la influencia de agua dulce proveniente de río Sauce Chico y de otros arroyos menores que desembocan en la zona de estudio. En los meses con altas precipitaciones, los valores de salinidad decrecieron significativamente. Esto último, lo ejemplifica el mes de febrero, donde la salinidad no excedió los 29,2 y en el cual se registraron precipitaciones importantes. En días con temperaturas altas, la salinidad aumentó y esto se explica por el efecto de evaporación en el sistema. Como se aprecia en la Figura 3, en bajamar se observó, en general, un notorio gradiente vertical (Valor medio:  $0,15 \text{ m}^{-1}$ ) que no se evidencia en creciente producto de la mezcla producida por las corrientes. Esto último coincide con Perillo *et al.* (1987b) quienes señalan para bajamar,

una diferencia de 3.4 entre superficie y fondo en una estación localizada internamente en el estuario de Bahía Blanca.

La concentración de sedimentos en suspensión varía en función de factores naturales (floreCIMIENTO fitoplanctónico, resuspensión de sedimentos, aportes continentales) y antrópicos (dragado, refulado, descarga de efluentes, alteración de la circulación de las aguas). Se observó una distribución con valores mínimos en invierno (2-34,8 mg/l) y máximos en verano (38,4-246,8 mg/l). La concentración fue mayor en aquellos períodos de precipitaciones máximas (50 - 200 mg/l), en cambio, las menores concentraciones coincidieron con precipitaciones mínimas (2-35 mg/l). En particular, en el mes de junio 2005 se observó la menor concentración (2-14 mg/l) y las mayores profundidades del disco de Secchi (1,24-1,57 m), coincidiendo con escasas precipitaciones y condiciones de calma. Como se muestra en la Figura 4, las mayores concentraciones de sedimento en suspensión se registraron generalmente en marea bajante y en el fondo. Esto podría ser ex-



**Figura 3.** Salinidad de la columna de agua a lo largo de un ciclo de marea correspondiente al 20 de diciembre de 2004.

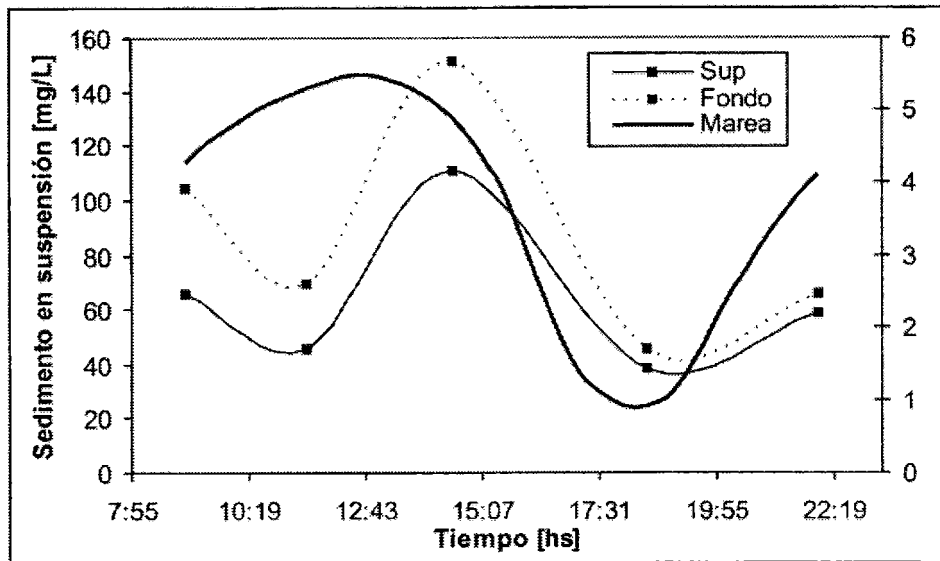


Figura 4. Concentración de sedimentos en suspensión en superficie y fondo a lo largo de un ciclo de marea, correspondiente al 11 de octubre de 2005.

plicado teniendo en cuenta que en el estuario de Bahía Blanca, las corrientes de reflujo son de mayor intensidad que las corrientes de flujo, siendo en algunos casos, la máxima velocidad media del reflujo dos veces la del flujo (Perillo *et al.*, 1987b), lo cual tendería a arrastrar y resuspender el sedimento ocasionado mayores concentraciones.

### CONCLUSIONES

Se analizan las condiciones hidrográficas de la columna de agua en relación al ciclo de mareas en la zona interna del estuario de Bahía Blanca.

La temperatura muestra una variación superficial a lo largo del ciclo de marea con mayor amplitud en los meses cálidos. Se observa un pequeño gradiente vertical en bajamar, en tanto en pleamar, la columna de agua se torna homogénea producto de la mezcla originada por las corrientes de marea creciente. El viento es un factor que contribuye a homogeneizar la columna de agua.

Los máximos valores de salinidad se presentan durante pleamar y los mínimos durante la bajamar. En creciente y pleamar los valores son similares a los de la plataforma interior adyacente y en bajante y bajamar disminuyen por influencia de la descarga de agua dulce de arroyos que desembocan en la zona interna del estuario. En bajamar se produce un gradiente vertical que no se evidencia en creciente producto de la mezcla producida por las corrientes.

La concentración de sedimentos en suspensión es mayor en períodos de máximas precipitaciones. A lo largo del ciclo de marea, las mayores concentraciones de sedimentos se registran en bajante y en el fondo producto de la gran intensidad de las corrientes de reflujo características de este estuario.

Se concluye que si bien la marea es el principal factor que influye sobre las características hidrográficas de la columna de agua en Puerto Cuatros, el factor meteorológico contribuye generando variabilidad en las características propias del sistema.



**REFERENCIAS**

- Arango, J. M., 1985. Distribución de parámetros oceanográficos en el estuario de Bahía Blanca. Departamento de Física, Universidad Nacional de Sur. Trabajo de Licenciatura. pp. 1-60.
- Denman, K.L. and T.M. Powell, 1984. Effects of physical processes on planktonic ecosystems in the coastal ocean. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 22, 125-168.
- Freije, R. H., R. O. Asteasuain; A. S. Schmidt y J. R. Zavatti, 1981. Relación de la salinidad y la temperatura del agua con las condiciones hidrometeorológicas en la porción interna del estuario de Bahía Blanca. *Contribución Científica, IADO* 57: 1-20.
- Madhupratap, M. and T. S. R. Rao, 1979. Tidal & Diurnal influence on Estuarine Zooplankton. *Ind. J. Mar. Sci.*, Vol. 8, pp. 9-11.
- Mao, Q., P. Shia, K. Yina, J. Ganb and Y. Qia, 2004. Tides and tidal currents in the Pearl River Estuary. *Continental Shelf Research* 24 (2004) 1797-1808.
- Perillo, G. M. E. and M. C. Piccolo, 1991. Tidal response in the Bahía Blanca Estuary. *J. Coastal Res.*, 7:437.
- Perillo, G.M.E. y Piccolo, M.C., 1999.- Bahía Blanca Estuary: a review of its geomorphologic and physical characteristics. En: *Estuaries of South America: their geomorphology and dynamics*. Perillo, G.M.E., M.C. Piccolo, y M. Pino Quivira (Eds.). Springer Verlag. Chapter 9, 195-216.
- Perillo, G. M. E., J. M. Arango y M. C. Piccolo, 1987a. Parámetros físicos del estuario de Bahía Blanca, período 1967-1986. Instituto Argentino de Oceanografía, Reporte Técnico, pp 250.
- Perillo, G. M. E., M. C. Piccolo, J. M. Arango y M. Sequeira, 1987b. Hidrografía y circulación del estuario de Bahía Blanca (Argentina) en condiciones de baja descarga. En: *Actas II Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar*, La Molina, Perú.
- Perillo, G.M.E., M.C. Piccolo, E. Parodi and R.H. Freije, 2001. The Bahía Blanca Estuary, Argentina. En: *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. U. seeliger & B. Kjerfve (Eds.). *Ecological Studies*, vol. 144, pag 205-215. Springer.
- Perillo, G. M. E., M. C. Piccolo, E. Palma, D. E. Pérez y J. Pierini, 2004. Oceanografía Física. En: *Ecosistema del estuario de Bahía Blanca*. Piccolo M. C. y M. S. Hoffmeyer (Eds.). Instituto Argentino de Oceanografía. 61-67.
- Piccolo, M. C., G. M. E. Perillo y J. M. Arango, 1987. Hidrografía del estuario de Bahía Blanca-Argentina. *Geofísica*. 26:75-89.
- Piccolo, M. C. y G. M. E. Perillo, 1990. Physical characteristics of the Bahía Blanca estuary-Argentina. *Est. Coast. & Shelf Sci.* 31:303-317.
- Piccolo, M. C., G. M. E. Perillo y S. I. Romero, 1991. Predicción de la marea real por efecto del viento en el puerto de Ingeniero White. *Anales CONGREGMET VI*, "La Meteorología en la actividad productiva en la Argentina", 159-160.
- Sequeira, M. y M. C. Piccolo, 1985. Predicción de la temperatura del agua durante la bajante de marea en Ingeniero White. *Meteorologica XV*, 1, 59 - 76.
- Serman, D. D., 1985. Características de la marea en Bahía Blanca. *Boletín Centro Naval* 103, 51-74.
- Stickney, R. R. and S. C. Knowles, 1975. Summer zooplankton distribution in a Georgia Estuary. *Mar. Biol.*, 33:147-154.



## ESTUDIO DE SISMICIDAD EN LA PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO, ARGENTINA.

*Nora C. Sabbione<sup>1</sup>, Gerardo Connon<sup>2</sup>, José L. Hormaechea<sup>1,2</sup> y María L. Rosa<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

<sup>2</sup>Estación Astronómica Río Grande, Tierra del Fuego. CONICET & UNLP

### RESUMEN

Se ha estudiado la sismicidad y se ha encontrado un significativo nivel de terremotos con baja a mediana magnitud con epicentros en la región continental de Tierra del Fuego y áreas oceánicas circundantes. Se ha adoptado un modelo de velocidades a partir de valores regionales y corregidos con resultados obtenidos por métodos sísmicos en la zona. Se ha calculado la ubicación con más de una estación cuando ha sido posible y se ha fijado la profundidad, en caso de ser necesario, en 15km.

Para el período de estudio se han identificado más de 300 eventos, algunos de los cuales fueron sentidos por habitantes de la Isla. La magnitud promedio ha resultado ser de 2.0 y el máximo para ese período en la Isla Grande corresponde al sismo de  $M_b = 3.7$  con epicentro próximo a la localidad de Tolhuin. Se ha encontrado que con los nuevos criterios adoptados, se han mejorado las determinaciones. Todos los registros disponibles se han procesado usando el software SEISAN desarrollado por la Universidad de Bergen, Noruega. Sólo recientemente se encuentran disponibles datos instrumentales locales, a partir de los registros de las estaciones sismológicas permanentes de Ushuaia (IAA-PNRA, desde 1996 hasta el 2005, pero con interrupciones), Despedida (UNLP-PNRA, desde 1999) y TRVA (UNLP, desde 2003), además de otras transitorias.

La Isla de Tierra del Fuego muestra un escenario tectónico complejo. La Isla esta atravesada por una margen transformante caracterizada por un movimiento lateral izquierdo que se extiende desde la Dorsal de Scotia al este hasta la fosa chilena en el oeste. El sistema Magallanes Fagnano separa Tierra del Fuego en dos bloques continentales. La falla principal de este sistema, con orientación E-W, es paralela al eje mayor del lago Fagnano. Este sistema de fallas constituye el mayor segmento del borde entre las placas Sudamericana y Scotia.

**Palabras clave:** sismicidad-fuentes sísmicas-Tierra del Fuego.

### ABSTRACT

Seismicity has been studied, and a significant level of low to medium magnitude earthquakes with epicentre in Tierra del Fuego continental region and oceanic surrounding areas was found. For this purpose, a velocity model has been determined from regional values corrected by results from seismic methods in the area, epicentre determinations have been calculated with more than one station when possible, and depths have been set, when necessary, in 15 km.

More than 300 events has been identified during the research period, some of them were felt by inhabitants of the island. The average magnitude was 2.0 and the greatest magnitude for that period in Isla Grande was the  $M_b = 3.7$  earthquake with epicentre near Tolhuin City. We have found that determinations were better with the new adopted criteria. All the available records have been processed by Seisan Software, from Bergen University (Norway).

Local data are available only recently to research on the seismicity and its relationship with the tectonics of the region, from records of the seismological permanent stations Ushuaia (IAA-PNRA, from 1996 to 2005, with temporary breaks), Despedida (UNLP-PNRA, from 1999), and TRVA (UNLP, from 2003), besides

temporary ones.

Tierra Del Fuego Island has a complex tectonic setting. The island is crossed by a transforming margin characterized by a left lateral movement from the Scotia Ridge in the east to the Chilean Basin in the west. The Magallanes Fagnano system divides Tierra del Fuego in two continental blocks. The main fault, with E-W orientation, is parallel to the Fagnano lake mayor axis. This fault system constitutes the mayor segment of the South American - Scotia border.

**Key words:** seismicity-seismic sources-Tierra del Fuego

## INTRODUCCION

Desde el año 1998 en forma sistemática y en el marco de Proyectos acreditados por distintas Instituciones y Convenios, el Departamento de Sismología de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, ha promovido la densificación de la instrumentación sismológica existente en la Provincia de Tierra del Fuego. El ámbito local que se ha utilizado para llevar adelante los proyectos es la Estación Astronómica de Río Grande, cuyo personal es el responsable de la operación y logística de las estaciones instaladas.

La existencia de estaciones sismológicas ha permitido la realización de varios estudios de sismicidad, que en gran medida han despertado el interés de la comunidad internacional en la región. Del análisis de los registros obtenidos en forma continua a partir de 1996, se evidencia la presencia de importante sismicidad local de bajo nivel.

En Febrer *et al.* (2000, 2001) usando técnicas de localización con una única estación se analizó la sismicidad local en la estación USHU (Ushuaia) en Tierra del Fuego para el período Junio 1998 a Junio 1999, determinando 41 eventos. Se observó una consistencia de distribución entre los epicentros localizados y los eventos históricos, así como una relación con zonas de fractura y zonas tectónicamente activas del área. Un agrupamiento de los epicentros localizados resultó relacionado con la zona de la falla principal del sistema

Magallanes Fagnano, con orientación E-W, paralela al eje mayor del lago Fagnano, que constituye el mayor segmento del borde entre las placas Sudamericana y Scotia y es descrita como una falla de rumbo de orientación izquierda, con rasgos neotectónicos (Olivero y Malumián, 1999). Otro grupo de epicentros, ubicados al sur y sureste de Tierra del Fuego pudieron ser relacionados con la subducción en el extremo Sur de la Fosa de Chile y la sismicidad en el Pasaje de Drake, especialmente en la región de la llamada Zona de Fractura Shackleton.

En Plasencia *et al.* (2002) se analizaron los registros sísmicos obtenidos en la estación sismológica DSPA desde junio de 1999 hasta marzo de 2002 y se determinaron 80 eventos para el período. La magnitud de los eventos procesados, determinada con la coda, no superó los 4.5 grados, hecho que explica la escasa cantidad de eventos detectados por redes internacionales globales. Los epicentros estimados se distribuyeron sobre o cerca de las principales fallas y/o bordes de las placas.

En Febrer (2002), nuevamente se evidencia que existe una sismicidad difusa, de baja magnitud, en torno a la falla Magallanes-Fagnano. Lo registrado en 2001 indicó que además hay por lo menos una agrupación de epicentros, de magnitud menor de 3.5, asociados con la Cordillera Darwin, estructura que pudo haber actuado como una visagra estructural durante la evolución oroclinal de los Andes Patagónico-Fueguinos.

En Connon *et al.* (2004), se realizó un análisis de sismicidad en Tierra del Fuego des-

de mayo de 1999 hasta marzo de 2004, encontrando que un número relevante de eventos pudieron ser relacionados con el sistema Magallanes-Fagnano mientras que otro grupo de eventos podrían estar relacionados con un graben activo localizado en el norte de la Isla (Diraison *et al.*, 1997; Bujalesky, com. personal).

El objetivo de este trabajo es realizar un nuevo estudio de sismicidad en Tierra del Fuego, utilizando datos obtenidos en las estaciones locales para el período 06/1999-04/2006, considerando para la localización un nuevo modelo de velocidades a partir de valores regionales y corregidos con resultados obtenidos por métodos sísmicos en la zona, realizando la ubicación con más de una estación cuando ha sido posible y teniendo en cuenta resultados geodésicos y geofísicos obtenidos para la región, para fijar la profundidad, en caso de ser necesario.

## AREA DE ESTUDIO

### Límites y generalidades.

El área de estudio del presente trabajo se halla en el sector sur de la Cuenca Austral o Magallánica en la Isla Grande de Tierra del Fuego, en la Meseta Patagónica Austral. La cuenca está limitada en el occidente por la Cordillera Patagónica Austral, al sur por la Cordillera Fueguina, al norte queda delimitada por el Macizo del Deseado, y al este por la dorsal de Río Chico.

En la región extraandina de Tierra del Fuego, el ambiente geológico es similar al resto de la Meseta Patagónica Austral: los depósitos son Mesozoicos y Cenozoicos que en su sector más potente llegan a alcanzar valores de 8000 m y van decreciendo en espesor hacia el Macizo del Deseado.

### Evolución geológica y tectónica en la Isla Grande de Tierra del Fuego y adyacencias.

Según Kraemer (2002) la unidad más

antigua reconocible es la secuencia sedimentario metamórfica paleozoica superior a mesozoica inferior, la cual aflora en la Cordillera Darwin. Sobre ésta se disponen en disconformidad los depósitos volcánicos y volcanoclásticos de la Formación Tobífera de edad jurásico media a superior. Siguen areniscas litorales y continentales y pelitas plataformales, que hacia el sur de Tierra del Fuego incrementan su contenido volcánico y volcanoclástico. Al sur del Canal de Beagle son abundantes los afloramientos de lavas en almohadilla del Jurásico superior al Cretácico inferior del Complejo Tortugas y Sarmiento, sobre dicha secuencia se dispusieron turbiditas volcanoclásticas originadas en un arco de naturaleza calco-alcalina. Los depósitos antes nombrados se depositaron en un ambiente extensional y su tope superior queda definido por una disconformidad del Cretácico medio (Aptiano-Albiano). (Figura 1).

Posteriormente entra en un estadio compresional que comienza con la deformación en el sector oeste y sudoeste de la cuenca desde el Cretácico medio y hasta el Neógeno. La deformación del Cretácico medio está relacionada a un período de incremento en la velocidad de la convergencia de placas, que produjo un acercamiento del arco magmático hacia el continente, el cierre de la cuenca marginal de trasarco de Rocas Verdes, y la deformación y metamorfismo de la corteza de la Cuenca de Magallanes, lo cual se observa en la Cordillera Darwin.

Kraemer (2002) distingue dos dominios tectónicos, uno externo y otro interno. Dentro del dominio externo o cinturón plegado, cuyo límite norte es el corrimiento de basamento ubicado en el flanco austral de Cerro Verde, la intensidad de la deformación se incrementa hacia el sur, quedando expuestas rocas del Cretácico superior en un sistema imbricado de corrimientos con vergencia hacia el norte y rocas del Cretácico inferior debido a retrocorrimientos ubicados algo más al sur. El

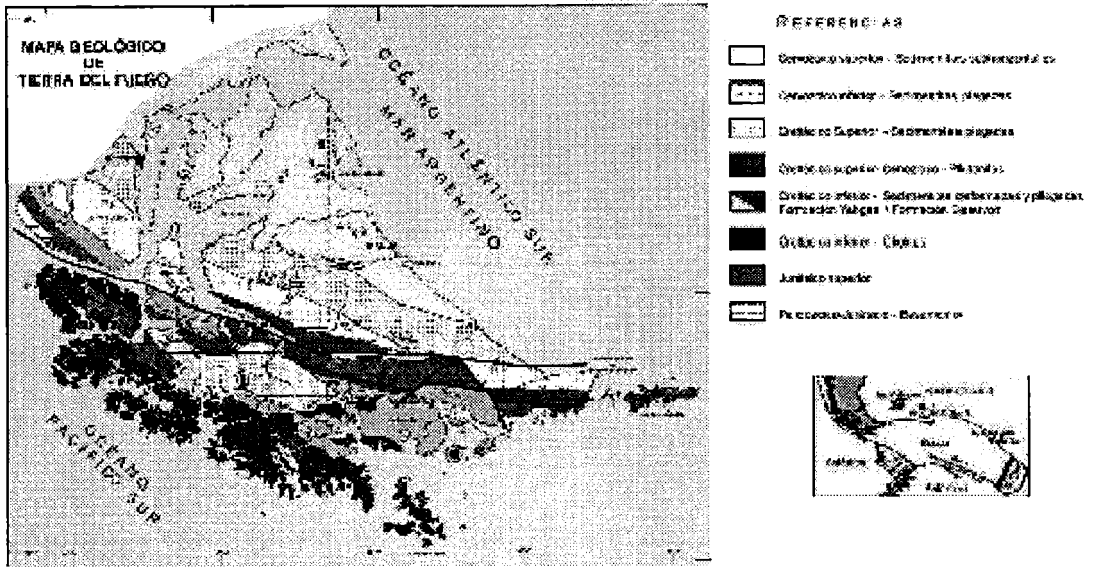


Figura 1. Mapa geológico de Tierra del Fuego. (fuente: laboratorio de Geología Andina, CADIC).

dominio interno tiene su límite norte en el último de una serie de cabalgamientos de vergencia hacia el norte que se observan en la vertiente noreste de la Cordillera Darwin, en la cual afloran rocas metamórficas cretácicas de bajo a alto grado, los cabalgamientos tienen una profundidad de despegue de unos 30 km bajo el nivel del mar: dentro de este dominio encontramos afloramientos del Complejo Tortugas al sur del Canal de Beagle. En este sector interno la intensa deformación compresiva del Cretácico medio alto en la Cordillera Darwin, el metamorfismo y deformación de la Isla Gordon, y la rotación de unos 90° del arco magmático indican una deformación tangencial, acomodada mediante cabalgamientos durante el cierre de la cuenca marginal.

Dentro del estadio extensional, en el Jurásico temprano, hay una extensión en el trasarco enmarcada en el inicio del rifting. En el Jurásico tardío a Cretácico temprano se abre la cuenca oceánica de trasarco que llega a un ancho de 230 km, en este mismo período el arco sufre una rotación dextrógira. Dentro del estadio compresional en el Cretácico inferior

se implanta una subducción reversa que comienza a consumir la cuenca marginal, de la cual quedarán luego sólo remanentes en posiciones más australes y el arco magmático sufre una rotación levógira. Es cuando se disponen nuevamente depósitos plataformales tanto sobre la corteza oceánica de la cuenca marginal como en la corteza continental (atenuada por la previa extensión) de la Cuenca de Magallanes. Del Cretácico inferior al medio se inicia una colisión entre el continente y el arco, mientras que la rotación de este último sigue siendo levógira y se eleva la Protopcordillera Darwin

En el Cretácico medio se cierra completamente la cuenca marginal, en tanto que la Cordillera Darwin presenta su máximo acortamiento que de norte a sur llega a ser de 430 km. Es así que éste es el período más importante de deformación y metamorfismo, en el cual también se dan una rápida exhumación y enfriamiento de la Cordillera Darwin, una veloz tasa de subsidencia, y la depositación en la Cuenca de Magallanes de turbiditas de aguas oceánicas profundas.

Finalmente, desde el Cretácico tardío al

presente ocurren la rotación final del arco (que continúa siendo levógiro) y la deformación del cinturón plegado, con un acortamiento en dirección meridional, de 40, 50 y 80 km para el Cretácico tardío, Paleógeno y Neógeno respectivamente.

Según Diraison (1997) la tectónica neógena en esta zona se vuelve más compleja, es así que en dicho período se abre el Pasaje de Drake a los 30-35 Ma, lo cual condujo a la existencia de la Dorsal de Scotia como placa independiente; a los 14 Ma la Dorsal Chilena que separa las placas de Nazca y Antártida, subduce oblicuamente bajo la Placa Sudamericana, en tanto que el Punto Triple de Aysén, que representa la unión de las tres placas antes mencionadas, comienza su migración hacia el norte.

El mismo autor propone para el Neógeno el desarrollo de rifts que tal vez llegan a involucrar a toda la corteza frágil, y que hasta hoy en día se hallan activos, los mismos están representados conspicuamente en las depresiones correspondientes a la Bahía de San Sebastián, Bahía Inútil y el Estrecho de Magallanes, dichas estructuras concentradas en el eje de la Cuenca de Magallanes fueron aprovechadas como valles glaciares y re-trabajadas como tales durante la glaciación pleistocena que afectó a esta región.

En efecto, como parte del desarrollo del Proyecto Geofísica y Geodinámica en Tierra del Fuego (PICT97), se llevaron a cabo una serie de campañas geológicas orientadas a afinar detalles sobre la estructura y estratigrafía de la faja comprendida por el sistema de falla Magallanes-Fagnano. Como resultado de dicho estudio, se pudo establecer que la distribución regional de unidades estratigráficas del Cretácico-Eoceno sugiere desplazamientos de rumbo levógiros del orden de 20-30km a lo largo del sistema de fallas Magallanes-Fagnano; esto evidencia que el régimen transcurrente se mantiene activo, por lo menos, desde el Eoceno cuspidal (Olivero

*et al.*, 2001).

Se detectaron además evidencias geomorfológicas de actividad tectónica desde al menos el Plioceno hasta la actualidad. Hay signos notorios de que la transcurrente afectó la estructura previa de la faja cordillerana de Tierra del Fuego, dislocándola a través de desplazamientos de rumbo con componentes compresivos y extensivos. En el sector central de la Isla Grande de Tierra del Fuego, desde el extremo oriental del Lago Fagnano hasta la costa Atlántica, se determinaron una serie de bloques deprimidos y estructuras anticlinales, desarrollados al sesgo de la falla transcurrente Magallanes-Fagnano.

Los bloques limitados por fallas normales, evidencian una actividad moderna (neotectónica), marcada por el control estructural que ejercen sobre el desarrollo de las planicies aluviales de los principales ríos, como las de los ríos San Pablo, Irigoyen, Malengueña, Láinez y Turbio, por mencionar los más importantes. Los principales lineamientos así definidos coinciden con la configuración de una zona de cizalla de Riedel con sus dos elementos integrantes, las cizallas sintéticas (R) y antitéticas (R') (Davis *et al.*, 2000).

### **Sismicidad histórica.**

La Isla de Tierra del Fuego posee antecedentes de actividad sísmica que datan del año 1879 hasta la actualidad. Se destacan algunos de carácter destructivo. Tal es el caso del terremoto ocurrido el 17 de diciembre de 1949 con una magnitud de 7.8 en la escala de Richter acompañado por precursores y réplicas. De un análisis de sismicidad histórica en la Isla se tiene conocimiento de la ocurrencia de sismos importantes en los años 1929, 1930, 1944 y sismos de considerable magnitud ocurridos en el año 1970. Varios de esos eventos registrados fueron reubicados, Jaschek *et al.*, 1982 (Tabla 1). Esta sismicidad es la que ha llevado a calificar a esta región como una zona con peligrosidad sísmica entre

**Tabla 1.** Sismos históricos de la Isla de Tierra del Fuego (de Jaschek et al., 1982).

Epicentro de partida (ISC)					Epicentro calculado (UNLP)				
Fecha (amd)	Hora (GCT)	Latitud (S)	Longitud (W)	Prof. (km)	Hora (GCT)	Latitud (S)	Longitud (W)	Prof. (km)	Est.
19300713	011218.0	58.0	67.5	33	011215.1	56.67	69.42	33	5
19441121	100217.0	57.0	63.0	33	100226.2	56.67	66.28	33R*	7
19491217	065324.0	54.1	67.5	33	065328.3	54.24	69.03	33R*	47
19491217	125543.0	54.1	67.5	33	125547.7	54.17	69.02	33R*	8
19491217	150750.0	54.1	67.5	33	150753.6	53.89	69.67	13	55
19491217	223041.0	54.1	67.5	33	223048.2	53.59	70.49	70	5

\* R: profundidad restringida  
 ISS – ISC: Catálogos del International Seismological Service (Centre). Berkshire, Gran Bretaña.  
 UNLP: Jaschek y otros, 1982.

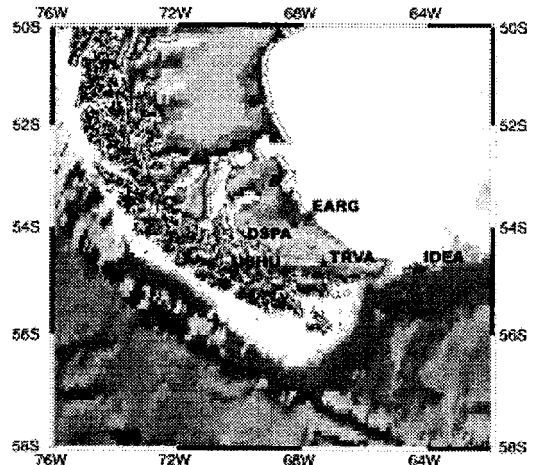
moderada y elevada por el INPRES.

**DATOS UTILIZADOS**

Sólo recientemente se encuentran disponibles datos instrumentales locales para investigar la sismicidad y su relación con la tectónica de la región a partir de las estaciones sismológicas permanente de Ushuaia (IAA-PNRA, desde 1996 hasta el 2005, pero con interrupciones), Despedida (UNLP-PNRA, desde 1999) y TRVA (UNLP, desde 2003), además de otras transitorias (Fig. 2, Tabla 2).

En el curso de los años 1992 al 1996, con el objetivo de profundizar el conocimiento de la tectónica y de la geodinámica de la región sub-antártica del Mar de Scotia, se instalaron tres estaciones sismográficas de banda ancha de tres componentes (Russi y Febrer, 2001). USHU, Ushuaia, Tierra del Fuego, en la zona austral de Sudamérica y en las regiones Antárticas ESPZ, Esperanza y ORCD, Orcadas, que constituyen el límite meridional del Mar de Scotia. Estas estaciones forman parte de la actividad prevista por el Proyecto “Sismología a larga banda nella regione del Mare di Scotia”, Programma Nazionale di Ricerca in Antartide, Italia, y el Instituto Antártico Argentino (IAA). En una primera etapa esas tres estaciones constituían la Red

Sismográfica Antártica Italo Argentina, ASAIN, (Febrer, 2002), los datos adquiridos por las estaciones ASAIN, además de cons-



**Figura 2.** Ubicación geográfica de las estaciones sismológicas utilizadas

**Tabla2.** coordenadas geográficas de las estaciones

Estación	Latitud (S)	Longitud (W)
DSPA	53° 57'	68° 16'
TRVA	54° 41'	67° 20'
EARG	53° 47'	67° 45'
IDEA	54° 48'	64° 22'
USHU	54° 51'	68° 33'



tituir una relevante contribución a la base de datos sismológicos, revisten particular importancia para el estudio de la sismicidad local en Tierra del Fuego.

En el marco del proyecto para el estudio de la Geofísica y Geodinámica de la Isla de Tierra del Fuego (PICT 385 año 1997, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica) a partir del año 1998 se iniciaron estudios a efectos de instalar instrumentación sismológica. Se evaluaron posibles lugares de emplazamiento de una estación sismológica, en colaboración con investigadores del Centro Austral de Investigaciones científicas (CADIC), Ushuaia. Se realizó la selección del sitio, que se encuentra ubicado en la Estancia Despedida, 50 km al sudoeste de la ciudad de Río Grande, atendida por personal de la Estación Astronómica Río Grande, utilizando un sensor de corto período y dependiendo de la UNLP (Sabbione *et al.*, 2001). Esta estación operó hasta fines del año 2002 en que fuera reemplazada por una estación banda ancha de última generación en el marco de un Convenio de cooperación entre la UNLP y el Istituto Nazionale di Oceanografía e di Geofísica Sperimentale- INOGS, Italia, Anexo N° 1, formando parte de la red ASAIN (Sabbione, 2004a). Se ha mantenido el mismo emplazamiento, habida cuenta de estudios previos realizados del ruido que demuestran su bajo nivel (Sabbione, 2004b).

Las estaciones EARG e IDEA, transitorias, operaron con un sensor de corto período durante los períodos: 23 de abril de 2003 al 11 de septiembre de 2003 y 21 de noviembre de 2003 al 25 de enero de 2004 (Rastelli *et al.*, 2005), respectivamente.

## **METODOLOGIA Y PROCESAMIENTO**

Por contar en muchos casos sólo con registros de una estación, hubo que apelar a métodos de localización específicos. Los métodos

más confiables para localizar terremotos regionales de pequeña magnitud utilizando registros de una sola estación de tres componentes, requieren el conocimiento de la estructura de la corteza a lo largo de la trayectoria y cerca de la estación. Para ello se construyó un modelo cortical basado en datos obtenidos por el software CRUST 2.0 (<http://mahi.ucsd.edu/Gabi/rem.html>), así como por otros estudios geofísicos realizados en la zona (Tabla 3).

En los casos en que fue necesario, la profundidad de los sismos se restringió a 15km (Smalley *et al.*, 2003). El método, denominado SSL (Single - Station Location) permite obtener el azimut y la distancia. Para determinar el primero se tiene en cuenta el grado de polarización del primer arribo a la estación, que será mejor estimado si la relación señal ruido (rsr) en el sismograma es alta. En los casos donde la rsr es baja se hace necesario aplicar un filtro. (Plasencia *et al.*, 2002).

El software utilizado fue el SEISAN versión 8.0, desarrollado por Havskov y Ottenmoller, del Institut of Solid Earth Physics de la Universidad de Bergen, Noruega, que es de libre disponibilidad a través de la red Internet. Se utiliza el algoritmo de HYPOCENTER de Lieneart *et al.* (1995), que tiene incorporado la rutina de cálculo del azimut, propuesta por

**Tabla 3.** Perfil de Velocidades.

<b>P Vel (km/seg)</b>	<b>Depth (km)</b>
2.1	0.0
2.8	1.0
3.3	3.0
6.0	12.0
6.6	22.0
B 7.9	29.0
N 8.25	50.0
8.5	80.0

Roberts *et al.* (1989), que utiliza la polarización del primer arribo. La determinación de la magnitud se llevó a cabo utilizando la duración de la coda de los registros, Haskov *et al.* (1983).

Para este trabajo se analizaron sismos ocurridos desde junio de 1999 hasta abril de 2006, registrados en distintos formatos, convertidos al formato Seisan. Una vez encontrado, el o los eventos, se visualizó la hora, se marcó el comienzo y el final del evento y las fases correspondientes para la localización.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se conoce que puede haber un sesgo en la distribución espacial de sismos de muy baja magnitud ( $< 2.5$ ) debido al escaso número de estaciones disponible, que arrojaría una concentración de epicentros en las cercanías de la estación. En el presente estudio se ha utilizado más de una estación cuando ha sido posible para mejorar determinaciones previas así como el efecto previamente mencionado, encontrándose además que el error en las mismas ha sido menor.

Se desea destacar que desde la instalación de la estación TRVA a principios del 2004, el número de sismos registrados se ha incrementado notablemente. Haciendo un análisis de los epicentros, se observa que un número importante de eventos se relaciona con la falla transformante de Magallanes-Fagnano, con la Cordillera Darwin y además se puede destacar que hay evidencias de actividad elástica que podría estar relacionada con el graben de San Sebastián, ubicado al norte de Tierra del Fuego.

Se ha reportado para el área un movimiento relativo de alrededor de 6,5 mm/año para el segmento de las placas Scotia-Sudamérica que cruza Tierra del Fuego (Del Cogliano *et al.*, 2000, Smalley *et al.*, 2003). A pesar de las complejidades de su historia geológica y la

actual situación tectónica, el mejor modelo para este sistema, según los autores, es una falla transformante vertical de dos dimensiones, soldada a 15 km de profundidad (Smalley *et al.*, 2003). La sismicidad obtenida en la región, para el período 06/1999-04/2006 (Fig. 3), arroja un resultado de alrededor de 350 eventos, con magnitudes que oscilan entre 2 y 3.7, hecho que indica que en este período de casi 7 años, ha habido una liberación de energía continua; que puede ser explicada por el lento movimiento relativo entre las placas Sudamericana y de Scotia a lo largo del borde y es consistente con los rasgos de tectónica actual, descriptos precedentemente.

**Agradecimientos:** la instalación y operación de las estaciones sismológicas digitales mencionadas en este trabajo son el resultado del esfuerzo de un grupo de personas, entre las que cabe destacar a la familia Larminat, dueños de la E<sup>a</sup> Despedida, que cedieron el lugar para el emplazamiento de DSPA. Además se desea agradecer especialmente la colaboración en la redacción de los aspectos geológicos de la zona a la Srta. Andrea Bidone.

## REFERENCIAS

- Connon, G., L. Barbero, C. Ferrer, J.L. Hormaechea, N. Sabbione, R. Pincioli, C. Rastelli and M.P. Plasencia Linares, 2004. Earthquake Epicentres in Tierra del Fuego from May 1999 to March 2004. Bolletino di Geofisica teorica ed applicata. Vol.45, 2, 83.
- Davis, G.H., A.P. Bump, P.E. García and S.G. Ahlgren, 2000. Conjugate Riedel deformation band shear zone. Journal of Structural Geology 22 (2): 169-190.
- Del Cogliano, D., R. Perdomo y J. Hormaechea, 2000. Desplazamiento entre placas tectónicas en Tierra del Fuego. Actas de la XX Reunión Científica de la AAGG, Mendoza (CD).
- Diraison, M., P. Cobbold, D. Gapais and E. Rossello, 1997. Maguellan Strait: Part of a Neogene rift system. Geology, vol. 25, 8, 703-706

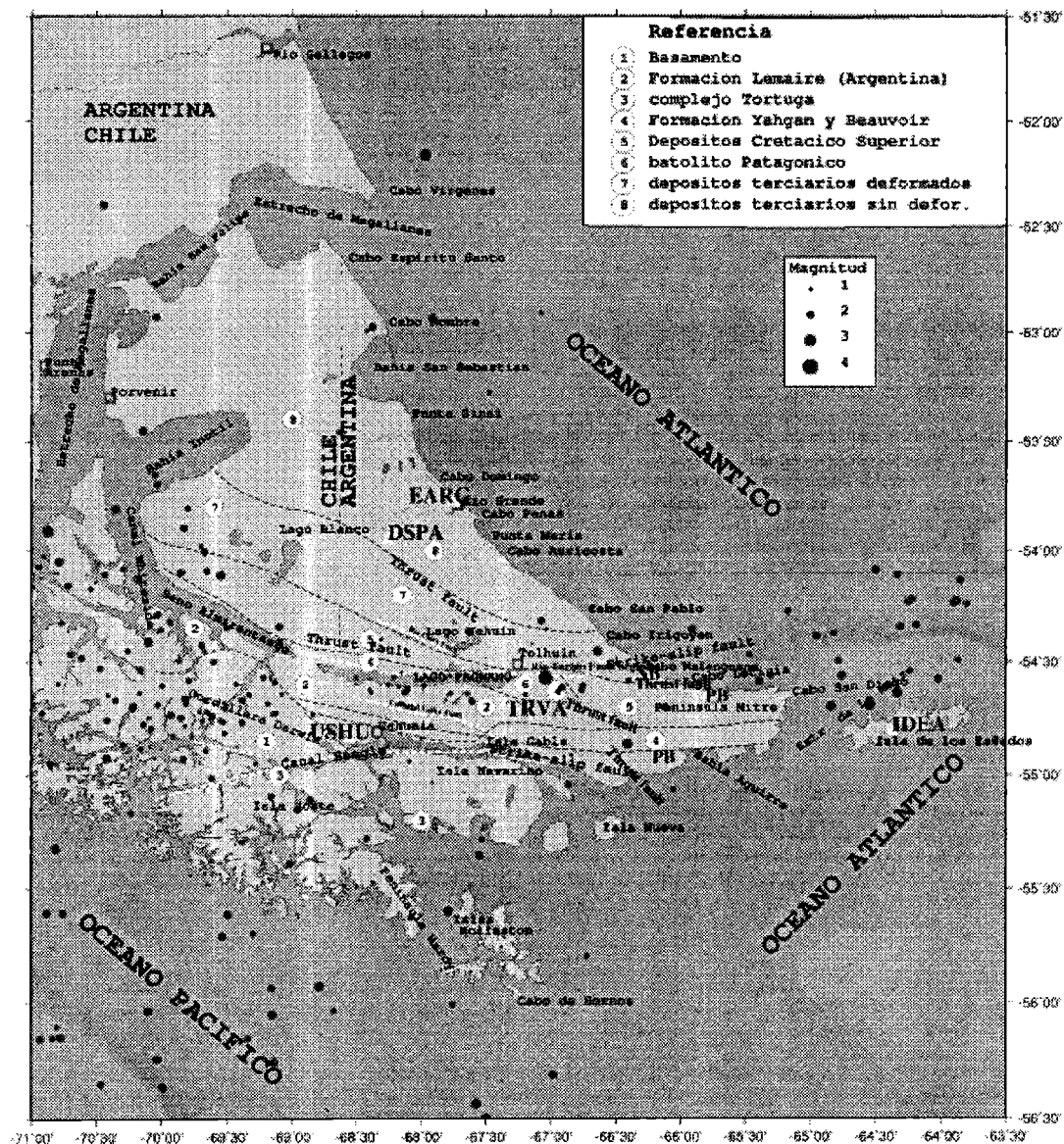


Figura 3. Sismicidad obtenida para el período 06/1999-04/2006.

Febrer, J., M. Plasencia y N. Sabbione 2000. Sismicidad local registrada en la estación de banda ancha de Bahía Lapataia (Tierra del Fuego). Actas de la XX Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. En CD, 80-84.

Febrer, J., M., Plasencia and N., Sabbione, 2001. Seismic Signals Observations at USHU Broad-Band Station, Tierra del Fuego. (Results from

the Workshop on Broad-Band Seismic Observations and the Geodynamics of the Scotia Sea Region, Antarctica. Trieste). Terra Antarctica. Vol 8 (2), 35-40.

Febrer, J. M., 2002. La red ASAIN de observación sísmológica en Antártida II. Sismicidad en Tierra del Fuego. XXI Reunión Científica AAGG. 273-279

Havskov, J., and M. Macías, 1983. A coda-length

- magnitude scale for some Mexican stations, *Geofísica Internacional*, 22, 205-213.
- Jaschek, E., N. Sabbione y P. Sierra, 1982. Reubicación de sismos localizados en territorio argentino (1920-1963). Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata. Serie Geofísica, Tomo XI, N° 1.
- Kraemer, P. E., 2002. Orogenic shortening and the origin of the Patagonian orocline ( 56°S.Lat). *Journal of South American Earth Sciences*, 15 (2003), 731-748.
- Lienart, B.R. and J. Haskov, 1995. A computer program for locating earthquakes both locally and globally, *Seismological Research Letters*, 66, 26-36.
- Olivero, E.B. and Malumian, 1999. Eocene stratigraphy of southeastern Tierra del Fuego Island, Argentina. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 83, No. 2, p.

## UN MODELO DE TUBO DE FLUJO MAGNETICO CILINDRICO PARA LA ANOMALIA MAGNETICA DEL ATLANTICO SUR EN LA REGION DEL PLASMA

*Patricia Alejandra Sallago*

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Paseo del Bosque s/n, 1900, La Plata,  
Argentina. e-mail: pato@fcaglp.unlp.edu.ar

### RESUMEN

La Anomalía Magnética del Atlántico Sur (SAA) es una región del espacio en la que el campo de inducción magnética presenta una distorsión tal que permite el ingreso de partículas cargadas hacia regiones de menor altura. Las mismas provocan reacciones en el plasma de la ionosfera que pueden ser detectadas tanto mediante sondeos ionosféricos como mediante registros de dosaje de radiación. La intensidad de estas reacciones está directamente relacionada tanto con la intensidad de los parámetros del viento solar, como con la intensidad de la actividad solar propiamente dicha. Las perturbaciones geomagnéticas que se registran en la región subyacente presentan peculiaridades tanto en su comportamiento como en la distribución espacial. Se propone un modelo simplificado que represente en forma local al campo de inducción magnética en la región de SAA que se encuentra ocupada por el plasma. Dicho modelo corresponde a un tubo de flujo magnético cilíndrico. El tubo representa localmente al campo de inducción magnética resultante de la superposición entre las contribuciones de origen interno y externo. Con este modelo pueden explicarse las determinaciones de los parámetros físicos realizadas por otros autores (Jayanthi *et al.*, 1997; Mendes da Costa, 2000; Nishino *et al.*, 2002; Trivedi *et al.*, 2005). Su verosimilitud se funda en el hecho de que hayan sido detectadas pulsaciones Pc5 en la región del SAA. Se discuten las posibles configuraciones de los campos para el tubo de flujo magnético. **Palabras clave:** plasmas magnetosféricos-ondas de Alfvén-Anomalía Magnética del Atlántico Sur.

### ABSTRACT

The South Atlantic Magnetic Anomaly (SAA) is a region where the induction magnetic field is distorted in such a way that it allows the injection of charged particles to lower altitude regions. These particles produce reactions in the ionospheric plasma that can be detected by ionospheric records or by measurements of radiation doses. The intensity of those reactions is connected to the intensity of the solar wind parameters, and the intensity of the solar activity also. The geomagnetic perturbations recorded at SAA show a particular behaviour and spatial distribution. It is assumed a model for the induction magnetic field at SAA; let it be a cylindrical magnetic flux tube. Such a tube represents locally the induction magnetic field given by the internal and external contributions to them, in the region of the space that can be considered filled by a plasma. It is possible to explain the behaviour of some physical parameters, recorded and studied by other authors (Jayanthi *et al.*, 1997; Mendes da Costa, 2000; Nishino *et al.*, 2002; Trivedi *et al.*, 2005), using this model. Since some authors have reported the detection of pulsations Pc5 at SAA, the verisimilitude of this model is confirmed. The possible configurations for the cylindrical magnetic flux tube are discussed.

**Keywords:** magnetospheric plasmas-Alfvén waves-South Atlantic Magnetic Anomaly.

## INTRODUCCION

La anomalía magnética del Atlántico sur (SAA) es una región del espacio conocida por su peculiaridad de comportarse como una "zona auroral". Su origen se relaciona con el comportamiento del geodínamo que da sustento al campo geomagnético de origen interno y su presencia distorsiona la distribución de la región de captura de partículas cargadas, constituyendo lo que algunos autores llaman un sumidero para las partículas del cinturón interno de van Allen (Dessler, 1959; Mendes da Costa, 2000).

Por otra parte, es común proponer estructuras del tipo de los tubos de flujo magnético cilíndricos para la descripción de fenómenos dentro de la física de plasmas (Priest, 1982; Roberts, 2004). Su comportamiento es conocido, en la aproximación magnetohidrodinámica (MHD), respecto de las inestabilidades que pueden soportar y las ondas que pueden propagarse en los mismos (Uchida *et al.*, 2001; Petrie *et al.*, 2002; Noble *et al.*, 2003). En un trabajo reciente Sallago y Platzeck (2006) probaron que es posible la propagación de ondas de Alfvén de amplitud finita en tubos de flujo magnético cilíndricos.

Es común proponer modelos locales cuando se estudian fenómenos de pequeña escala relativo al cuerpo en el que tienen lugar. Para ejemplos sobre este caso puede recurrirse al trabajo de Ruderman, (2003) y las referencias allí citadas. Debido a que SAA se comporta como una región auroral es posible modelarla, en la zona del espacio que se encuentra ocupada por un plasma, como un tubo de flujo. Dicho tubo representa localmente al campo de inducción magnética resultante de la superposición de campo de origen interno y externo (Kivelson *et al.*, 1984).

Por otra parte, las pulsaciones magnéticas son perturbaciones del campo geomagnético de origen externo cuyos periodos yacen en

rangos del orden de 0.1 a 100 segundos. Se considera como una posible fuente de las pulsaciones magnéticas a la propagación de ondas de Alfvén en el campo de inducción magnética terrestre (Hasegawa, 1971). Varios autores han estudiado este problema pero han partido de un sistema de ecuaciones linealizadas y un desarrollo en ondas monocromáticas para las perturbaciones (Bellan, 1996 a). Además, algunos autores (Kivelson y Southwood, 1985, 1986; Nosé *et al.*, 1995) explican el origen de las pulsaciones observadas en la magnetósfera mediante el concepto de resonancia. Sin embargo, tal resonancia en la MHD ideal, es un resultado matemático artificial (Bellan, 1996 b); esto proviene del hecho contradictorio de encontrar perturbaciones cuyas amplitudes tienden a infinito en una región, cuando se ha partido de un sistema de ecuaciones linealizadas y un desarrollo en ondas monocromáticas para las perturbaciones. En lugar del mencionado procedimiento, Sallago y Platzeck (2000) hallaron las soluciones del sistema de ecuaciones siguiendo una metodología desarrollada anteriormente cuando los campos de fondo dependían espacialmente de una variable cartesiana. Luego de probar la propagación de ondas de Alfvén en forma teórica, Sallago (2004) consideró la posibilidad de aplicación del modelo para explicar el origen de las Pc5, teniendo en cuenta la viabilidad de las aproximaciones para el caso, principalmente que para las perturbaciones de baja frecuencia puede aplicarse MHD, en especial para las perturbaciones de Alfvén. El modelo simplificado que se tomó para simular el problema está constituido por un plasma conductor perfecto, totalmente ionizado, para el que es suficiente considerar la ley de Ohm simple. Debajo de la ionósfera se encuentra la atmósfera que es un gas neutro; al arribar las distintas perturbaciones a esta discontinuidad, las ondas de Alfvén generan ondas electromagnéticas de baja frecuencia que se

propagaran con distinta velocidad, pero con las mismas características en cuanto a polarización, que la de las ondas que les dieron origen (Kelley, 1989). Aplicando estos resultados se explicaron las pulsaciones geomagnéticas Pc5 (Sallago, 2004) que habían sido analizadas en otro contexto por otros autores (Schott *et al.*, 1998; Baishev *et al.*, 2000; Kleimenova *et al.*, 2002; Pilipenko *et al.*, 2002).

Resumiendo: se conoce el comportamiento peculiar de SAA debido a mediciones, ya sea de perfiles ionosféricos, de densidad de partículas precipitadas, dosaje de radiación y detección de pulsaciones Pc5 en la región subyacente.

a- Se observa un flujo de partículas enfocado hacia una región delimitada del espacio por lo que puede considerarse confinamiento.

b- El dosaje de radiación e intensidad de ruido de radio se incrementa hacia el interior de la región de SAA, esto da lugar a que pueda considerarse tanto la aceleración de cargas como el fenómeno de interacción onda-partícula.

c- Los fenómenos observados en SAA han sido descritos desde hace más de cuarenta años por lo que puede considerarse que SAA es una estructura estable.

d- Las pulsaciones Pc5 reportadas por Trivedi *et al.* (2005), ondas hijas de las ondas de Alfvén que se propagan en el plasma, inducen a considerar para SAA una estructura del tipo tubos de flujo magnético cilíndrico.

En el presente trabajo se propone que las fuentes de origen interno del campo geomagnético en la zona del SAA y las de origen externo, tales como la corriente efectiva producida por la deriva de partículas del cinturón de van Allen, constituyen un tubo de flujo magnético cilíndrico en la región del espacio que puede considerarse ocupada por un plasma. Las determinaciones anteriormente mencionadas dan fundamento al modelo propuesto para SAA en la región del plasma.

Con esta propuesta pueden explicarse tanto las observaciones satelitales y registros terrestres de los parámetros físicos del plasma, realizados por otros autores, como el hecho de haberse registrado pulsaciones Pc5 en la región subyacente reportadas por Trivedi *et al.* (2005), ya que estas últimas han sido explicadas como ondas hijas de las ondas de Alfvén que se propagan en el plasma (Sallago, 2004), ondas de Alfvén que se ha probado que pueden propagarse en tubos de flujo (Sallago y Platzek, 2006). Se discuten diferentes tipos de configuraciones para los campos del tubo de flujo magnético cilíndrico.

### **MODELO DEL TUBO DE FLUJO MAGNETICO CILINDRICO PARA SAA**

En esta sección se realiza el análisis del modelo del tubo de flujo magnético. Para facilitar su posterior comparación con los parámetros medidos y registrados por otros autores, se considerará el estudio del movimiento de las partículas cargadas dentro del mismo utilizando la teoría de órbitas (Rossi y Olbert, 1970). Sea un sistema de coordenadas cilíndricas ( $r, \phi, z$ ), con  $z$  que apunta en la dirección exterior a la tierra y es paralelo al eje de un cilindro de radio  $a$ . Consideremos una partícula cargada que se mueve en un plasma eléctricamente neutro. En presencia de un campo de inducción magnética de fondo no uniforme experimentará desviaciones de su trayectoria comúnmente llamadas derivas. Ellas son las derivas de gradiente  $|\mathbf{B}|$  y de curvatura de las líneas  $\mathbf{B}$ , que establecen corrientes en el plasma neutro. Dichas corrientes son: la corriente de magnetización, de gradiente y de curvatura (Chandrasekhar, 1962).

Además, si las partículas se mueven en un ambiente en el que se propagan ondas electromagnéticas, las partículas experimentarán una deriva adicional en la dirección de

propagación de la onda. En particular, cuando las ondas que se propagan son tales que su campo eléctrico presenta una variación espacial de la intensidad, las partículas experimentarán una aceleración que, en el caso de ondas planas puede expresarse como

$$\langle \mathbf{r} \ddot{\mathbf{r}} \rangle = - (e / 2 m \omega)^2 E_w^2(0),$$

donde  $m$ ,  $\omega$ ,  $E_w(0)$  son la masa de la partícula, la frecuencia de la onda y la amplitud del campo eléctrico de la onda evaluado en la posición media de la partícula (Boyd y Sanderson, 1969). De la teoría electromagnética se sabe que las cargas aceleradas emiten radiación, sin embargo este efecto no puede analizarse bajo la teoría de órbitas (Goldston y Rutherford, 1995). El efecto resultante es la atenuación de la onda.

Para el modelo de tubo de flujo cilíndrico se propone que el campo de inducción magnética de fondo sea de forma tal que como resultado se esté en presencia de un pinch magnético que confina el plasma. Además se propone que el plasma en estado estacionario se encuentre en equilibrio si satisface que la presión total, suma de la presión del plasma más la magnética, sea constante. Esta condición puede darse en un tubo de flujo magnético cilíndrico en el que se propagan ondas de Alfvén.

### PROPAGACION DE ONDAS DE ALFVEN EN EL PLASMA NO UNIFORME DEL MODELO PARA SAA

Uno de los fenómenos que caracteriza a SAA es la detección en las estaciones geomagnéticas de pulsaciones del tipo Pc5. Estas últimas han sido explicadas como ondas hijas de las ondas de Alfvén que se propagan en el plasma (Sallago, 2004). Se ha probado anteriormente que las ondas de Alfvén de gran amplitud pueden propagarse en tubos de flujo

magnético cilíndrico (Sallago y Platzek, 2006). En esta sección se muestra el procedimiento por el cuál se obtienen las soluciones de la MHD para las ondas de Alfvén en plasmas no uniformes, realizado por Sallago y Platzek (2006), cuando los campos de fondo del tubo de flujo magnético cilíndrico variaban con una sola variable. Se propone que la densidad de fondo  $\rho_0(r)$ , la presión del plasma  $p_0(r)$ , la velocidad del plasma  $\mathbf{V}_0 = V_{0\phi}(r) \mathbf{e}_\phi + V_{0z}(r) \mathbf{e}_z$ , y el campo de inducción magnética  $\mathbf{B}_0 = B_{0\phi}(r) \mathbf{e}_\phi + B_{0z}(r) \mathbf{e}_z$ , dependan sólo de  $r$ . Dicho tubo representa localmente al campo de inducción magnética resultante de la superposición de campo de origen interno y externo (Kivelson *et al.*, 1984).

Los campos de fondo deben satisfacer, además de la condición de equilibrio, una condición adicional que permite la propagación de ondas de Alfvén en el plasma, tal condición puede expresarse como que la componente acimutal de la velocidad de grupo de las ondas de Alfvén debe anularse. La característica más destacable de las ondas de Alfvén en plasmas de fondo uniformes es que se propagan sin deformarse con una velocidad de grupo paralela al campo de inducción magnética de fondo en el sistema de referencia en que el plasma se encuentra localmente en reposo, las perturbaciones son incompresibles, existe una relación entre las perturbaciones en velocidad y campo de inducción magnética, y la perturbación en presión total es nula en la región de perturbación. La metodología desarrollada anteriormente para el caso en que los plasmas de fondo varían en una dirección rectilínea consiste en no linealizar el sistema de ecuaciones de la MHD y pedir que las perturbaciones sigan satisfaciendo las características que presentaban las ondas de Alfvén cuando los campos de fondo son uniformes. De esta manera, se pide que las perturbaciones satisfagan las siguientes condiciones:



1-Las perturbaciones en densidad, presión del plasma, velocidad y campo de inducción magnética sean funciones de  $r'=r - V_A(r) t$ , donde  $V_A = B_0 / (4 \pi \rho)^{1/2}$  es la velocidad de grupo de las ondas de Alfvén.

2-La perturbación es incompresible:

$$\mathbf{V} \cdot \mathbf{V}_1 = 0.$$

3-La perturbación en presión total es nula:

$$P_1 = 0.$$

4-Las perturbaciones en velocidad y campo de inducción magnética se relacionan:

$$\mathbf{V}_1 = - \mathbf{B}_1 / (4 \pi \rho)^{1/2} + \alpha,$$

donde  $\rho$  es la densidad total y  $\alpha$  es un vector que debe anularse tanto si los campos de fondo son uniformes como si no hay perturbación.

Se encuentra que existen dos tipos de soluciones, una con  $B_1 r = 0$  y otra que indica que  $\alpha$  debe ser invariante en la dirección de  $dV_{AZ}/dr$ . Si  $B_1 r = 0$ , las ondas de Alfvén pueden propagarse con las mismas características que en campos de fondo uniformes. Si  $B_1 r \neq 0$ , todas las cantidades perturbadas se calculan a partir del valor de las perturbaciones en campo de inducción magnético. En conclusión, es posible la propagación de las ondas de Alfvén en campos de fondo no uniformes, con la configuración propuesta, si todas las cantidades perturbadas son invariantes en la dirección de variación de la velocidad de grupo. Esta invariancia es necesaria para que las ecuaciones de la MHD no dejen de satisfacerse debido a la variación de  $V_{AZ}$  con el tiempo.

## DETERMINACIONES DE OTROS AUTORES

Las determinaciones mencionadas a continuación dan fundamento al modelo propuesto para SAA en la región del plasma. Gran cantidad de autores reportan aumento en el número de partículas precipitadas en la región del SAA, ya sea en durante tormentas geomagnéticas como en tiempos geomagnéticos calmos (Mendes da Costa, 2000). Las

referencias en ese trabajo dan cuenta del estado actual del estudio del tema. Con respecto a la radiación, los estudios abarcan un amplio rango en alturas: mediciones por globo Jayanthi *et al.*, (1997) (realizadas en Cachoeira Paulista), satelitales y terrestres en la región del SAA (Nishino *et al.*, 2002). Asimismo, el incremento en la intensidad de la radiación en la zona se ha conocido desde el tiempo del SKYLAB, debiendo considerarse sistemas de protección para equipos (Heirtzler, 2002), llegándose a realizar las mediciones por fuera de la zona del SAA como en el caso de los instrumentos NINA (altura orbital 830 km) NINA-2 (altura orbital 450km), a bordo de los satélites Resus-01-N4 y MITA respectivamente (Bidoli *et al.*, 2002), o apagando los sistemas como en el caso del telescopio espacial HUBBLE (altura orbital 600km) (Zwintz *et al.*, 1999).

Además, Nishino *et al.* (2002) muestran un registro del incremento del ruido de radio durante una perturbación geomagnética asociada con un fenómeno de precipitación de partículas (determinaciones realizadas en INPE, cercano a Santa María). Trivedi *et al.* (2005) han reportado pulsaciones geomagnéticas del tipo Pc5 en la región del SAA, en los registros de las estaciones Sao Marino da Serra y Ji-Parana, en particular para el 8 de noviembre del 2000. Estas pulsaciones pueden interpretarse como ondas generadas por las ondas de Alfvén de gran amplitud que se propagan por el tubo de flujo magnético cilíndrico al llegar a la interfase con la atmósfera (Sallago, 2004).

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se muestra que un modelo válido para SAA, en la región que se encuentra ocupado por el plasma, es el de una configuración de campos de fondo tal que resulte en tubo de flujo magnético cilíndrico. Además, con la configuración de tubo de flujo

magnético cilíndrico se puede explicar el comportamiento reportado por las mediciones de los autores mencionados en este trabajo, tanto en lo relativo al aumento de la densidad de partículas precipitadas como al incremento en el dosaje de radiación o incremento del ruido de radio.

En un tubo de flujo magnético cilíndrico del tipo pinch, la corriente acimutal generada por las partículas precipitadas contribuye al campo de inducción magnética axial, en el que se propagan los paquetes de ondas de Alfvén que dan origen a las pulsaciones Pc5 en la región subyacente. Sin embargo, un ajuste del modelo teórico es conveniente pues deben considerarse tanto la fuerza de gravedad como una configuración de campo de inducción magnética de fondo más compleja.

## REFERENCIAS

- Baishev, D.G., E.S. Barkova, S.I. Solovyev, K. Yumoto, M.J. Engebretson and A.V. Koustov, 2000. Formation of large-scale "giant" undulation at the equatorial boundary of diffuse aurora, y Pc5 magnetic pulsations during the January 14, 1999 magnetic storm; Proc. 5th International Conference of Substorms, St. Petersburg, Rusia, 16-20 Mayo 2000, 427-430 (ESASP-443, Julio 2000).
- Bellan, P.M. 1996 (a). New model for ULF Pc5 pulsations: Alfvén cones, *J. Geophys. Res.* 23, 1771-1720.
- Bellan, P.M. 1996 (b). Mode conversion into non-MHD waves at the Alfvén layer: The case against the field line resonance concept, *J. Geophys. Res.* 101, 24887-24898.
- Bidoli, V., M. Casolino, M.de Pascale, G.Furano, A. Iannucci, A. Morselli, P. Picozza, R. Sparvoli, A. Bakaldin, A. Galper, S. Koldashov, M. Korotkov, A. Leonov, V. Mikhailov, S. Voronov, M. Boezio, V. Bonvicini, A. Vacchi, G. Zampa, N. Zampa, M. Ambriola, F. Cafagna, M. Circella, C. de Marzo, O. Adriani, P. Papini, P. Spillantini, S. Straulino, E. Vannuccini, M. Ricci and G. Castellini. 2002. Energy spectrum of secondary protons above the atmosphere measured by the instruments NINA and NINA-2, *Annales Geophysicae*, 20, 1693-1697.
- Boyd, T.J.M. and J.J. Sanderson. 1969. *Plasma Dynamics*, Thomas Nelson and Sons Ltd., Great Britain.
- Chandrasekhar, S. 1962. *Plasma Physics*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Dessler, A.J., 1959. *J. Geophys. Res.* 64, 713-719.
- Goldston, R.J. and P.H. Rutherford. 1995. *Introduction to Plasma Physics*, Institute of Physics Publishing, London.
- Hasegawa, A. 1971. Plasma Instabilities in the Magnetosphere, *Reviews of Geophys. and Space Phys.*, 9, 703-772.
- Heirtzler, J.R. 2002. The future of the South Atlantic anomaly and implications for radiation damage in space, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 64, 1701-1708.
- Jayanthi, U.B., M.G. Pereira, I.M. Martin, Y. Stozkov, F.M. D'Amico and T. Villela. 1997. Dynamic Current Injection into Magnetic Loops in Active Regions, I. Supplies of Energy and Mass to Active-Region Corona in the Form of Dynamic Loop Brightenings. *J. Geophys. Res.* 102, 24069-24073.
- Kelley, M.C. 1989. *The Earth's ionosphere*, Plasma Physics and Electrodynamics, International Geophys. Series, 43, Academic Press Inc., CA, USA.
- Kivelson, M.G. and D.J. Southwood. 1985. Resonant ULF waves: A new interpretation, *Geophys. Res. Lett.*, 12, 49-52.
- Kivelson, M.G. and D.J. Southwood. 1986. Coupling of global magnetospheric MHD eigenmodes to field line resonances, *J. Geophys. Res.*, 91, 4345-4351.
- Kivelson, M. G., J. Etcheto and J. G. Trotignon. 1984. Global, compressional oscillations of the terrestrial magnetosphere: the evidence and a model; *J. Geophys. Res.* 89, 9851-9856.
- Kleimenova, N.G., O.V. Kozyreva, J.J. Schott, M. Bitterly, J. Bitterly and P. Ivanova. 2002. Dayside geomagnetic Pc5 pulsations in the conditions of a strongly disturbed solar wind during the magnetic storm of 21 February 1994; *Inter-national Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, 3, 3, publicación online (<http://>

- /ijga.agu.org/v03/gai99328/gai99328.html).
- Mendes da Costa, A. 2000. Indirect determination of the energy spectra of particles precipitated in the lower ionosphere associated with solar proton events. *Geofísica Internacional* 39, 13-19.
- Nishino, M., K. Makita, K. Yumoto, F.S. Rodrigues, N.J. Schuch and M.A. Abdu. 2002. Unusual ionospheric absorption characterizing energetic electron precipitation into the South Atlantic Magnetic Anomaly, *Earth Planets Space*, 54, 907-916.
- Noble, M.W., Z.E. Musielak and P. Ulmschneider. 2003. Torsional magnetic tube waves in stellar convection zones. I. Analysis of wave generation and application to the Sun, *Astronomy and Astrophysics*, 409, 1085-1095.
- Nosé, M., T. Iyemori, M. Sugiura and J.A. Slavin. 1995. A strong dawn/dusk asymmetry in Pc5 pulsations occurrence observed by DE-1 satellite, *J. Geophys. Res.* 22, 2053-2056.
- Petrie, G.J.D., C. Gotikakis, H. Dara and K. Tsinganos. 2002. en Proc. 10Th. European Solar Physics Meeting, 'Solar variability: from core to outer frontiers', Prague. Czech. Rep. 9-14 september 2002 (ESA SP-506), 713.
- Pilipenko, V.A., O.V. Kozyreva, M.J. Engebretson, D.L. Detrick and S.N. Samsonov. 2002. Dynamics of long-period magnetic activity and energetic particle precipitation during the May 15, 1997 storm; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 64, 831-843.
- Priest, E.R. 1982. *Solar Magnetohydrodynamics*, D. Reidel, Norwell, Mass.
- Roberts, B. 2004. en Proc. of SOHO 13, 'Waves, oscillations and small-scale transient events in the solar atmosphere: Joint view from SOHO and TRACE', Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain, 29 september- 3 october, 2003 (ESA SP-547), 1-24.
- Rossi, B. and S. Olbert. 1970. *Introduction to the physics of space*, McGraw-Hill, New York.
- Ruderman, M. S. 2003, en "Turbulence, Waves and Instabilities in the Solar Plasma" NATO Science Series, edited by R. Erdelyi 239.
- Sallago, P.A. and Platzcek, A.M. 2000. Alfvén waves and wings in nonuniform plasmas, *J. Geophys. Res.* 105, 27393-27400.
- Sallago, P.A. 2004. Ondas de Alfvén como fuente de pulsaciones geomagnéticas 1- Pulsaciones aurorales. Actas de la XXII Reunión de la Asociación Argentina de Geofísica y Geodesia, (Buenos Aires).
- Sallago, P.A. and Platzcek, A.M. 2006. Large-amplitude Alfvén waves in cylindrical magnetic flux tubes, *J. of Plasma Physics*, 72, 5, 625-633.
- Schott, J.J., N.G. Kleimenova, J. Bitterly and O.V. Kozyreva. 1998. The strong Pc5 geomagnetic pulsation in the initial phase of the great magnetic storm of March 24, 1991; *Earth Planets Space*, 50, 101-106.
- Trivedi, N.B., B.M. Pathan, N.J. Schuch, M. Barreto and L.G. Dutra. 2005. *Adv. in Space Res.* 36, 2021-2024.
- Uchida, Y., T. Miyagoshi, T. Yabiku, S. Cable and S. Hirose. 2001. *Publ. Astron. Soc. Japan*, 53, 331.
- Zwintz, K., R. Kuschnig, W.W. Weiss, R.O. Gray and H. Henker. 1999. Hubble Deep Field guide star photometry, *Astron. Astrophys.* 343, 899-903.



## RELACION ENTRE GRADOS-DIA CALEFACCION Y REFRIGERACION CON EL CONSUMO ELECTRICO DE BAHIA BLANCA

*Mariana Paula Torrero<sup>1</sup>, María Cintia Píccolo<sup>1,2</sup> y Alicia Campo de Ferreras<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Depto de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

### RESUMEN

El objetivo del trabajo es analizar si existe una relación entre los grados-día calor y grados-día refrigeración con el consumo eléctrico de la ciudad de Bahía Blanca, con el fin de determinar futuras demandas de electricidad en relación a posibles cambios en el régimen térmico de la ciudad. Se analizaron los datos de temperatura y energía eléctrica correspondientes a los meses de febrero y julio de 2005 en el microcentro de Bahía Blanca utilizando métodos estadísticos estándar.

Se encontró un elevado consumo de energía de lunes a viernes en ambos meses, relacionado con el desarrollo de las actividades propias del sector, disminuyendo notablemente los fines de semana. No se observó una relación significativa entre los grados-día calor y frío y el consumo energético de la ciudad. Se observó un mayor consumo eléctrico mensual durante febrero (893,2 kw/h) que en julio (632,7 kw/h). Ésto indicaría una posible relación entre la temperatura y el consumo de electricidad, es decir a mayor temperatura media mensual mayor consumo de energía.

**palabras claves:** grados día-clima urbano-energía.

### ABSTRACT

The objective of the study was to analyze the relationship between cold and heat degree-days and the "energy" consumed in Bahía Blanca city. The results will help to determine future needs if the thermal regime of the city change. Data from February and July was compared. Standard statistical methods were applied to daily temperature and electricity consumption data.

From Monday to Friday a high energy consumption was observed related to the industrial and economical activities typical of the city. The energy consumption diminished notably on weekends. Therefore, a significant relationship between daily heat and cold degree days and the energy city consumption was not found. However, a significant relation was observed between mean mensual temperature and the city energy consumption. In February the consumption was greater than in July. Meaning that higher temperature originates more energy consumption.

**key words:** degree day-urban climate-energy.

### INTRODUCCION

Los estudios sobre los grados-días calefacción y refrigeración y su aplicación al control ambiental llevan más de medio siglo (Thom, 1953). Actualmente se utilizan para cuantificar el cambio climático y su relación al medioambiente urbano. Se ha demostrado un decrecimiento e incremento de los grados-

día calefacción y refrigeración, a través del análisis de la producción y consumo de energía diarios como consecuencia del impacto del cambio climático sobre el ambiente urbano (Cartalis *et al.*, 2000; Sailor, 2000; Bonsal *et al.*, 2001). La clasificación de estos parámetros permitió estimar estrategias potenciales para la reducción de la isla de calor considerando tres tipos de edificaciones diferentes,

comercios, viviendas y oficinas (Akbari y Konopacki, 2000). Asimismo, Sailor y Vasireddy (2004) analizaron el consumo eléctrico para explicar la variabilidad del clima local en tres ciudades de Estados Unidos.

Hansen *et al.* (1998) consideró los grados-día calefacción como uno de los indicadores climáticos para elaborar un índice de regiones a nivel mundial y observar el impacto del cambio climático global. Climent *et al.* (2003) analizó la relación existente entre el consumo mensual de gas y electricidad en España peninsular y un conjunto de variables climáticas durante el período 1987-1998, para lo cual calcularon los grados-mes frío y los grados-mes calor. Sus resultados demostraron que sólo la temperatura media mensual tuvo una influencia relevante en los consumos mensuales de gas y electricidad.

En Argentina, los estudios que utilizan estos índices están relacionados con la arquitectura con el fin de lograr un mejoramiento en las condiciones energéticas y de habitabilidad. Actualmente se ha determinado la regionalización bioclimática para la provincia de Buenos Aires y se ha desarrollado un modelo de ahorro de energía en edificios de vivienda determinándose valores límites de calidad térmica para Argentina (Czajkowski y Rosenfeld, 1992; Czajkowski, 2000). En la provincia de La Pampa los estudios estuvieron centrados en establecimientos educativos con el fin de lograr eficiencia y sostenibilidad energética, ahorro de energía y confort térmico (Filippín, 1999; Filippín *et al.*, 2001; Filippín y Marek, 2004).

La ciudad de Bahía Blanca (38° 44' S y 62° 16' O) presenta estaciones térmicas bien diferenciadas con veranos e inviernos rigurosos y estaciones intermedias más benignas, registrando valores medios anuales entre 14 °C y 20 °C (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). Una característica principal para el área es la variabilidad en las condiciones del tiempo, presente en todos los meses del

año, debido a la alternancia permanente de masas de aire de diversa índole. Las variaciones en las temperaturas y especialmente en las precipitaciones, veranos húmedos e inviernos secos, se deben a la heterogeneidad que presenta la faja climática templada que se extiende desde el océano Pacífico al océano Atlántico. Una de las principales características es la amplia oscilación térmica (16,6 °C) pese a la cercanía del mar. Los vientos son persistentes durante todo el año predominando las direcciones Noroeste, Norte y Oeste y sólo decrecen en intensidad en otoño. Durante el verano predomina el viento del Sureste pero sin alcanzar la magnitud de los anteriores.

La ciudad ha sufrido modificaciones en los últimos años vinculadas con la remodelación del área central, producto del desarrollo socio-económico-industrial. Por lo tanto, el objetivo del trabajo es comenzar el estudio de la relación de los grados-día calor y grados-día frío con el consumo eléctrico de la ciudad de Bahía Blanca, para elaborar futuros planes de manejo urbano.

## METODO DE TRABAJO

En el microcentro de la ciudad se desarrollan las principales actividades comerciales y se localizan los más importantes edificios públicos, Municipalidad, Tribunales y oficinas de su dependencia, Correo Argentino, Aduana, Bolsa de Comercio, numerosas entidades bancarias y sociales entre ellas el Club Argentino (el primero de su estilo en fundarse en la ciudad) y el Club Olimpo. El único espacio verde en este sector es la Plaza Rivadavia (Fig. 1).

Los grados-día es un método práctico para determinar la acumulación de calor sobre el curso de una estación climática y estimar la cantidad de energía requerida para mantener confortable los niveles de temperatura interiores. Originalmente designada para evaluar la demanda y el consumo de energía, los grados-día están basados en la distancia

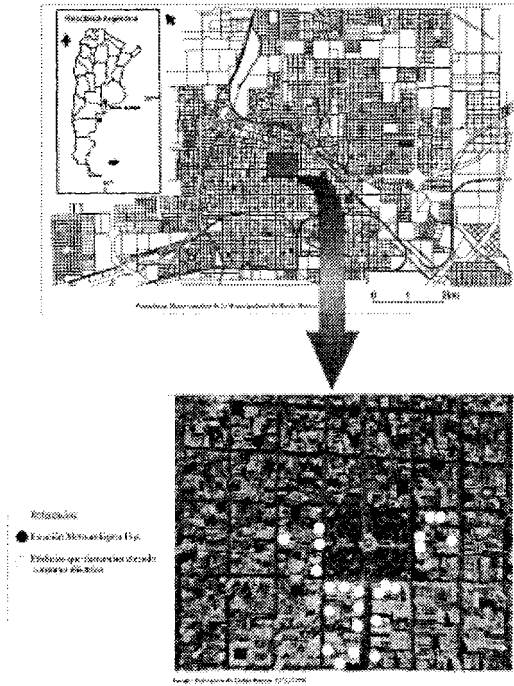


Figura 1. Área de estudio.

que existe entre el promedio de temperatura del aire y la temperatura base la cual varía dependiendo de la localización de las diferentes ciudades (NOAA, 2006; Weather, 2000).

El **Grado Día Refrigeración (GDR)** se define como la diferencia entre la Temperatura ( $T$ ) y la Temperatura Base ( $T_b$ ) y el **Grado Día Calefacción (GDC)** como la diferencia entre  $T_b$  y  $T$ . Si  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) es menor que  $T_b$ ,  $\text{GDR} = 0$ . Si  $T$  es mayor que  $T_b$ ,  $\text{GDC} = 0$ .  $T_b$  es la menor temperatura donde el resultado de los procesos metabólicos dentro de una sustancia limpia aumenta la biomasa (Sitte *et al.*, 1999). Para calcular los GDC y GDR se utilizó como temperatura base los  $18^{\circ}\text{C}$ . Cada grado-día que el día considerado se encuentre por debajo ó sobre los  $18^{\circ}\text{C}$  es contado como un grado-día calor o frío respectivamente. Por ejemplo, si el promedio de temperatura diaria es  $15^{\circ}\text{C}$ , GDC es igual a 3; si la temperatura promedio es  $22^{\circ}\text{C}$ , GDR es igual a 4. La temperatura del aire se midió, durante los meses de febrero y julio de 2005, mediante una estación

meteorológica automática localizada en el microcentro de la ciudad. Se obtuvieron los GDC y GDR en forma diaria, semanal y mensual, en ellos los resultados no son promediados sino acumulados. Se utilizaron técnicas estadísticas estándar.

La información del consumo de electricidad fue brindada por la empresa distribuidora de energía eléctrica a la ciudad, Empresa Distribuidora de Energía Sur, Sociedad Anónima (E.D.E.S. S.A.). Los datos corresponden a alimentadores seleccionados en función de la representatividad del consumo eléctrico en el sector de estudio. Se eligió el mes de febrero (año 2005) como representativo del verano, dado que en el mes de enero se encuentran en receso estival los establecimientos públicos (municipal, provincial y nacional) y comerciales, disminuyendo notoriamente el consumo energético de la ciudad. Para la estación invernal se trabajó con los datos correspondientes al mes de julio (2005).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 1) Temperatura y consumo eléctrico

Del análisis de la relación existente entre la temperatura y el consumo eléctrico surge que, para el mes de febrero (Fig. 2) el consumo de energía eléctrica es mayormente constante durante los días hábiles (lunes a viernes) independientemente de la variación térmica. Hacia el fin de semana (sábado y domingo), en general, el consumo decrece notablemente y en forma paulatina a pesar de la elevada temperatura, alcanzando el piso el día domingo y repuntando abruptamente el día lunes. Esta situación, se relaciona con el consumo que genera el propio desarrollo de las actividades que se llevan a cabo en el microcentro de la ciudad en días laborales. Por otro lado el decrecimiento del uso energético los fines de semana se debería a que gran parte de la comunidad bahiense se traslada a los lugares turísticos cercanos. Por lo tanto, en verano no existe ninguna relación entre el

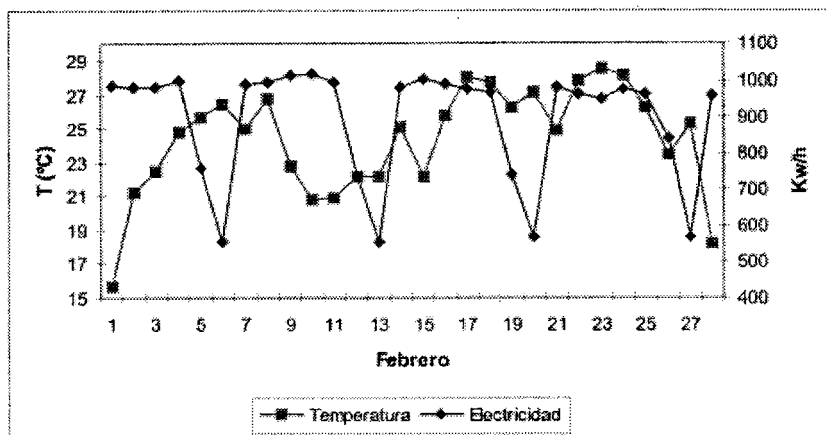


Figura 2. Temperatura y consumo eléctrico, febrero 2005.

consumo eléctrico diario y la temperatura media diaria. Se concluye entonces que el consumo eléctrico está sólo relacionado a las actividades comerciales e industriales de la ciudad en esta estación del año.

En el invierno el consumo de energía disminuye. En febrero se observaron máximas de 1000 kw/h mientras que en julio las máximas alcanzan los 730 kw/h. Este dato permite inferir claramente que la mayor demanda está destinada en forma exclusiva a refrigerar los ambientes. En el mes de julio (Fig. 3), tal como sucede en febrero, la curva de consumo eléctrico disminuye durante los días de fin de semana. Como ya se mencionó,

esta situación está relacionada con las actividades comerciales, industriales, etc que se llevan a cabo en el área céntrica.

## 2) Grados-Día Calefacción y Grados-Día Refrigeración

Para el mes de febrero se calcularon los GDR (Tabla 1). Durante todos los días del mes y debido a que la temperatura promedio superó la temperatura base fue posible calcular los GDR. Ésto no ocurrió en el día 1 donde la temperatura promedio del aire fue de 16,5 °C, por lo que se necesitaron 1,5 GDC para alcanzar la temperatura ideal de 18 °C. El total acumulado para la semana se redujo por tal

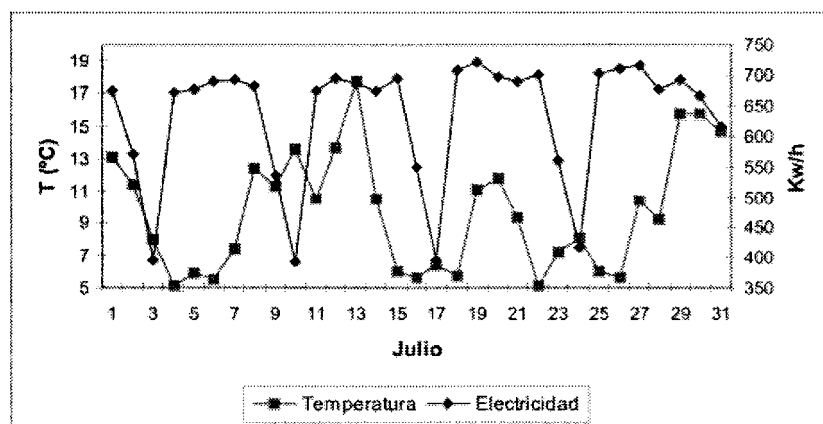


Figura 3. Temperatura y consumo eléctrico, julio 2005.



**Tabla 1.** Cálculo de los grados-día refrigeración y consumo de energía eléctrica, febrero 2005.

Días	Tmedia (°C)	GRADOS-DÍA REFRIGERACIÓN			Energía (Kw/h)
		Diario	Semanal	Mensual	
1	16,5	1,5			984,5
2	21,7	3,7			982
3	22,9	4,9			983,1
4	25,3	7,3			1001,8
5	25,9	7,9	22,2		757,8
6-domingo	26,8	8,8			554,1
7	25,4	7,4			991,6
8	27,5	9,5			994,6
9	23,5	5,5			1013,9
10	20,9	2,9			1019,1
11	21	3			997,7
12	22,2	4,2	41,1		735,2
13-domingo	22,3	4,3			555,8
14	25,1	7,1			983,5
15	22,3	4,3			1004,4
16	25,8	7,8			990,8
17	28,1	10,1			979
18	27,8	9,8			969,6
19	26,3	8,3	51,6		741,9
20-domingo	27,2	9,2			568,2
21	24,9	6,9			983,9
22	27,9	9,9			965,8
23	28,6	10,6			949,4
24	28,2	10,2			977,3
25	26,3	8,3			962,7
26	23,5	5,5	60,4		839
27-domingo	25,3	7,3			566,3
28	18,3	0,3	7,6	182,9	957,6

motivo en 1,5. El promedio diario para este período fue 6,6 GDR. Los valores acumulados durante las semanas variaron de una a otra mostrando un paulatino incremento hacia fin de mes coincidiendo con un ascenso del registro de la temperatura media diaria. La escasa relación entre los GDR y el consumo de energía eléctrica diarios se presenta en el Figura 4. El consumo eléctrico en este mes se debe a la refrigeración utilizada con el fin de

paliar los efectos de la temperatura y lograr en los interiores una sensación de confort.

Para el mes de julio se calcularon los GDC (Tabla 2). No se registraron temperaturas medias muy bajas, sin embargo se observaron algunos períodos más fríos en tres oportunidades en el mes. El promedio diario fue 8,3 GDC, el valor acumulado en cada una de las semanas fue muy variable debido a las fluctuaciones de los registros térmicos.

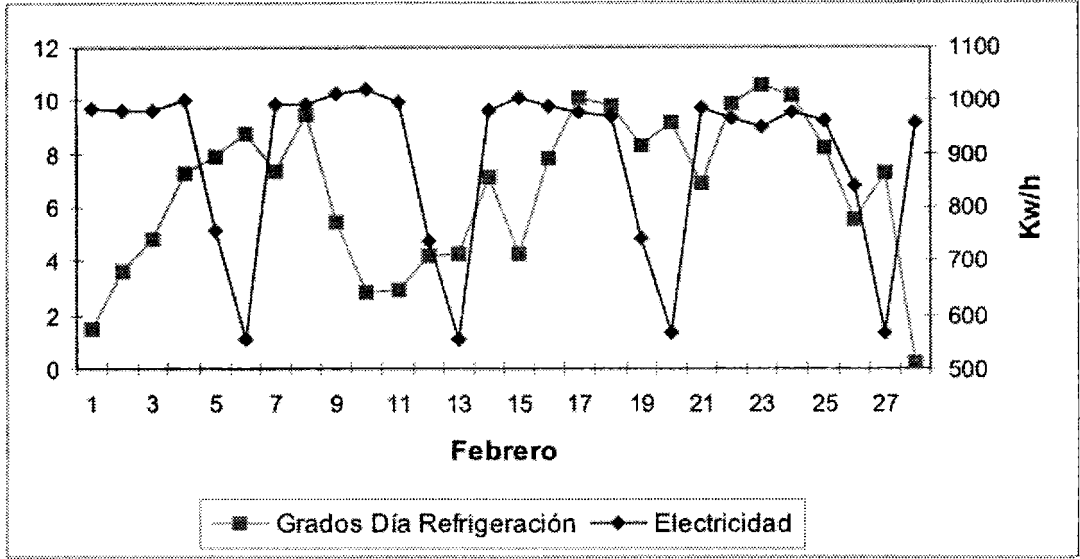


Figura 4. Grados-Día Refrigeración y electricidad, febrero 2005.

El análisis no permite inferir que el mayor consumo esté destinado en forma exclusiva a refrigerar los ambientes en el caso del mes de febrero, como teóricamente se suponía, tampoco para calefaccionar los mismos en el invierno, ya que en este mes la demanda eléctrica se mantiene casi constante y no presenta alteraciones asociadas a la variabilidad térmica

y por lo tanto tampoco a los GDC (Fig. 5). Ni siquiera, el consumo eléctrico sufre importantes cambios si se considera el gasto de energía que se debe adicionar durante los meses de invierno, principalmente por iluminación, dada la disminución de las horas de sol, beneficio que se tiene durante los meses de verano.

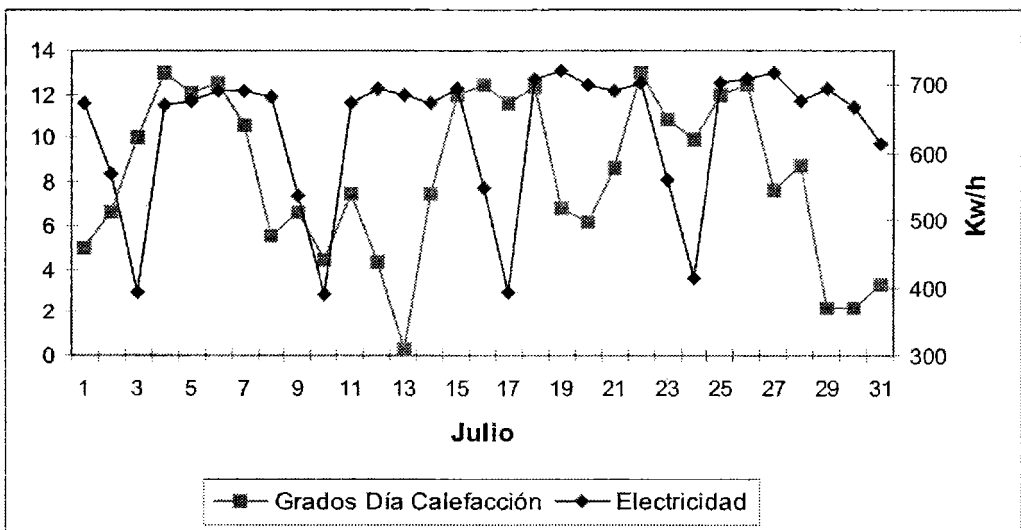


Figura 5. Grados-Día Calefacción y electricidad, julio 2005.

Tabla 2. Cálculo de los grados-día calefacción y consumo de energía eléctrica, julio 2005.

Días	Tmedia (°C)	GRADOS-DIA CALEFACCION			Energía (Kw/h)
		Diario	Semanal	Mensual	
1	13,1	5			673,5
2	11,4	6,6	11,6		570,8
3-domingo	8	10			394,3
4	5,1	13			669,9
5	5,9	12,1			676,9
6	5,5	12,5			690,6
7	7,4	10,6			692,1
8	12,5	5,6			680,6
9	11,4	6,7	70,4		535,6
10-domingo	13,6	4,5			391,6
11	10,6	7,5			673,4
12	13,7	4,3			695
13	17,8	0,3			685,7
14	10,6	7,5			672,8
15	6	12			694,5
16	5,6	12,4	48,3		549,7
17-domingo	6,4	11,7			395,2
18	5,7	12,3			708,8
19	11,2	6,9			721
20	11,9	6,2			698,2
21	9,3	8,7			689,7
22	5,1	13			701,2
23	7,2	10,9	69,5		559,8
24-domingo	8,1	10			415,2
25	6	12			701,4
26	5,6	12,5			709,4
27	10,4	7,6			716,5
28	9,3	8,8			677
29	15,8	2,2			692,6
30	15,8	2,2	55,2		666,4
31-domingo	14,7	3,3	3,3	258,1	614,7

## CONCLUSIONES

En el microcentro de Bahía Blanca, los valores que adquirieron los GDC son mayores a los GDR. En verano y en el centro de la ciudad se produce lo que se conoce como “isla fría urbana” lo cual justifica los menores valores

de GDR (Capelli de Steffens 2000, Capelli de Steffens *et al.*, 2005). En invierno, no se registraron elevados consumos de energía que pudieran relacionarse con el uso de aparatos para calefaccionar los ambientes. Esto se explica dado que la principal fuente calórica en Argentina es el gas natural. En el mes

estival fue posible asociar determinados consumos eléctricos a refrigerar espacios interiores con el uso de aires acondicionados y ventiladores eléctricos. Sin embargo y para ambos meses, la principal causa del elevado consumo de energía de lunes a viernes, es el desarrollo de las actividades propias del sector. En los fines de semana las actividades disminuyen y por lo tanto decrece el consumo eléctrico. De esta forma queda demostrado que para el microcentro de Bahía Blanca la variación diaria de temperatura no influye en el consumo de electricidad.

Si se compara el consumo eléctrico entre ambos meses de estudio, se observa que en febrero presentó un promedio diario de 893,2 kw/h y en julio de 632,7 kw/h. Esto indicaría que existe una posible relación de mayor temperatura mayor consumo de energía. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Climent *et al.* (2003). Los resultados presentados son preliminares, pero dan las bases para futuros análisis con series de tiempo más extensas, donde se consideren las temperaturas mensuales.

**Agradecimientos:** Al Ing. Carlos Aparicio, Jefe de Operaciones de la Empresa Distribuidora de Energía Sur, Sociedad Anónima (E.D.E.S. S.A.) por los datos brindados y el tiempo dispensado para explicaciones sobre el funcionamiento y distribución de la energía eléctrica en la ciudad. A Fabián Pezzutti, abogado de la Empresa Distribuidora de Energía Sur Sociedad Anónima (E.D.E.S. S.A.) por realizar el contacto con la empresa.

## REFERENCIAS

- Akbari, H. and S. Konopacki. 2000. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. Heat Island Group Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, U.S.A. Elsevier Science. Energy Policy 33 (2005), 721-756.
- Aparicio, C. 2005. Ingeniero de E.D.E.S. S.A. (Empresa Distribuidora de Energía Sur, Sociedad Anónima). Delegación Bahía Blanca.
- Bonsal, B.R., X. Zhang, L.A. Vincent. and W. D. Hogg. 2001. Characteristics of Daily and Extreme Temperatures over Canada. Journal of Climate. 14, 1959-1976.
- Campo de Ferreras, A.M., A.M. Capelli de Steffens y PG. Diez. 2004. El clima del Suroeste bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 99 pp.
- Capelli de Steffens, A., 2000. La salud en relación con el tiempo y el clima. Actas de las Terceras Jornadas de Geografía Física. Santa Fe, 65-69.
- Capelli de Steffens, A, M.C. Piccolo, y A. Campo de Ferreras. 2005. Clima urbano de Bahía Blanca. Buenos Aires: Dunken, 200 pp.
- Cartalis, C., A. Synodinou, M. Proedrou, A. Tsangrassoulis and M. Santamouris. 2000. Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region. Department of Applied Physics, University of Athens, Panepistimiopolis, Athens. Elsevier Science. Energy Conversion and Management 42 (2001), 1646-1656.
- Czajkowski, Jorge D., 2000. Desarrollo de un modelo de ahorro de energía en edificios de vivienda y determinación de valores límite de calidad térmica para la República Argentina. Revista Avances en Energías Renovables y Ambiente. 4, 2, 01.39-01.42.
- Czajkowski, Jorge D. and Elías Rosenfeld. 1992. Regionalización bioclimática de la provincia de Buenos Aires. Actas de la 15a Reunión de Trabajo de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar). San Fernando del Valle de Catamarca.
- Climent Diranzo, F.J., E. Valor Micó, E.; H. Torró Enguiz y V. Caselles Miralles. 2003. Incidencia de la climatología en el consumo de gas y electricidad en España. I.C.E. (Infraestructuras: Transportes e Industrias de Red), N808. 55-70.
- Filippín, C., 1999. Análisis energético de una tipología edilicia escolar en localizaciones

- geográficas diferentes en la provincia de La Pampa, Análisis de su consumo energético. XXII Reunión de Trabajo de ASADES.
- Filippín, C., A. Bescochea y J. Gorozurreta. 2001. Comportamiento higrotérmico y energético de la escuela bioclimática de Catriló en la provincia de La Pampa. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 5. Reunión de Trabajo de ASADES.
- Filippín, C. y L. Marek. 2004. Monitoreo higrotérmico, energético y socio ambiental de una escuela solar en la provincia de La Pampa. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 8. Reunión de Trabajo de ASADES.
- Hansen, J., M. Sato, J. Glascoe and R. Ruedy. 1998. A common-sense climate index: Is climate changing noticeably, Vol. 95, Issue 8, 4113-4120. National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies, Broadway, New York.
- Sailor, D.J., 2000. Relating residential and commercial sector electricity loads to climate - evaluating state level sensitivities and vulnerabilities. Department of Mechanical Engineering, New Orleans, USA. Elsevier Science. Energy 26 (2001), 645-657.
- Sailor, D.J. and C. Vasireddy. 2004. Correcting aggregate energy consumption data to account for variability in local weather. Portland, USA. Elsevier Science. Environmental Modelling & Software (2005).
- Sitte, P., H. Ziegler, F. Ehrendorfer and A. Bresinsky. 1999. Lehrbuch der Botanik, 34. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1007 pp.
- Thom, H.C.S. 1953. The rational relationship between heating degree days and temperature. Monthly Weather Review, 82, 1, 1-6.
- NOAA, 2006. [www.cpc.ncep.noaa.gov](http://www.cpc.ncep.noaa.gov)
- Weather, 2000. [www.weather2000.com](http://www.weather2000.com)



## ANCESTRAL STRUCTURE OF THE NEUQUEN BASIN, EVIDENCED BY A DEEP SEISMIC STUDY

*Alberto H. Comínguez<sup>1</sup> and Juan R. Franzese<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>CONICET-Departamento de Geofísica Aplicada, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 1900, Argentina. [ahcominguez@yahoo.com](mailto:ahcominguez@yahoo.com)

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata - CONICET, Calle 1 N° 644, La Plata, 1900, Argentina. [franzese@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:franzese@cig.museo.unlp.edu.ar)

### ABSTRACT

A singular mathematical reprocessing of old seismic lines recorded by the industry, let to illuminate the crustal structure down to about 33 km depth. An iterative depth-migration methodology guaranteed the consistency of a final model of the Crust. Important inversion events were recognized by seismic stratigraphic analysis of the basin, and dated as Pliensbachian - Toarcian, and Bathonian - Callovian. Deep seismic reflectors were interpreted as the top of the lower Crust, and two important faults which controlled the rift basin geometry during its evolution. Rift basin geometry would be driven by deep ancestral discontinuities, associated with the late Triassic - early Jurassic opening of the Neuquén Basin. In such sense, a first-order crustal-reflection attribute (about 20-33 km depth, and with east polarity) was located beneath Las Cárceles region (western foothills of Sierra de Los Chihuidos). It could be the evidence of a thermal-mechanical (extensional) collapse of an early orogen located on the Proto-Pacific continental margin of Gondwana.

**Keywords:** Deep seismic reprocessing-crustal-reflection attributes-Neuquén Basin

### RESUMEN

Un original reprocesamiento matemático de viejas líneas sísmicas registradas por la industria, permitió iluminar la estructura cortical hasta una profundidad aproximada de 33 km. Un método iterativo de migración en profundidad garantizó la consistencia del modelo definitivo de la corteza. Importantes eventos tectónicos de inversión fueron reconocidos mediante el análisis sísmico-estratigráfico de la cuenca, siendo datados como Pliensbachiano - Toarciario y Bathoniano - Calloviano. Reflectores sísmicos profundos fueron interpretados como el techo de la Corteza inferior, y dos importantes fallas que controlaron la geometría de la cuenca de rift durante su evolución. Un orógeno ancestral, manifestado actualmente por discontinuidades profundas, habría dado origen al ulterior sistema extensivo asociado con la apertura Triásica - Jurásica temprana de la Cuenca Neuquina. En tal sentido un atributo de reflexión de primer orden (detectado entre 30-33 km de profundidad, y con polaridad este) fue localizado debajo de la región de Las Cárceles (en el piedemonte oeste de la Sierra de Los Chihuidos). El mencionado rasgo sería la evidencia de un colapso extensional térmico-mecánico de un orógeno temprano emplazado en el margen continental Proto-Pacífico de Gondwana.

**Palabras Claves:** Reprocesamiento sísmico profundo- atributos reflectores corticales-Cuenca Neuquina

### INTRODUCTION

About 220 million years ago, part of the Proto-Pacific margin of Gondwana suffered a strong process of continental extension

(Mpodozi and Ramos, 1989; Franzese and Spalletti, 2001). This tectonic event was induced by the thermal-mechanical collapse of a Late Paleozoic orogenic belt, giving place to a marginal active basin (Neuquén basin)

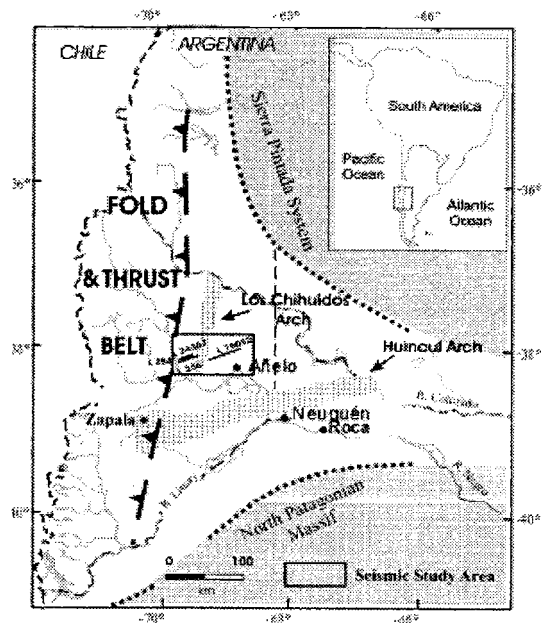
during the whole Mesozoic, between the current 30° - 40° S. The Neuquén Basin is an ensialic extensional basin modified by subsequent growth of the Andean magmatic arc. Its complex post-rift stage comprise multiple episodes of Mesozoic and Cenozoic inversion, and the development of the Andean fold and thrust belt and Late Tertiary foreland basin (Vergani *et al.*, 1995).

Sin-extensional processes led to the creation and evolution of several isolated troughs with NNW-SSE and ENE-WSW orientations (Vergani *et al.*, 1995; Legarreta and Uliana, 1996; Franzese and Spalletti, 2001). The sin-rift infill (Pre-Cuyo Group) consists of coarse-grained continental sediments, volcanics, and volcanoclastic materials. The transition to an initial post-rift stage (Cuyo Group) is marked by the widespread development of marine paleoenvironments during the Lower Jurassic (Vergani *et al.*, 1995). However, the distribution and thickness of the early sequences of the Cuyo Group locally match up with the Pre-Cuyo depocentres, signifying that extensional faulting was an important control of sedimentation during the Early Jurassic at least in some areas of the basin (Vergani *et al.*, 1995).

During the post-rift, the existence of localized tectonic-inversion episodes controlled the evolution of the basin (Vergani *et al.*, 1995). Restructuration events are very evident in the Huincul dorsal area (Fig. 1), where they contributed to the generation of significant hydrocarbon fields. Early interpretations imply that the Huincul arch would have been the product of post-Jurassic strike-slip movements along a transcurrent Fault system (Ploszkiewicz *et al.*, 1984), although more recent interpretations agree that they was generated trough inversion of the initial halfgrabens in a NNW - SSE compressive stress field during the Middle Jurassic (Vergani *et al.*, 1995; Veiga *et al.*, 1997).

Evidence of older local inversions involving some areas of the Huincul Arch during the early Jurassic was addressed by Pángaro *et al.* (2002), and specifically during the Toarcian by Vergani (2003). Other events of tectonic re-structuration were observed by Pángaro and Bruveris (1999), who described normal fault systems produced by transtensive deformation, and controlling the contemporaneous sedimentation in central-sectors of the basin during the late Jurassic-early Cretaceous.

The inversion produced by the Andean tectonic shortening is to much complex. Evidence of backarc tectonics such as thrusts belts and foreland basins could have been so old as Late Cretaceous (Diraison *et al.*, 2000). During the Tertiary (and strongly in the Pliocene) compressive tectonics gave place to a fold and thrust belt that reconfigured the whole occidental sector of the basin. Even during this tectonic phase, the influence of old structural alignments of the initial basin is



**Figure 1.** Tectonic sketch of the Neuquén Basin. Seismic lines are enclosed by a rectangle which identifies the study area at the central place of the Basin.



present in the deformation style (Zapata *et al.*, 1999).

While the geometry and evolution of tectonic inversion is considerably known in the oil productive areas of the Huincul arch, studies along Los Chihuidos Arch (the other inverted arch of the basin) are less abundant. This structure is a N-S structure (Fig. 1), described as a tertiary large wavelength fold super-imposed over a pre-cretaceous structural high (Ramos, 1978). Deep-seismic mathematical reprocessing across Los Chihuidos Arch allowed us to describe evidence of the main deep structure of the Neuquén basin for the first time as well as to give much insight on the inversion structures that controlled the basic stratigraphic pattern of this huge depocenter.

## SEISMIC PROCESSING AND RESULTS

Deep seismic sections were obtained by mathematical reprocessing of conventional vibroseis data recorded in the central sector of the Neuquen Basin. The lines involved linear upsweeps with frequency band of 12-65 Hz and time-length of 8 sec. The field records were characterized by time-lengths of 13 sec and a sampling period of 4 msec .

The Self-Truncating Extended Correlation algorithm (Okaya and Jarchow, 1989) was used to compute cross-correlation between the sweep and the records. The original frequency-band of 12-65 Hz was preserved for the first 5 sec of trace. However, this band was affected by an upper-frequency decreasing from 5 sec on, at a predicted linear-rate of 6.625 Hz/sec. Hence, correlated deep-records with a time-length of 11 sec and a final trace-band of 12-25 Hz were calculated.

$\Omega$ -X Depth-Migration was implemented on the extended traces (Yilmaz, 2001). Consequently, progressive models of Crust velocity were iteratively matched with their resulting

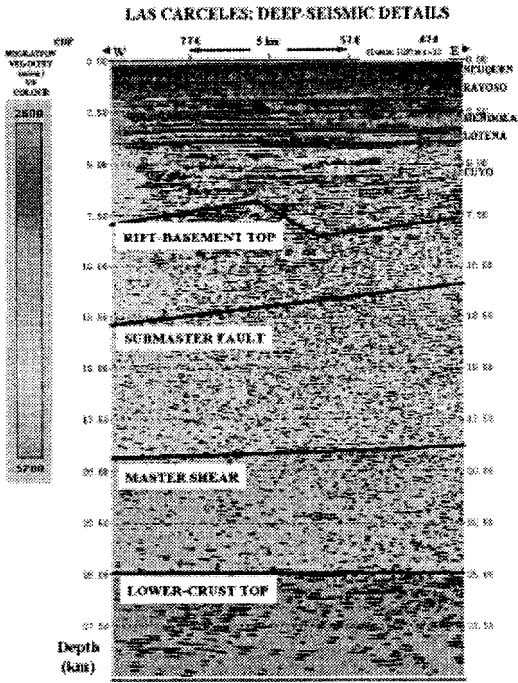
migrated sections. The iterative process was considered concluded when it was observed acceptable coincidence between the model and its resultant depth-migrated profile.

The basin stratigraphy in the area consists of a continental sequence of initial synrift (Pre-cuyano) deposited on halfgrabens, followed by strong cycles of marine and continental postrift units (Cuyo, Lotena, and Mendoza groups). In addition, continental sedimentites are present covering the before sequences (Rayoso and Neuquén groups).

The initial structuration is considered of Superior Triassic-Liasic age. While, the postrift phase would have extended until Early Cretaceous.

The analysis in the area of Las Cárceles (Fig. 2) reveals the following: (1) The lower-crust top is placed at about 23-24 km; (2) An oblique reflector horizon between 16 and 18 km depth, is considered as a master shear that controlled the extensional system; (3) A submaster fault, between 8.5 and 12 km depth, is partially recognized in seismic sections; (4) The top of the rift basemen is characterized by irregular depths that, from W to E, fluctuates in a series of steps from 9 to 5 km; (5) Evident features of tectonic inversion, including synrift as well as part of postrift sequences (i.e. Cuyo and maybe Lotena groups) are observed to the W of Los Chihuidos arch (this inversion episode was possibly initiated in the Bathonian-Callovian).

In Bajada de Añelo (Line 19052 in Fig. 1), the study demonstrated that: (1) The top of the pre-liasic basemen is located at about 5 km depth, showing a smooth topographic relief; (2) In the central-western sector are detected features of bipolar inversion (this inversion episode dated Pliensbachian-Toarcian is previous to the Bathonian-Callovian inversion, and is not reported in previous papers); (3) The middle level of the Cuyo group is characterized by oblique reflections related with a strong sedimentary progradation toward the west.



**Figure 2.** Depth-migrated window of Seismic Line 254, evidencing seismic-stratigraphic sequences of the Basin and local details of the Crust.

## INTEGRATED DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Seismic-tracings comprising both the eastern and western sectors of Sierra de los Chihuidos, showed the deep structure of the Neuquén basin. Deep reprocessing of historical industrial seismic-lines supplied interpretive information down to approx. 30 km. Thus, seismic data reprocessed with “self-truncating extended correlation” (Okaya and Jarchow, 1989) confirmed an economic way of acquiring deep-seismic information where Vibroseis records are available. In addition, the FMED algorithm (Sacchi *et al.*, 1996) was an appreciated mathematical tool for recognizing the different synrift and sag sequences.

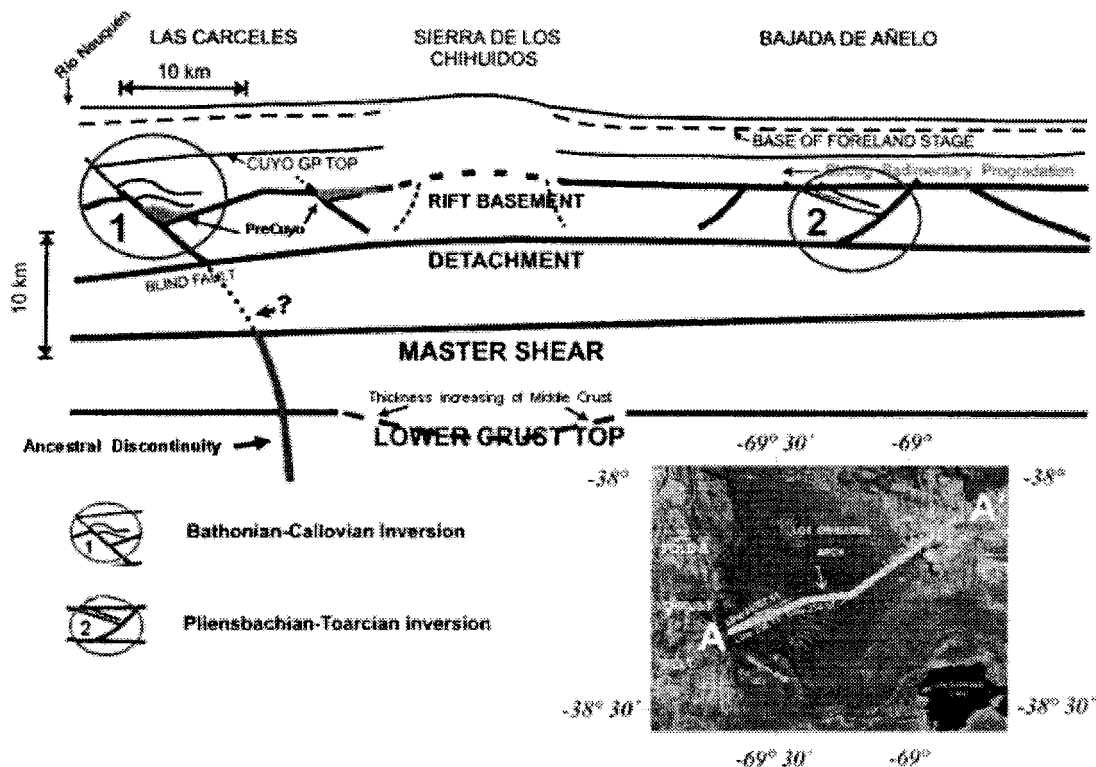
Promissory results synthesized in Figure 3 reveal that: (1) An acoustic contrast at about

24 km depth, must be the top of the lower Crust; (2) An oblique reflector between 16 and 18 km depth, must be assumed as the local image of the master shear that controlled the extension system during the Late Triassic-Early Jurassic period; (3) A sub-master fault dipping about 8° W, surely have been controlling the evolution of ‘Las Cárceles’ area; (4) An important inversion event initiated during the Bathonian-Callovian, sensibly affected the western sector of the ‘dorso de los Chihuidos’; (5) Pliensbachian-Toarcian inversion developed during the transition to the Cuyo Group (related with attractive small-traps in a marine environment), has not been evidenced in the area by other studies, although Pángaro *et al.* (2002) and Vergani (2003) reported it in the Huincul Arch region; (6) In the western sector, a middle Jurassic postrift episode is characterized by a deltaic depositional system prograding to the west with accentuate high energy; (7) Deep discontinuity emphasized in Figure 3 must be closely related with an ancestral orogen, previous to the rift basin; (8) Bulk extension of an ancestral thickened crust can be only justified if a relative free boundary is adjacent to the orogenic domain (Rey *et al.*, 2001; Schellart and Lister, 2004), in such case the idea of rollback of the western subducting slab, would emerge as the most credible hypothesis.

## REFERENCES

- Diraison, M., P.R. Cobbold, D. Gapais, E.A. Rossello, and C. Le Corre. 2000. Cenozoic crustal thickening, wrenching and rifting in the foot hills of the Southernmost Andes. *Tectonophysics*, 316, 91-119.
- Franzese, J.R. and L.A. Spalletti. 2001. Late Triassic - early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 257-270.
- Legarreta, L. and M.A. Uliana. 1996. The Jurassic succession in west-central argentina: stratal pattern, sequences and paleogeographic evo-

## CRUSTAL SKETCH THROUGH LOS CHIHUIDOS ARCH (Cross-Section A-A')



**Figure 3.** Depth-Migrated Seismic Profiles corresponding to the lines placed in Figure 1 were integrated along the Transect A-A'. The Crustal Sketch emphasizes important tectonic events recognized in this step of the project.

lution. *Palaeogeography, palaeoclimatology & palaeoecology*, 120, 303-330.

Mpodozis, C. and V.A. Ramos. 1989. The Andes of Chile and Argentina. In G. E. Ericksen, M. T. Cañas Pinochet, and J. A. Reinemund (Eds), *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series*, 11, 59-90.

Okaya, D.A. and C.M. Jarchow. 1989. Extraction of deep crustal reflections from shallow Vibroseis data using extended correlation. *Geophysics*, 54, 552-562.

Pángaro, F. y P. Bruveris. 1999. Reactivación tectónica multipisódica de sistemas extensionales, Cuenca Neuquina, Argentina. XIV

Congreso Geológico Argentino, Salta. *Actas I*: 231-234.

Pángaro, F., R. Corbera, O. Carbone, y G. Hinterwimer. 2002. Reservoirs Precuyanos. *Actas V Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Mar del Plata, Argentina, Electronic Files.

Ploszkiewicz, J.V., I.A. Orchueta, J.C. Vaillard, and R.F. Viñes. 1984. Compresión y desplazamiento lateral en la zona de falla de Huíncul, estructuras asociadas, provincia del Neuquén. *Noveno Congreso Geológico Argentino*, San Carlos de Bariloche, 2, 163-169.

Ramos, V.A.. 1978. Estructura. In *VII Congreso Geológico Argentino*, Relatorio, Geología y re-

- cursos naturales del Neuquén, 99-118. Buenos Aires, Argentina.
- Rey, P., O. Vanderhaeghe, and C. Teyssier. 2001. Gravitational Collapse of Continental Lithosphere: Definition, Regimes and Modes. *Tectonophysics*, 342, 435-444.
- Sacchi, M.D., D.R. Velis, and A.H. Comínguez. 1996. Minimum entropy deconvolution with frequency-domain constraints. In: E.A. Robinson and O.M. Osman (Eds). *Deconvolution II. Society of Exploration Geophysicists*, Tulsa, USA. 278-285.
- Schellart, W.P. and G.S. Lister. 2004. Tectonic models for the formation of arc-shaped convergent zones and backarc basins. In A.J. Sussman and A.B. Weil (Eds). *Orogenic Curvature: Integrating Paleomagnetic and Structural Analyses. Geological Society of America Special Paper 383*, 237-258.
- Veiga, R., M.E. Lara, P. Bruveris, A. Votero y E. Tomasi. 1997. Análisis sísmo-estratigráfico de depósitos de pos-trift en el sector nororiental de la Cuenca Neuquina, Argentina. Primer Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Porlamar, Venezuela. *Memorias*, Tomo 1, 323-331.
- Vergani, G.D., A.J. Tankard, H.J. Belotti, and H.J. Welsink. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. In: A.J. Tankard, R.S. Suárez and H.J. Welsink (Eds). *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62*, 383-402.
- Vergani, G.D. 2003. Control estructural de la sedimentación jurásica (Grupo Cuyo) en la Dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina. Modelado de falla lítrica, invertida. Unpublished Repsol-YPF paper.
- Yilmaz, Ö. 2001. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Stephen M. Doherty (Ed). Series: *Investigations in Geophysics*. M. R. Cooper (Series ed.). Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, USA. 530-552.
- Zapata, T., Brissón, I., and Dzedalija F. 1999. The structures of the Andean fold and thrust belt in relation to basement control in the Neuquén Basin. *Boletín de Informaciones Petroleras (BIP)*, Año XVI, 60, 112-121.

## APLICACION DEL INDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACION A LA LAGUNA UNAMUNO

V.Y. Bohn<sup>1</sup>, M.C. Piccolo<sup>1,2</sup> y G.M.E. Perillo<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Instituto Argentino de Oceanografía. Departamento de Geografía y Turismo, UNS.  
vbohn@criba.edu.ar, piccolo@criba.edu.ar

<sup>3</sup> Instituto Argentino de Oceanografía. Departamento de Geología, UNS. perillo@criba.edu.ar

### RESUMEN

Se analizaron las anomalías de la precipitación en escalas temporales múltiples y su relación con la situación hídrica de la laguna Unamuno, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Para ello se utilizaron series pluviométricas mensuales de localidades de la región. La información superó los 30 años de registro evaluándose el período 1970 - 2005. Se aplicó el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP) en relación con la laguna.

Las variaciones espaciales de la laguna Unamuno fueron estudiadas mediante análisis digital de imágenes satelitales. El IEP con escala temporal de 24 meses se aplicó a los registros pluviométricos de una localidad representativa de la región. Tras ello, se caracterizó como períodos moderadamente húmedos, a los últimos años de la década del '80. Se encontró una alternancia de años moderadamente secos y moderadamente húmedos hasta el final del período analizado.

El régimen pluviométrico tiene gran incidencia en las variaciones espaciales de la laguna Unamuno, por cuanto no existieron otras variables ambientales y/o antropogénicas que incidan en el aumento/descenso de su extensión.

**Palabras clave:** precipitación-Índice Estandarizado de Precipitación (IEP)-laguna-Buenos Aires.

### ABSTRACT

The temporal and multiples scales of the precipitation anomalies and its relation with the Unamuno lagoon hydric condition were analyzed in detail. The lagoon is located in the SE of the Buenos Aires province. Rainfall monthly series were utilized. The period 1970 - 2005 were studied. The Standard Precipitation Index (SPI) was applied to the study region.

The spatial variations of the Unamuno pond, were studied by means of satellite image analysis. The SPI with temporal scale of 24 months was applied to pluviometrical data from a station of the study area. The last years of the '80 were characterized as moderately humid period. An alternance between moderately dry and humid was found until the end of the analyzed period.

The spatial changes of the Unamuno pond were originated by the pluviometrical regime because there are not other environmental or anthropogenic variables affecting the increase/reduction of its extension.

**Keywords:** precipitation-Standard Precipitation Index (SPI)-pond-Buenos Aires.

### INTRODUCCION

Las llanuras son un escenario de suma fragilidad ante eventos hidrológicos extremos, de déficit o excedentes hídricos. En este último caso, la incapacidad del relieve de evacuar volúmenes importantes de agua junto a otros factores, conduce a la ocurrencia de vastos y

persistentes anegamientos. Como consecuencia de la escasa pendiente de las áreas llanas, un desnivel de un metro significa una barrera infranqueable desde el punto de vista hidrológico, que altera el escurrimiento natural de las aguas (Montico, 2004). En las llanuras argentinas, el relieve escasamente ondulado y la cantidad e intensidad de las lluvias son

los principales responsables de las frecuentes inundaciones y anegamientos de variable magnitud a la que está sujeta la región (Vásquez *et al.*, 2003).

Una característica del territorio bonaerense es que más del 90 % de su superficie corresponde a ambientes llanos, lo cual le imprime una condición hidrológica particular como es el predominio de los movimientos verticales del agua (evapotranspiración - infiltración) sobre los horizontales (escurrimientos) (Kruse y Laurencena, 2005). La región semiárida pampeana está caracterizada por un clima sub-húmedo y semiárido. Ello significa que las precipitaciones tienen una variación interanual significativa. De un año a otro se puede pasar de un superávit de lluvias a una sequía. También las lluvias varían en cuanto a la estación del año en que se producen. Es justamente por esa variabilidad en las precipitaciones interanuales e intraanuales inherentes a la región que se desestabiliza la programación agrícola-ganadera a futuro, más aún ante una sequía prolongada (Scian, 2003).

Krepper y Scian (1994) analizaron series mensuales de precipitación de localidades de la región pampeana con registros de más de 80 años a partir de lo cual, detectaron una zona de tendencias positivas, especialmente a partir de la década del '50. Mediante la distribución Weibull triparamétrica definieron extremos de precipitación y determinaron zonas de probabilidad de ocurrencia de déficit y excesos. Finalmente, caracterizaron a los años climáticos en una serie temporal de porcentajes de áreas bajo condiciones extremas, destacándose un año de déficit para la región, 1910-1991 y años con excesos de precipitación, 1914-15, 1918-19, 1946-47 y 1968-69.

La laguna Unamuno (Fig. 1) está localizada en la faja zonal de los climas templados, en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Los valores medios anuales de temperatura del aire están comprendidos entre 14 °C y 20 °C y se observan estaciones

térmicas bien diferenciadas (veranos e inviernos rigurosos, primaveras y otoños intermedios). En estas áreas, en las que existe una alternancia permanente de masas de aire de distinta índole, la característica esencial es la variabilidad en las condiciones de tiempo, hecho que se pone de manifiesto en todas las estaciones del año. Las lluvias, no siempre suficientes en los sectores occidentales para el cultivo sin riego, otorgan un carácter subhúmedo a esta variedad de clima templado, denominado de transición. La mayor parte del área, cuenta con lluvias suficientes y un régimen de precipitación uniforme durante todo el año, con ligero estímulo en primavera y otoño (Campo *et al.*, 2004). Sin embargo en los últimos años, la zona ha sido afectada por variaciones climáticas que han modificado los balances hídricos de las distintas estaciones. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es analizar el régimen pluviométrico durante el período 1970 - 2005 y su relación con las variaciones areales de la laguna Unamuno.

### Métodos analíticos

La situación hidrológica de la laguna Unamuno, fue evaluada mediante el análisis de la carta topográfica Bahía Blanca (E: 1: 250 000, proyección Gauss Krüger, IGM) e imágenes satelitales en relación con datos meteorológicos. Estas últimas, pertenecieron a los satélites Landsat 5 y 7 ETM, nivel de procesamiento 4X y fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Para su procesamiento (análisis, clasificación no supervisada e interpretación temática, corrección geométrica) se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ILWIS 3.1 y Arc View 3.2.

El Índice Estándar de Precipitación (IEP) fue diseñado para mejorar la detección de la sequía y para la monitorización de la misma. El IEP se basa solamente en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período dado. Una característica clave del IEP es la

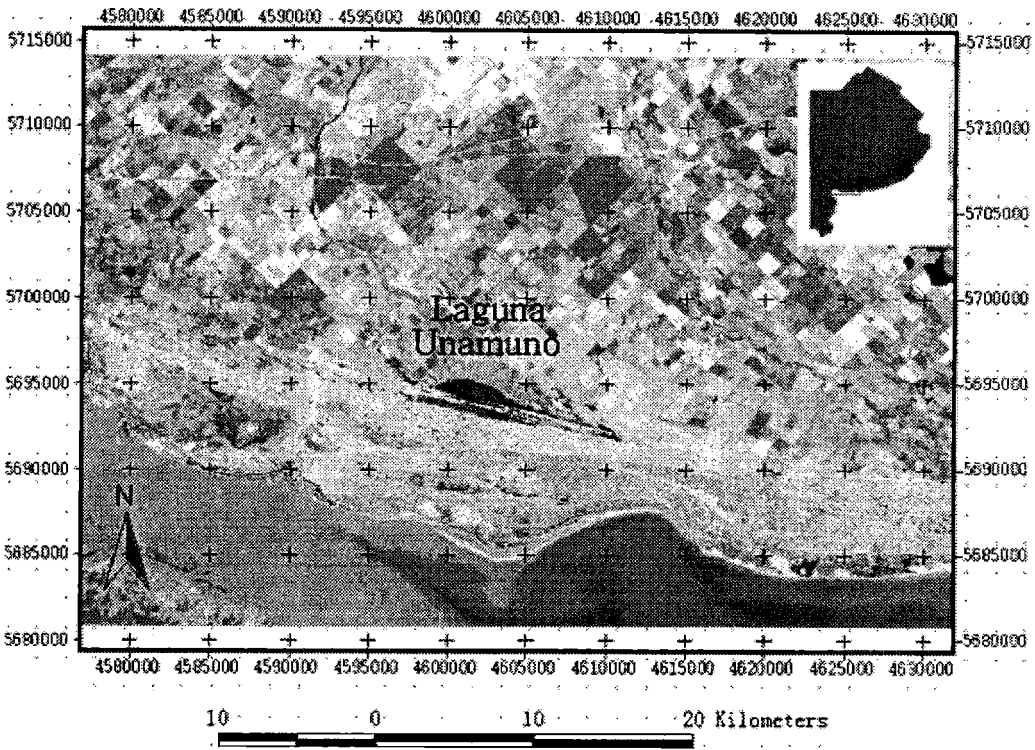


Figura 1. Localización del área de estudio, en la provincia de Buenos Aires.

flexibilidad de medición de las anomalías de precipitación en distintas escalas temporales (McKee *et al.*, 1995). Esta metodología se utilizó en el análisis del régimen pluviométrico.

Los valores de IEP se derivaron comparando la precipitación acumulada total para una estación o región en particular durante un intervalo de tiempo específico con el promedio de la precipitación acumulada para ese mismo intervalo a lo largo de lo que dure el registro climático. Los valores variaron desde 2.00 o más (extremadamente húmedo) a -2.00 o menos (extremadamente seco) con las condiciones casi normales en un rango de 0.99 a -0.99. El índice se calculó de acuerdo a la metodología propuesta por McKee *et al.* (1995). Los valores de clasificación para los valores IEP se presentan en la Tabla 1.

Se definió como sequía cuando el IEP es continuamente negativo y alcanza un valor de -1.00 o inferior y continúa hasta que el IEP se

torna positivo. La duración de la sequía fue definida por el intervalo entre el comienzo y el final del periodo. La magnitud de la sequía se midió sumando los valores del IEP durante los meses de la misma.

Los registros pluviométricos analizados correspondieron a las siguientes estaciones: Bahía Blanca (38° 44' S, 62° 16' O), Bordenave (37° 51' S, 63° 01' O), Cnel. Suárez

Tabla 1. Índice Estándar de Precipitación (McKee *et al.*, 1995)

Valores IEP	
2.0 o más	Extremadamente húmedo
1.5 to 1.99	Muy húmedo
1.0 to 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 to 0.99	Casi normal
-1.0 to -1.49	Moderadamente seco
-1.5 to -1.99	Muy seco
-2 o menos	Extremadamente seco

(37° 28' S, 61° 56' O), Pigüé (37° 37' S, 62° 24' O) y Tres Arroyos (38° 22' S, 60° 16' O). El período analizado fue 1970 - 2005 y los datos fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El IEP con escala temporal 24 meses se aplicó sólo a Bahía Blanca, debido a la cercanía entre la estación y el área estudiada y la similitud de condiciones meteorológicas existente entre ambas.

### Aplicación del IEP al régimen pluviométrico

Las precipitaciones del área de estudio oscilan entre 450 a 700 milímetros anuales (Campo *et al.*, 2004). Sin embargo, los años 1970 - 2005 incluyeron períodos en los que el área de estudio fue afectada por diversos fenómenos de variabilidad climática. Estos se caracterizaron por oscilaciones en las precipitaciones que en algunos casos, contribuyeron al anegamiento de la región. Las características topográficas constituyeron un factor determinante en la evolución de este fenómeno. La pendiente general menor que 0,5 % y el predominio del tipo de suelo Argiustol (INTA, 1989) dificultaron el escurrimiento y/o infiltración creando condiciones óptimas para la inundación.

El IEP fue aplicado a los valores medidos para la estación Bahía Blanca por considerarse representativos del área de estudio en relación a registros de localidades cercanas. Como resultado del cálculo del IEP con escala temporal de 24 meses (IEP24), se obtuvo la relación entre las anomalías de la precipitación y las características de las aguas superficiales representadas en este caso, por la laguna Unamuno. Fue posible categorizar a los diversos períodos de acuerdo a la clasificación de los IEP (Tabla 1). La serie temporal de los IEP24 se muestra en la Figura 2.

El IEP24 aplicado a la estación Bahía Blanca, reflejó situaciones de sequía mo-

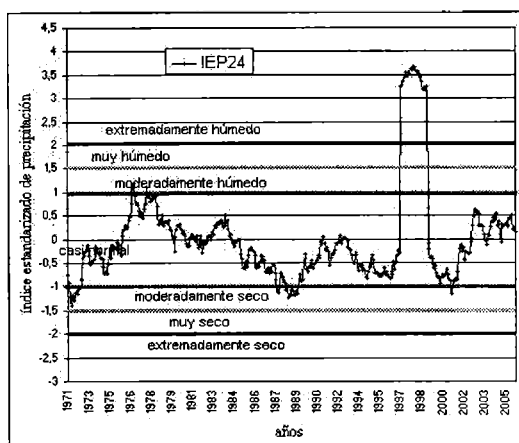


Figura 2. Índice Estandarizado de Precipitación (IEP) correspondiente al período 1970 - 2005 (escala temporal: 24 meses)

derada desde 1970 a noviembre de 1972 aproximadamente. Tras ello, comenzó un período de precipitaciones normales hasta inicios del año 1976. Culminada dicha alternancia, se atravesó por un período de humedad normal que caracterizó a la década del '80 con ciertos picos de sequía moderada a fines de 1987 y principios de 1988 (Fig. 2). A partir de la década del '90, la situación hídrica de la región no mostró anomalías, excepto el período comprendido entre mayo de 1997 y abril de 1999 donde los valores de IEP hallados se diferenciaron ampliamente (Fig. 2). En esta oportunidad, el IEP sobrepasó valores de 3, con lo cual se caracterizó a dichos años como extremadamente húmedos. En 1998, en algunas localidades situadas al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, los registros pluviométricos superaron los valores medios de la zona. En algunos casos la desviación estándar superó los 250 mm (ej. Bordenave, 888 mm/año).

Desde un punto agronómico (escala temporal 3 meses), la sequía que comenzó en abril de 1995 y se extendió a lo largo del año fue uno de los períodos más duros vividos en el siglo en Argentina. El déficit hídrico se adelantó a los períodos usuales, establecién-



dose a mitad del otoño y determinando que más del 20 % de la superficie destinada al cultivo de trigo en el radio de influencia de Bahía Blanca no se pudiera cultivar. El fenómeno tuvo características similares en el sur y centro bonaerense (Piccolo *et al.*, 2002). En Bahía Blanca se acumularon 230 mm de déficit de agua desde mayo hasta el mes de noviembre de ese año (Scian, 2003). Como consecuencia, se han encontrado fuertes relaciones entre el IEP a escala 3 meses y la sequía agronómica (Fig. 3).

En síntesis, la distribución es irregular, no se ajusta a ningún tipo de periodicidad. Se obtuvo que los períodos de mayor humedad fueron los años 76-77 y mayo de 1997 hasta marzo de 1999. Los años 2004 y 2005 mostraron tendencia hacia valores de moderada humedad. La interpretación coincidió con resultados de estudios previos realizados en el sudoeste bonaerense. Por ejemplo, Scian (2002) reconoció picos de precipitación que afectaron a toda la región como los años húmedos de 1977 y 1985/86, así como los secos a fines de 1975 y 1995.

### Relación entre las variaciones areales y la precipitación

La laguna Unamuno (Fig. 1) pertenece a la cuenca endorreica del arroyo Napostá Chico

(1320 km<sup>2</sup>) y recibe aportes del arroyo homónimo. La elección de este cuerpo de agua, respondió fundamentalmente a la variabilidad espacial que ha experimentado en los últimos años. El estudio de la evolución de la laguna desde un punto de vista espacial se relacionó directamente con el análisis del régimen pluviométrico de la región. El seguimiento de su evolución fue realizado para el período 1998 - 2005.

La relación existente entre la dinámica hídrica de la laguna y las precipitaciones surge del análisis del IEP24 y los valores de áreas de la laguna calculados para el mismo período. Un déficit de precipitación impacta en la humedad del suelo, la escorrentía, los reservorios de agua, el nivel de agua freática en diferentes escalas de tiempo. Una forma de evaluar la ocurrencia de déficit o excesos significativos por su intensidad y/o duración fue mediante el uso del IEP (McKee *et al.*, 1995), dado que el mismo es apropiado para cuantificarlos en múltiples escalas temporales. Así, la situación hídrica de Unamuno, ha sido bien descripta por medio del IEP a escala 24 meses.

Entre septiembre y octubre de 1998 la laguna incrementó su superficie alcanzando 9,70 km<sup>2</sup> y 10,78 km<sup>2</sup>, aproximadamente. Para los mismos meses, el IEP indicó situaciones de humedad extrema (Fig. 3). A partir de mayo de 1999 y hasta septiembre del mismo año, el índice indicó situaciones de menor humedad con respecto a 1998. Conforme a ello, la extensión de la laguna disminuyó en más de 1 km<sup>2</sup>. La tendencia continuó hasta enero de 2000 al igual que la del IEP que marcó situaciones de humedad normal-seca.

Si bien durante el año 2002 el IEP mostró situaciones de humedad normal, sólo tuvo tendencia positiva (húmeda) a partir del mes de agosto. Esta situación permitió inferir acerca de la influencia de las precipitaciones en el área de la laguna. Ésta superó los 20 km<sup>2</sup> en el mes de noviembre. Con respecto al año

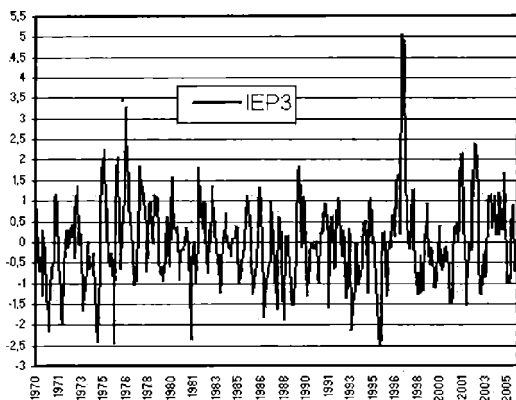


Figura 3. Índice Estandarizado de Precipitación (IEP) correspondiente al período 1970 - 2005 (Escala Temporal: 3 meses)

2003, el IEP mostró una tendencia negativa (seca) a partir de septiembre de ese año. En este período la extensión de la laguna disminuyó en 2 km<sup>2</sup> a finales de ese año. A partir de allí y hasta finales de 2005 ambas variables no presentaron cambios.

En líneas generales, las variaciones areales de la laguna se comportaron siguiendo la tendencia del IEP a escala 24 meses durante el período 1998 - 2005. Ante estos resultados se interpretó que el régimen pluviométrico en la región del sudoeste bonaerense tiene gran incidencia en los fenómenos de anegamiento, por cuanto no existieron otras variables ambientales y/o antropogénicas que incidieran en el aumento/descenso de la extensión areal de la laguna.

## CONCLUSIONES

Al igual que en la mayoría de los lagos someros (Fernández Aláez *et al.*, 2004), la laguna Unamuno posee condicionantes en su funcionamiento, siendo los más relevantes aquellos relacionados a la disponibilidad de nutrientes, al estado trófico y a la cantidad y periodicidad del agua precipitable. La aplicación del IEP a escala temporal 24 meses permitió evaluar al último de estos condicionantes en relación con los registros pluviométricos de la región. Los resultados hallados demostraron que los niveles de agua de la laguna están directamente relacionados con el régimen pluviométrico. Éste, mostró aumentos en las estaciones intermedias al igual que la cantidad de agua de la laguna, siguiendo el comportamiento típico de una laguna pampeana durante la instancia del ciclo de sequía - inundación característica de la región. El tiempo de permanencia del agua fue altamente variable.

Finalmente, si bien han sido comprobadas las relaciones entre ambas variables, tal como

enunciara Fernández Aláez (Fernández Aláez *et al.*, 2004) el papel que desempeñan las fluctuaciones en los lagos poco profundos, está lejos de ser comprendido. Siendo por ello, objeto de amplio debate en el que se asume que dichas fluctuaciones pueden aparecer en diferentes escalas de tiempo (Coops *et al.*, 2003).

**Agradecimientos.** El presente trabajo se realiza en el marco de la Beca Interna de Posgrado Tipo I otorgada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de los proyectos subsidiados por la Universidad Nacional del Sur, CONICET y Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC). Los autores agradecen también a CONAE y al Instituto de Clima y Agua (INTA Castelar).

## REFERENCIAS

- Campo, A., A. Capelli y P. Diez. 2004. El clima del suroeste bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Coops H., M. Beklioglu and T.J. Crisman. 2003. The role of water-level fluctuations in shallow the ecosystems-workshop conclusions. *Hydrobiología*. 506-509.
- Fernández Aláez, M., C. Fernández Aláez, F. García-Criado y C. Trigal-Domínguez. 2004. La influencia del régimen hídrico sobre las comunidades de macrófitos de lagunas someras de la Depresión del Duero. *Revista Ecosistemas*. Año XIII, N2, mayo-agosto. España
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Instituto de suelos. Buenos Aires. 525 pp.
- Krepper, C.M. y B. Scian. 1994. Climatología de la precipitación en la región pampeana: I. Variabilidad decádica, tendencias y eventos extremos. *Geoacta*, 21, 159-174.

- Kruse, E. y P. Laurencena. 2005. Aguas superficiales. Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento. En: Geología y Recurso Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. R.E. Barrio, R.O. Etcheverry, M.F., Caballe y E. Llambias (edit.). Cap. XIX, 313-326. La Plata, Argentina.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 15-20, 223-236, Dallas.
- Montico, S. 2004. El manejo del agua en el sector rural de la región pampeana argentina. Estudios sobre sociedad, naturaleza y desarrollo. Revista Theomai. Número especial. Argentina.
- Píccolo, M.C., A. Capelli de Steffens y A. Campo de Ferreras. 2002. La sequía de 1995 en la región pampeana argentina. En Desastres Naturales en América Latina. Fondo de Cultura Económica. Cap. IX, 189-206. México D.F..
- Scian, B. 2002. Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana, Argentina. GEOACTA, 27, 30-52. Bahía Blanca, Argentina.
- Scian, B. 2003. La situación climática actual en la región semiárida pampeana. Anomalías hídricas en el Centro Sur y Oeste de la Región Pampeana. [Informe] [www.criba.edu.ar/sequia/front/index.htm](http://www.criba.edu.ar/sequia/front/index.htm). Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Fuerza Aérea Argentina. Comando de Regiones Aéreas e Instituto de Clima y Agua (INTA Castelar). Estadísticas Climatológicas. Período 1970-2005.
- Vásquez P., M. Varni, E. Usunoff, M. Gandini e I. Extraigas. 2003. Identificación de patrones de anegamiento en la cuenca del arroyo del Azul mediante el uso de imágenes LANDSAT. Revista de la Asociación Española de Teledetección, SIN 1133-0953, 19, 43-49. Argentina.



## DINAMICA MORFOLOGICA DE LOS AMBIENTES COSTEROS DE BAHIA SAN ANTONIO OESTE, PROVINCIA DE RIO NEGRO

*María E. Carbone<sup>1</sup>, Gerardo M. E. Perillo<sup>1,2</sup> y María C. Piccolo<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Oceanografía - CC 804. La Carrindanga Km 7 (8000) Bahía Blanca,  
Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

### RESUMEN

La bahía San Antonio exhibe geoformas relacionadas con su diversa dinámica costera. En ambas márgenes de la bahía se emplazan puertos y muelles para transporte, embarques y pesca, los cuales son el punto focal para el comercio regional. El objetivo de este trabajo es determinar los procesos que originaron la morfología de la bahía y como evolucionaron hasta el presente. Los distintos tipos de ambientes de la bahía San Antonio y área de influencia (salinas, playas, planicies de mareas, marismas, etc) fueron identificados utilizando imágenes satelitarias Landsat 7 y 5 (CONAE), obtenidas durante distintos estado de la marea. Para la verificación y calibración de las imágenes se realizaron campañas de relevamientos geológicos donde se obtuvieron perfiles topográficos, muestreo de sedimentos y mapeos de unidades geomorfológicas

En su morfología los acantilados del golfo San Matías son interrumpidos por la presencia de la bahía San Antonio. Con rangos de marea superiores a 8 m, se inicia a los 40° de latitud sur. Posee 160 km<sup>2</sup> de superficie y tiene forma semicircular donde se destacan las planicies de marea y las espigas (punta Delgado y península Villarino) que se desarrollan a ambas márgenes y sirven de protección de la alta energía proveniente del golfo San Matías. Esta situación deriva en una diversidad de ambientes tanto en el interior como en el borde exterior de la bahía. Al norte, la bahía está bordeada por una planicie baja, conformada por espigas de rodados y arenas que se entremezclan con las planicies de marea. Son en su mayor parte, llanuras de fango intermareal sobre las que se observa una densa red de canales de marea. En las cabeceras de estos últimos se evidencian procesos que contribuyen a la sedimentación de los mismos. Al sur, las costas desarrolladas en las espigas mencionadas se destacan por los fenómenos de acreción de sus costas. Península Villarino posee deriva litoral hacia el O y presenta gran cantidad de cordones formados por cantos rodados y conchillas, ocupando un ancho de aproximadamente de 1 km, mientras que Punta Delgado, con deriva litoral hacia el E, presenta una acreción similar.

**Palabras claves:** morfología-planicie de marea-cordones litorales-bahía San Antonio-dinámica

### ABSTRACT

San Antonio Bay presents landforms associated with the diversity coastal dynamic processes occurring then. There are ports and docks used for loading, shipping and fishing on both shores- a fact which makes this bay the focal point of regional trade. The objective of the present paper is to determine the processes which developed its morphology. Landsat 7 and 5 satellite images (CONAE), taken at different tidal stages, were used to identify the varied environments of San Antonio Bay as well as its surroundings (salt flats, beaches, tidal flats, marshes, etc.). Geological surveys, which included vertical sections, sampling of sediments and geomorphological mappings, were carried out to verify and calibrate the images.

The cliffs of San Matías Gulf are interrupted by San Antonio Bay at 40° S. With a tidal range above 8 m, the semicircular bay has an area of 160 km<sup>2</sup> featuring tidal flats and spits (Delgado and Villarino) on both shores. These land projections serve as a protection against the strong energy of San Matías Gulf,

and result in different environments in the interior as well as on the exterior of the bay. Bounded on the north by lowlands, the bay intermingles tidal flats with spits of gravels and sand. The flats are mostly made of intertidal mud and they present a dense network of tidal channels. The southern coastline, stretching along the aforementioned points, is characterised by accretion. Villarino spits represents westerly drift spits out a large much of beach ridges made of gravel and shells. The other (Delgado) spits with an easterly drift and a similar accretion process.

**Keywords:** morphology-tidal flat-coastal ridges-San Antonio Bay-dynamics

## INTRODUCCION

Los ambientes costeros semi-cerrados poseen una gran dinámica, debido a los procesos que actúan están condicionados por cambios en la distribución de los niveles oceánicos, movimientos de la corteza y factores climáticos que se evidencian en su morfología. Otros procesos actuantes en estos ambientes provienen de la descarga fluvial, de la acción de las mareas y de la energía de las olas (Hayes *et al.*, 1973). Del estudio de las costas en todo el mundo surge que la morfología actual se debe en gran parte a los eventos ocurridos durante el Holoceno, a partir de otras condiciones climáticas que se dieron en el pasado reciente y que evolucionaron hasta el presente (Kelletat, 1995, Nybakken y Collins, 1993). La mayoría de estas costas se hallan en un estado evolutivo tendiente a la erosión, observación que concuerda con el modelo de Johnson (1919), que explica la acreción costera previa a la posterior erosión de la línea de costa. A su vez, esta tendencia es incrementada por el actual ascenso del nivel del mar. Esta configuración multivariable conduce a ambientes inestables ya sean de erosión o de acreción o una combinación de ambos (Maynard y Biggs, 1985; Cooper, 1993).

Dentro de estos ambientes se encuentran las lagunas costeras definidas por Phleger (1969). Las lagunas costeras controladas por la marea, donde el flujo y refluo son los principales agentes que inducen la circulación y mezcla de la misma. Por otra parte son objeto de estudio a nivel mundial debido a que en la mayoría de sus costas existen puertos y muelles de embarques importantes (McLellan,

1965). Ejemplos de estos ambientes se presentan en México (laguna de Percebe, de Términos) y en el este de Estados Unidos (Pamlico Sound) y han sido ampliamente estudiados. La morfosedimentología de las lagunas costeras del litoral mexicano y estadounidense fue analizada para establecer patrones de transporte de sedimentos internos y la circulación de contaminantes en estos ambientes (Cruz Orozco, 1968; Gutiérrez Estrada *et al.*, 1981; Galaviz Solís *et al.* 1987; Ayala Castañares *et al.*, 1990). En la actualidad existe un marcado incremento en la utilización de estas zonas costeras para uso recreativo y productivo, lo cual incide sobre sus recursos naturales por la demanda de espacios para nuevos asentamientos, accesos a las playas, pesca comercial y deportiva, maricultura, instalación de infraestructura entre otros.

En Argentina son escasos los estudios integrados de estos ambientes, algunos de ellos como la laguna Mar Chiquita (provincia de Buenos Aires) han sido abordados desde el punto de vista de la contaminación y circulación de los contaminantes (Marcovecchio *et al.*, 1986), también se han realizado censos de aves playeras en este sistema (Blanco y Canevari, 1994). En la zona norte del golfo San Matías existen ambientes con características similares a la de las lagunas costeras pero son escasos los estudios sistemáticos de esos ambientes. Se han comenzado a realizar estudios para establecer si responden a la clasificación de lagunas costeras.

En este trabajo se estudian las características de la bahía San Antonio. Este ambiente posee un alto valor biológico y productivo da-

do que alberga una importante variedad de especies de aves costeras migratorias que utilizan este ambiente para nidificar, reproducirse y alimentarse además como sitio de descanso (González *et al.* 1996). Fue declarada reserva Natural mediante ley 2670 y reserva Internacional de la Red Hemisférica para aves playeras (Cannevari *et al.*, 1998). Además desde el punto de vista productivo existen bancos de bivalvos y es una zona excelente de desove de peces de interés comercial. En ambos márgenes de la bahía se emplazan puertos y muelles para transporte, embarques y pesca los cuales son el punto focal del comercio regional. Como antecedentes se debe señalar que existen trabajos desde el punto de vista morfológico en la bahía de San Antonio que abordan diversos temas como: ondas de arena en la Plataforma Continental (Achilli y Aliotta, 1992), la dinámica sedimentaria en la plataforma frente a la bahía (Isla *et al.*, 1995; Aliotta *et al.*, 1993) y formas de fondo en un régimen macromareal (Schnack *et al.*, 1986; Aliotta *et al.*, 2000) pero todos ellos se restringen al ámbito de la plataforma interior adyacente.

En el presente trabajo de investigación se describirá la morfología actual de la bahía San Antonio, ubicada en el extremo nororiental del golfo San Matías, provincia de Río Negro, entre los 40° 42' y 40° 49' S y 64° 45' y 65° 00' O. Se analizará la influencia de los distintos agentes, como así también la evolución que tuvo hasta el presente.

## **METODOLOGIA**

Para determinar la evolución de geoformas antiguas y actuales en el área continental y costera de la bahía se analizaron cartas imágenes del IGM a escala 1:100.000 y 1:250.000. Para la realización de un mapa previo de las formas se recurrió al procesamiento de las imágenes satelitales (Landsat 5 y 7), provistas por la CONAE, con diferentes

estados de mareas. Se procedió a la georeferenciación ajustada de las imágenes, con la corrección geométrica requerida en cada imagen mientras que el procesamiento de las mismas se llevó a cabo a través de software específico. Por último se utilizaron fotografías aéreas para la calibración definitiva de las imágenes. El relevamiento morfológico de las unidades del área se realizó siguiendo pautas establecidas en base a la información obtenida de las imágenes satelitales. Los trabajos de campo, con apoyo en la hoja geológica San Antonio Oeste (Martínez, 1998) consistieron en mapeos de detalle de algunas unidades geológicas y la obtención de muestras sedimentarias para su análisis.

## **GEOMORFOLOGIA**

La bahía San Antonio de forma semicircular, se halla enmarcada por acantilados y ocupa una superficie de 160 km<sup>2</sup>. Su morfología está integrada por planicies y canales de mareas, cordones, espigas, playas y médanos (Fig. 1). La dinámica de sus aguas marinas está dominada por el Canal Principal al que confluye una serie de canales de mareas secundarios.

### **Planicies de marea**

El área costera de la bahía San Antonio está compuesta por depósitos de planicie de mareas constituida principalmente por materiales finos. Las planicies que bordean el arco interno de la bahía son en su mayor parte llanuras de fango, surcada por una densa red de canales de marea (Fig. 1). En los limos y arcillas pardas rojizas que constituyen las planicies del este se observa una escasa actividad de cangrejos donde sus cuevas son muy profundas y algunas de ellas están abandonadas. Al sur de Punta Asensio las planicies son de arenas y rodados de hasta 2 cm de diámetro, evidenciándose en este sector una mayor actividad erosiva que en las planicies

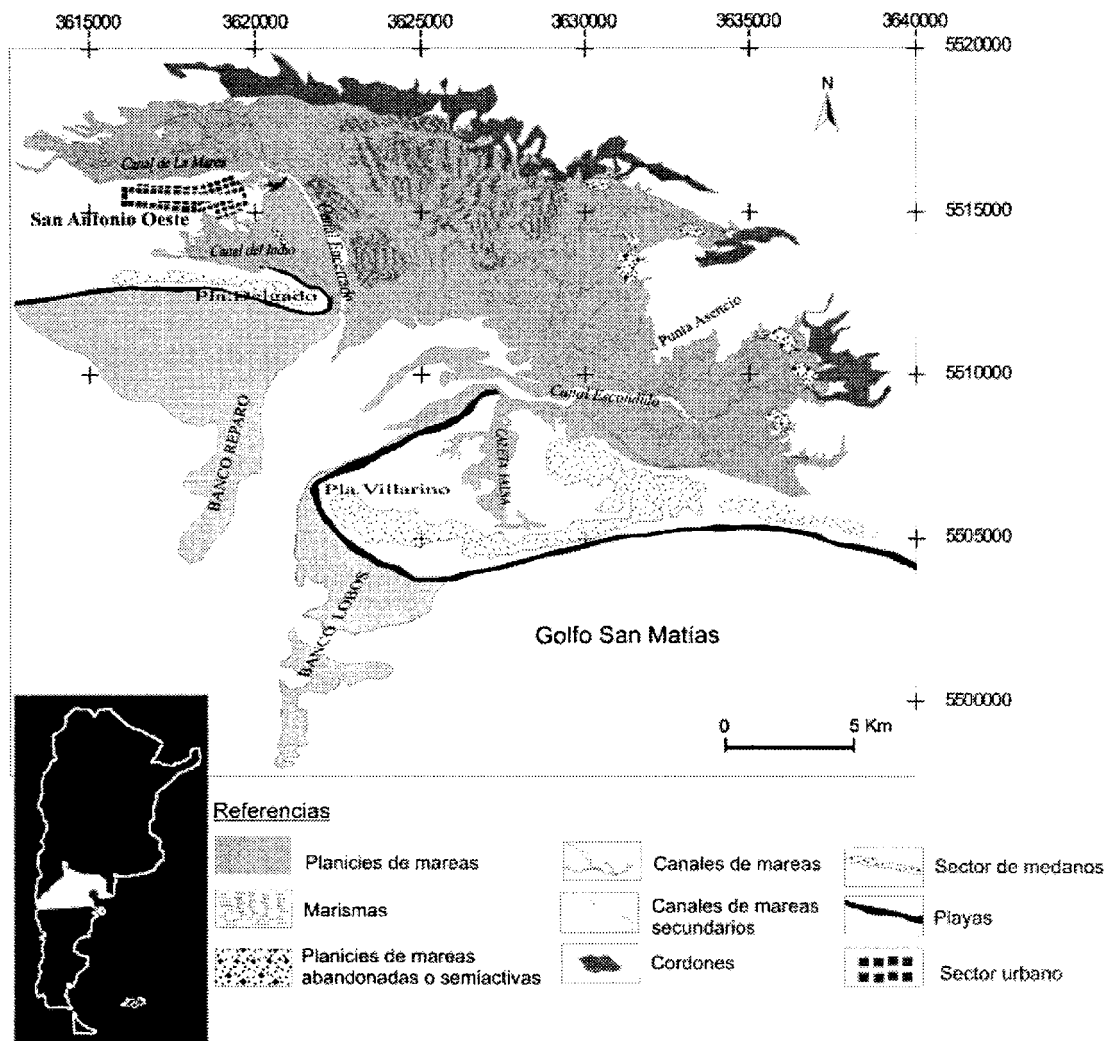


Figura 1. Area de Estudio. Ubicación de las unidades morfológicas costeras.

anteriores. Al norte del Canal Escondido (Fig. 1) se observa una planicie de marea antigua, sin actividad biológica, formada limo arcilloso compacto y con escaso desarrollo de suelo.

Al norte y este del Canal de la Marea las planicies son marismas colonizadas por especies de *Spartina* y *Salicornias* (Canevari, *et al.*, 1993) y están compuestas por arenas intermedias y finas muy influenciadas por la acción de las mareas. La planicie ubicada entre la localidad de San Antonio Oeste y Punta Del-

gado presenta una diferente composición y distribución de sus horizontes con respecto a las planicies del norte y este de la bahía. En esta se observa un cordón conglomerádico de 80 m de largo por 5 de ancho, afectado por la acción de las mareas, poco consolidado de color pardo con un espesor de hasta 0,50 m. Los rodados poseen de 1 a 2 cm de largo con formas subredondeadas y presentan una distribución caótica (Fig. 2 a.).



### Canales de marea

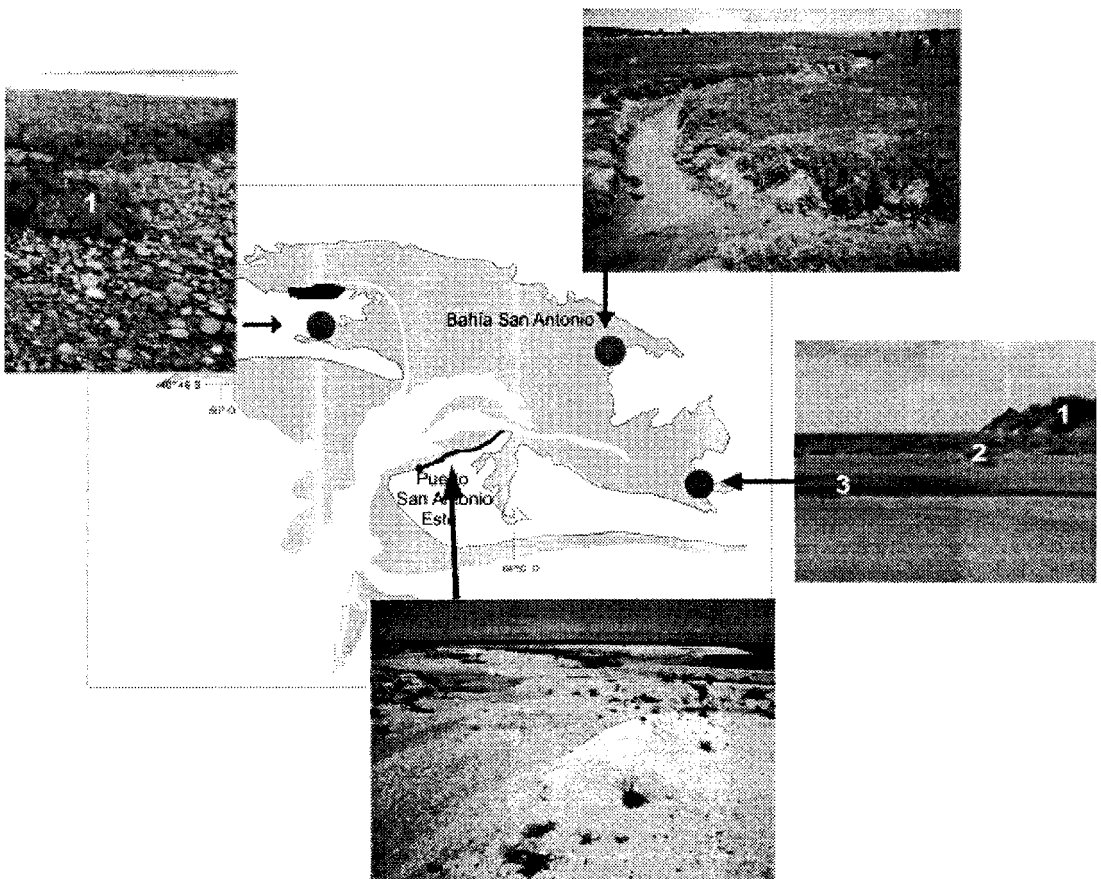
El Canal Principal (Fig. 1) está limitado al oeste por Punta Delgado, con una longitud de 4 km de desarrollo costero y al este por la Península Villarino con una extensión de 13 km. Ambas geformas se encuentran bordeadas hacia el sur por los bancos de arena Lobo, Reparó y Palisa. El Canal Principal posee 12 km de longitud y una profundidad máxima de 35 m al que confluyen canales de marea secundarios formando una densa red, con un patrón de diseño dendrítico, siendo anárquico en algunos sectores del norte de la bahía.

Los canales más importantes dentro de la bahía son el de la Marea (Fig. 1) que bordea por el norte a San Antonio Oeste. Posee una extensión de 4 km y una profundidad apro-

ximada de 0,9 m donde se observa gran actividad biológica integrada por cangrejos y aves. Por el sur de esa localidad se halla el Canal del Indio con 2 km de largo y una profundidad de 0,80 m. El canal Encerrado con orientación N-S llega a medir 7 km de extensión y 1,2 m de profundidad.

En algunos canales internos del norte y este de la bahía se evidencian procesos de acreción sedimentaria debido a la escasa actividad de las mareas, cuyo resultado final es la presencia de planicies abandonadas o semiactivas (Fig. 2b).

En el sector sureste de la bahía se observan canales activos influenciados por la acción de las mareas que son encauzadas por el canal Escondido que tiene una longitud de 5,5 km y



**Figura 2.** Planicies de mareas y cordones de rodados.

una profundidad de 0,90 m. En este lugar también participa la erosión eólica en el modelado del ambiente. Además en este sector se puede observar la conjunción de diferentes unidades originadas por procesos eólicos y marinos. En el borde interno de un brazo del canal de marea activo (Fig. 2c) se observan médanos con altura variable entre 1 a 3 m, vegetados en parte y sometidos a erosión cólica. Estos depósitos cubren a un cordón actual de 1 metro de espesor, formado por rodados sueltos y restos de valvas de moluscos. En el borde del canal Escondido y sometido a la acción de las mareas se presentan los restos de un cordón areno-conglomeradico, fosilífero, con espesor variable de 1 m aproximadamente. La estratificación es diagonal bien marcada y se halla sometido a fuerte erosión por mareas.

### **Cordones**

Hacia el norte y este, fuera de la planicie de mareas actual, se hallan depósitos de cordones litorales (Fidalgo y Porro, 1981). Los sedimentos que constituyen estas unidades (Fig. 1) son principalmente gravas arenosas con valvas de moluscos entremezcladas. Pueden presentarse como antiguos depósitos de llanuras de mareas como sucede en el sector ubicado al norte de Pta. Asensio. Estos cordones en algunos sectores del N de la bahía alcanzan un extenso desarrollo con alturas que superan los 2 m, mientras que hacia el E la altura media no supera el metro. Están formados por rodados que alcanzan diámetros de hasta 3 cm, con alto grado de redondez y aplanamiento. El conjunto presenta color castaño amarillento a grisáceo, debido a la presencia de CO<sub>3</sub>Ca pulverulento.

### **Espigas**

Se encuentran circunscriptas al sector sur de la bahía de San Antonio. De todas ellas la de mayor tamaño es la denominada península Villarino, que posee una superficie de 60 km<sup>2</sup>.

Se trata de una geoforma compuesta, recurvada (González Díaz y Malagnino, 1984), formada por depósitos de arena mediana y grava. Los depósitos que la bordean están formados casi exclusivamente por valvas de moluscos actuales o subactuales correspondientes a la Fm. San Antonio. Se trata de bioclastos a los que acompañan en menor proporción rodados sueltos. Estos depósitos adoptan formas lobuladas extensas y/o cordones con espesores cercanos a los 2 m. La morfología variable se debe a la acción de las mareas, principalmente a las olas de tormentas. Estos depósitos bordean en su totalidad a la península Villarino (Fig. 2d). Enfrentando a esta península se ubica otra espiga de menor tamaño, con una superficie de 7 km<sup>2</sup>, con forma acintada denominada punta Delgado, integrada por conchillas y rodados con intercalaciones de arcillas y ubicados prácticamente a nivel del mar.

### **Médanos**

En la bahía de San Antonio las formas medianosas fijas, semifijas y activas están distribuidas en dos sectores principales. Por un lado en el sector continental oeste hacia Pta Delgado los médanos poseen un ancho que no supera los 2 km, mientras que en el sector de Península Villarino se desarrollan campos de médanos más extensos, que cubren casi un 70 % de su superficie. Los médanos más altos alcanzan una altura relativa superior a 10 m y están conformados por arenas finas a medianas, sometidos a erosión eólica. Al este de la península Villarino aproximadamente a 20 km del puerto San Antonio Este se observa la presencia de crestas barjanoides en parte vegetadas.

### **Aspectos evolutivos y dinámicos**

Durante el Holoceno, la bahía San Antonio evolucionó debido a los procesos vinculados con la ingresión marina que dio origen a la Fm. San Antonio representada por cordones

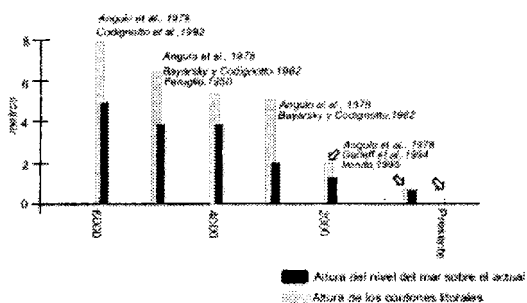
litorales y depósitos de llanuras de marea (Angulo *et al.*, 1978; Fidalgo y Porro, 1981) distribuidos en toda el área de la bahía. Desde ese momento y hasta la actualidad la bahía sufrió transformaciones morfológicas ocasionadas por cambios climáticos, entre los que podemos mencionar alternancia de periodos secos y húmedos, variaciones en las redes de drenajes, dominio de períodos áridos y glaciaciones. Estos agentes contribuyeron a la depositación de sedimentos por un lado, provenientes de los cursos fluviales del oeste de San Antonio que hoy se encuentran activos solamente por precipitaciones y por otro lado por los diferentes ascensos de los niveles del mar.

Hace aproximadamente 8000 años AP la región presentaba un clima de características cálidas y húmedas, (Garleff *et al.*, 1994, Iriondo, 1995) momento en que se establecieron redes de drenaje bien desarrolladas. Hacia los 6000 años AP ascensos del nivel del mar dieron como resultado, en su posterior regresión la formación de cordones ubicados al norte de la bahía con alturas que varían entre 6 a 8 metros snm (Angulo *et al.*, 1978; Codignotto *et al.*, 1992) y que sólo habría alcanzado a los 4 a 5 msnm (Feruglio 1950; Bayarsky y Codignotto, 1982). Entre los 4500 y 5000 años AP el clima se mantuvo estable al igual que los niveles marinos, conformando una aparente estabilidad de las geformas existentes (Fig. 3). Hacia los 3300 años AP se

sucede un desmejoramiento de esas condiciones climáticas tendiendo al templado árido con una mayor presencia de procesos eólicos, morfología representada en la formación de nuevos depósitos de arena costeros. El nivel del mar alcanzaba los 2 m indicando el inicio de una etapa de retroceso. La tendencia al retiro marino, a partir de los últimos 2000 años AP y hasta los 250 años AP (Angulo *et al.*, 1978, Fidalgo y Porro 1981, González Díaz y Malagnino, 1984) marcó las condiciones para generar en áreas continentales planicies de mareas, cordones y espigas. Durante este período se consolidaron algunos cordones litorales del este de San Antonio y se terminaron de formar las espigas del sur de la bahía cuando el nivel del mar llegaba a superar el metro sobre el nivel actual.

En la actualidad los procesos que modelan la fisonomía de Bahía San Antonio están signados por la continentalización de las planicies de mareas, efecto que se evidencia por el abandono (retiro de los cangrejos) y/o la colonización de vegetación halófila. Por otra parte los cordones de rodados se hallan casi inactivos y en la actualidad están cubiertos por depósitos eólicos materiales producidos por la desagregación de los niveles elevados de la planicie patagónica. Una tendencia similar presentan las espigas las cuales muestran efectos de crecimiento, estado que le permite actuar como protección costera frente a la alta energía marina proveniente del golfo San Matías.

La acción marina actuante se halla representada por las corrientes de reflujo, las olas y las corrientes litorales que influyen en el sector oeste y sur de la bahía. La onda de marea ingresa al sistema a través del canal principal y determina la red de canales en las planicies de mareas. En el exterior de la bahía se desarrolla un delta de reflujo (Schnack *et al.*, 1986) con importantes lóbulos laterales (bancos Reparo y Lobos) y un lóbulo terminal de menores dimensiones (Banco Palisa). El



**Figura 3.** Niveles del mar durante el Holoceno, estimados según diversos autores.

banco Lobos y su zona intermareal están constituidos por arenas finas, mientras que en el área del banco Reparó existe una transición de arena media a muy gruesa. Según Schnack *et al.* (1986) en el sector del banco Lobos la acción de las olas parece dominar sobre las corrientes de mareas. Las formas de fondo que se presentan en este sector exterior indican patrones de transporte de sedimentos proveniente principalmente del interior de la bahía (Hayes *et al.*, 1973; Schnack *et al.*, 1986, Isla *et al.*, 1995; Aliotta *et al.*, 2000).

Por otro lado, se observa la colmatación directa en el sector norte y este del interior de la bahía favorecida posiblemente por aportes de sedimentos a través de los cursos fluviales esporádicos y por la acción eólica que constituye las acumulaciones arenosas asociadas a los cordones del interior. En el sector oeste de la bahía se evidencia un mayor proceso erosivo de las planicies a través de los canales de marea. Algunas llanuras del este de la bahía se encuentran casi abandonadas como consecuencia de la sedimentación de la cabecera de los canales. Esto se evidencia a través de la presencia de un cangrejal fósil donde se observan las cuevas abandonadas en su totalidad. Este proceso indicaría un aparente retroceso de la actividad de las mareas. Sin embargo esta situación podría deberse también a un ascenso continental producido como consecuencia de movimientos neotectónicos. Por otro lado, las espigas que circunscriben la bahía están dominadas por una importante acreción como consecuencia de las corrientes litorales del este y del oeste.

## CONCLUSIONES

La morfología de la bahía San Antonio se destaca por las planicies de marea y las espigas (punta Delgado y península Villarino) que se desarrollan a ambos márgenes y sirven de protección de la alta energía proveniente del golfo

San Matías. Esta situación deriva en una diversidad de ambientes tanto en el interior como en el borde exterior de la bahía:

Al norte, la bahía está bordeada por una planicie baja, conformada por espigas de rodados patagónicos y arenas entremezcladas con las planicies de marea. Están formadas por fango intermareal con una densa red de canales de marea. En las cabeceras de estos últimos se evidencian procesos que contribuyen a la sedimentación de los mismos.

Al sur, las costas desarrolladas en las espigas mencionadas se destacan por los fenómenos de acreción. Punta Villarino posee deriva litoral hacia el O y presenta gran cantidad de cordones formados por rodados y conchillas, ocupando un ancho de aproximadamente de 1 km mientras que Punta Delgado, con deriva litoral hacia el E, presenta una acreción similar.

La dinámica actual de la bahía evidencia una colmatación sedimentaria del sector norte y este, procesos erosivos importantes en las llanuras del oeste y fenómenos de acreción en las espigas del sur. La acción eólica se evidencia en las acumulaciones medianas móviles localizadas en Punta Delgado y Península Villarino. El análisis de la evolución de estos procesos actuantes en la bahía San Antonio hoy a través de sus geoformas permite establecer patrones de funcionamiento futuros.

## REFERENCIAS

- Achilli M. y S. Aliotta. 1992. Características morfológicas de ondas de arena en la Plataforma Continental Argentina al sur de la Provincia de Buenos Aires. Tercera Jornadas Geológicas Bonaerense. La Plata Actas: 207-212.
- Aliotta, S E. Schnack; F. Isla y G. Lizasoain. 2000. Desarrollo secuencial de formas de fondo en un régimen macromareal. AAS Revista vol 7 1:95-107.
- Aliotta, S., F.I. Isla y E. Schnack. 1993. Rasgos morfológicos de fondo del canal de acceso a la

- bahía San Antonio Pcia Río Negro Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar Resúmen 178.
- Angulo, R., Fidalgo F., Gomez Peral A. y Schnack E. 1978. Las ingresiones marinas cuaternarias en la Bahía de San Antonio y sus vecindades. Provincia de Río Negro. VII Congreso Geológico Argentino (Neuquén) Actas 1: 271-283.
- Ayala Castañares, A., M. Gutierrez Estrada y V.M. Malpica. 1990. Morfosedimentología de la laguna Agiabampo, Sonora, México Anales del Instituto de Ciencias del mar y Limnología UNAM 17 (2) 257-270.
- Bayarsky, A. y J.O. Codignotto. 1982. Pleistoceno-Holoceno marino en Puerto Lobos, Chubut. Revista de la Asociación Geológica Argentina 37 (1): 91-99
- Blanco, E. y P.D.E. Canevari (compiladores) 1994 Censo Neotropical de aves acuáticas 1993. 88 pp
- Canevari, P.D.E., E. Blanco, Bucher, G. Castro y I. Davidson, 1998. Los humedales de la Argentina. Clasificación, situación actual conservación y legislación. Publicación N° 46. 208 pp
- Codignotto, J.O., R.R. Kokoty y S.C. Marcomini. 1992. Neotectonism and Sea-Level Changes in the Coastal Zone of Argentina. Journal of Coastal Research 8(1): 125-133.
- Cooper, A. 1993. Sedimentation in river dominated estuary. Sedimentology, (40), 979-1017
- Cruz Orozco, R. 1968 Geología marina de la laguna de Tamiahua, Veracruz México UNAM Boletín del Instituto de Geología n. 88
- Education & Research Foundation, Florida. 286 pp.
- Feruglio, E. 1950. Descripción Geológica de la Patagonia, Dirección General de yacimientos Petrolíferos Fiscales 431 pp.
- Fidalgo, F. y N.E., Porro. 1981. Descripción geológica de la Hoja 39j, San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional 75 pp
- Galaviz Solis A.; Gutierrez Estrada y A. Castro del Río. 1987. Morfología sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecocacán Tabasco Mexico Anales del Instituto de Ciencias del mar y Limnología UNAM 14 (2) 109-124.
- Garleff, K., T. Reichert, M. Sage, F. Schäbitz and B. Stein. 1994. Periodos morfodinámicos y el paleoclima en el norte de Patagonia durante los últimos 13.000 años. Southern hemisphere palaeo- and neoclimates. Revista del Museo Municipal de Historia Natural de San Rafael, Tomo XII, 4: 217-228.
- González Díaz E.F y E.C. Malagnino. 1984. Geomorfología. IX Congreso Geológico Argentino. S.C. de Bariloche. Relatorio I (13): 347-364.
- González, P.M., T. Piersma and Y. Verkuil. 1996. Food, feeding and refuelling of the Red Knots during northward migration at San Antonio Oeste, Río Negro, Argentina. J. Field. Ornithol. 67:575-591
- Gutierrez Estrada, M J; Martinez Reyes y V. Malpica Cruz. 1981. Cartas sedimentológicas y fisiográficas de la laguna Sabancuy, Campeche UNAM Instituto de Geología.
- Hayes, M.O., E.H. Owens, D.K. Hubbard and R.W. Abele. 1973. Investigation of form and processes in the coastal zone: In D.R. Coates (Ed.), Coastal Geomorphology, Proc. 3d Ann. Geomorphology Symposia Series, Binghamton, N.Y., 11-41.
- Iriondo, M., 1995. Los climas cuaternarios de la región pampeana. Comunicación del Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino 4:7-48.
- Isla, F., E. Schnack y S. Aliotta. 1995. Evolution and sedimentary dynamics of San Antonio Bay, Río Negro, Argentina. XI Symposium on Coastal Sedimentology. Rio de Janeiro Anales 6 pp
- Kelletat, D.H. 1995. Atlas of Coastal Geomorphology and Zonality. Special Issue N° 13. The Coastal
- Marcovecchio J.E.; S.M. Obenat, A. Pérez y V.J. Moreno. 1986. Total mercury and lead contents in the biota at Mar Chiquita Coastal Lagoon, Province of Buenos Aires, Argentine Republic. J. Shoreline Management. 2: 207.
- Martinez H. 1998. Hoja Geológica San Antonio Oeste 4166-II
- Maynard, N. y R. Biggs. 1985. Estuaries. En R. Davis (Comp.), Coastal sedimentary environments (pp. 77-163). New York: Expanded Edition
- McLellan, H.J. 1965. Elements of Physical Oceanography. Pergamon Press, 151 pp.

- Nybakken, J. y Collins, H. 1993. Estuaries and salt marshes. En *Marine Biology: An ecological approach*.
- Phleger, F. B. 1969. Some general features of coastal lagoons. Simposio Internacional de Lagunas Costeras UNAM UNESCO México D.F.
- Schnack, E.J., J.L. del Río y F.I. Isla. 1986. Formas y dinámicas del delta de reflujo de la bahía San Antonio, Río Negro. Actas de la primera reunión de sedimentología. La Plata 61-64.
- Servicio de Hidrografía Naval. 2005. Tablas de marea. Publicación H610, 505 p. Buenos Aires.

## ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DEL ÍNDICE PC USANDO WAVELETS

*P. Fernández de Campra<sup>1,3</sup> y M. Zossi de Artigas<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Laboratorio de Física de la Atmósfera, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Univ. Nacional de Tucumán, Av. Independencia 1800, 4000 Tucumán, Argentina

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, Argentina.

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias de la Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Av. Independencia 1800, 4000 Tucumán, Argentina

e-mail: pfernandez@herrera.unt.edu.ar, mzossi@herrera.unt.edu.ar

## RESUMEN

Los índices geomagnéticos proveen un control permanente de los procesos que ocurren en la alta atmósfera y la magnetosfera, representando datos fundamentales en el estudio del clima espacial. En este trabajo se analizan periodicidades y tendencia del índice PC (Polar Cap) usando la transformada wavelet (ondeletas). Este índice registra la actividad magnética llamada DP2, asociada con el sistema de corriente equivalente en el casquete polar. Se analizan valores promedios mensuales del índice, correspondientes al observatorio de Thule, durante el período 1975-2000.

Entre las periodicidades, se destaca una de 8,7 años, observada en la aproximación con un aporte del 44% a la varianza total de la serie. Además se distinguen en los distintos detalles oscilaciones alrededor de los 3 meses, 6 meses, 1 año, la cuasibienal y una alrededor de 5,2 años.

En la búsqueda de las posibles causas de los ciclos detectados se consideran promedios mensuales de la velocidad del viento solar y de la intensidad del campo magnético interplanetario en el período estudiado. La periodicidad de 8,7 años se observa con gran significancia en los valores correspondientes a la intensidad del campo magnético interplanetario, que correspondería al período más corto del ciclo solar de 11 años. Los resultados se comparan con los obtenidos anteriormente para otros índices geomagnéticos usando distintas técnicas de análisis. Las causas de las periodicidades detectadas en el índice PC, podrían estar vinculadas con variaciones en el sol.

**Palabras Claves:** índice PC-transformada wavelet (onditas)-viento solar-campo magnético interplanetario

## ABSTRACT

The geomagnetic indices provide a permanent control of the processes that take place in the upper atmosphere and the magnetosphere, being an important data set in the study of space weather. In the present work, periodicities and trends of the Polar Cap index, PC, are analyzed using the Wavelet transformed. This index registers the magnetic activity DP2, associated with the equivalent current system of the polar cap. Monthly mean values of the index are analyzed, corresponding to the observatory of Thule, during the period 1975 -2000.

Among the periodicities, one of 8.7 years stands out, with a 44% contribution to the total variance of the series. Oscillations around 3 months, 6 months, 1 year, quasi-biennial and around 5.2 years are distinguished.

In the search of possible causes of the detected cycles, monthly averages of the solar wind velocity and of the intensity of the interplanetary magnetic field are considered. The 8.7 years periodicity is observed with great significance in the values corresponding to the intensity of the interplanetary magnetic field that it would correspond to the shortest period in the 11 years solar cycle. The results are compared with those obtained previously for other geomagnetic indices. The causes of the periodicities detected in PC index, could be linked with variations in the sun.

**Keywords:** PC index-wavelet transform-solar wind-interplanetary magnetic field

## INTRODUCCION

El estudio de las periodicidades presentes en diferentes índices geomagnéticos y su asociación con la actividad solar y otros parámetros cíclicos, así como la influencia en el medio ambiente terrestre, ha sido objeto de muchos trabajos (Clua de Gonzalez *et al.*, 1993, Gazis *et al.*, 1995, Paularena *et al.*, 1995, Vennerstrom y Friis-Christensen, 1996, Kane, 1997, Mursula *et al.*, 1997, Rangarajan y Araki, 1997, Rangarajan y Iyemori, 1997, Mursula and Zieger, 2000, Rangarajan and Barreto, 2000, Richardson *et al.*, 2002, Echer *et al.*, 2004, Makarova y Shirochkov, 2004). Algunos de estos autores han considerado el hecho de que el comportamiento cíclico en la actividad geomagnética no es constante en el tiempo. Kane (1997) separó las series de datos en intervalos correspondientes a cada ciclo solar, y trabajó utilizando el análisis espectral de máxima entropía (maximum entropy spectral analysis), Rangarajan y Araki (1997) y Rangarajan y Barreto (2000) usaron el análisis de espectro singular (Singular Spectrum Analysis, SSA), que considera las variaciones con el tiempo de un patrón periódico.

Un índice que nos permite registrar la actividad magnética en altas latitudes es el índice PC (Polar Cap), basado en una idea de Troshichev (Troshichev *et al.*, 1979) y desarrollado en trabajos de Troshichev y Andrezen (1985), Troshichev *et al.* (1988), y Vennerstrom *et al.* (1991). Este índice monitorea la actividad magnética en el casquete polar generada por parámetros como la componente hacia el sur del CMI,  $B_z$ , la componente azimutal,  $B_y$ , (Friis-Christensen *et al.*, 1972) y la velocidad del viento solar. El objetivo de este trabajo es el análisis de las periodicidades y tendencia que presenta el índice PC, utilizando para ello el método de wavelets (onditas) que permite estimar la variación que ellas presentan en el tiempo.

## METODO DE ANALISIS

El análisis de wavelets representa una alternativa cuando los aspectos espectrales son dependientes del tiempo, ya que permite obtener información sobre la ubicación temporal de las frecuencias. En este trabajo, se uso la ondita Daubechies (Daubechies, 1990) de orden 7, esta familia es muy usada por que posee soporte compacto, lo que favorece el análisis de multiresolución. En este tipo de análisis se descompone la señal original en sucesivos niveles de aproximaciones y detalles. Si denominamos  $S$  a la señal original, y si  $j$  indica el nivel,  $A_j$  representa la aproximación  $j$ -ésima que considera las frecuencias bajas, mientras que  $D_j$  el detalle  $j$ -ésimo muestra las frecuencias altas.

$$\begin{aligned} S &= A_1 + D_1, \\ &= A_2 + D_1 + D_2 \\ &= A_3 + D_3 + D_2 + D_1 \end{aligned}$$

Vemos que la diferencia entre dos aproximaciones sucesivas está dada por el detalle correspondiente. A partir de estos valores se puede reconstruir la señal, haciendo el proceso inverso. Una propiedad de las onditas es que conservan la energía, es decir que la varianza de la serie se puede estimar en función de los coeficientes de la transformación discreta de onditas, así podemos estimar en que porcentaje aportan cada uno de los componentes, detalles y aproximación, a la varianza total de la serie.

## ANALISIS DE LOS DATOS

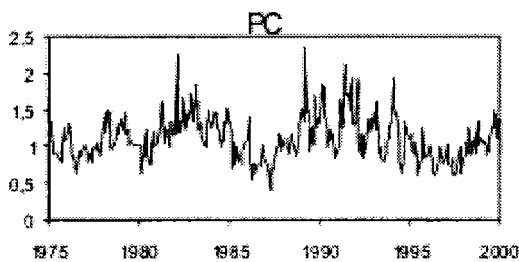
El índice PC se calcula a partir de la máxima perturbación horizontal,  $H$  en nanotesla, nT, medida en una única estación ubicada muy cerca del polo geomagnético. Este índice se calcula independientemente para dos estaciones: Thule (85,4° de latitud CGM), situada en la aldea Qaanaaq en Gro-



enlandia y Vostok (-83,4° de latitud CGM) en la Antártida. La IAGA lo adoptó oficialmente en 1999. Se trabajó con los promedios mensuales del índice PC durante el período 1975-2000 (Fig. 1), obtenidos en la estación Thule (National Geophysical Data Center-NOAA, Estados Unidos). Los datos de Vostok fueron descartados porque se trata de una serie incompleta.

El análisis de multiresolución se realizó usando el toolbox Wavelet del paquete MATLAB. Como la serie analizada posee 313 datos, el método permite alcanzar sólo un nivel 5 de descomposición. A fin de estimar la contribución espectral de cada banda obtenida en el análisis de multiresolución, se realizó análisis discreto de Fourier de cada componente. La reconstrucción de las distintas componentes se muestra en las Figuras 2 a-f y los modos espectrales correspondientes en las Figuras 2 g-l. Se utilizó distintas escalas temporales en los gráficos para observar mejor las periodicidades más chicas. Se consideraron las periodicidades significativas al 99 % (el nivel de significancia es indicado con línea de trazos en las Figuras).

El principal aporte a la varianza de la serie lo hace la aproximación 5 (Fig. 2a), en el orden del 44 %, mostrando picos en 5,2 y 8,7 años aproximadamente (Fig. 2g). En el detalle 1 (Fig. 2b) (13% de aporte a la varianza) se distingue una banda alrededor de los 3 meses (Fig. 2h). En el espectro del detalle 5 (Fig. 2i) (12 % de aporte a la varianza) se destaca una



**Figura 1.** Valores mensuales del índice PC, medido en Thule, período 1975-2000.

frecuencia de aproximadamente 5,2 años. En el detalle 4 (Fig. 2d) (11 % de aporte a la varianza) se observa una banda comprendida entre 1,4 y 2,6 años (Fig. 2j). El detalle 3 (Fig. 2e) (también con 11 % de aporte a la varianza) muestra claramente una banda centrada en los 12 meses (Fig. 2k), mientras que en el detalle 2 (Fig. 2) (9 % de aporte a la varianza) la oscilación es alrededor de 6 meses (Fig. 2l) observándose una mayor amplitud en el espectro alrededor de 1990.

Con el objeto de explicar los resultados obtenidos se analizaron promedios mensuales de la velocidad del viento solar,  $v$ , y la intensidad del campo magnético interplanetario,  $B$ , en el período en estudio (Fig. 3 a-b).

Se realizó análisis de multiresolución de estos datos, usando la ondita Daubechies 7, y hasta un nivel 5 de descomposición. Estos datos fueron obtenidos de la Base de Datos del NSSDC OMNI (OMNIWeb at National Space Science Data Center). Se observa que ambos parámetros presentan las periodicidades detectadas en PC, excepto la oscilación de 8,7 años, que solo se encuentra en  $B$ .

## ANÁLISIS DE LAS PERIODICIDADES ENCONTRADAS

**Ciclo ~ 0,5 año:** La actividad geomagnética tiene una variación semianual con actividad incrementada cerca de los equinoccios (Chapman y Bartels, 1940, Fraser-Smith, 1972, Russell y McPherron, 1973). La causa posible ha sido un punto de debate y fue revisada por varios autores (Murayama, 1974, Crooker *et al.*, 1992, Schreiber, 1998, Cliver *et al.*, 2000) quienes coincidieron en tres causas:

i) el efecto axial, que es la variación de la posición de la Tierra en latitud heliográfica y el incremento en la velocidad del viento solar a mayores latitudes heliográficas

ii) el efecto equinoccial, que es la variación del ángulo del dipolo terrestre con respecto a

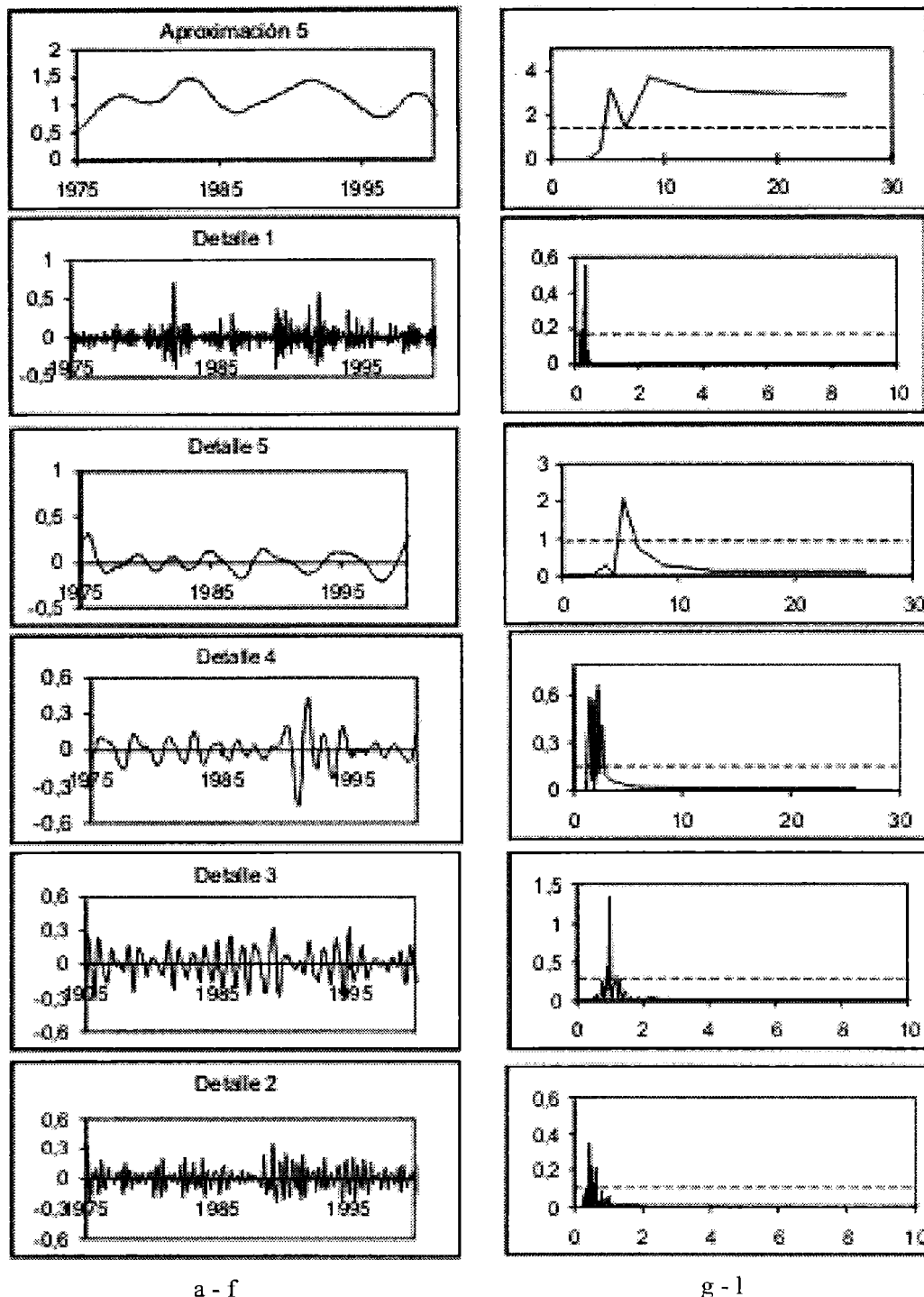
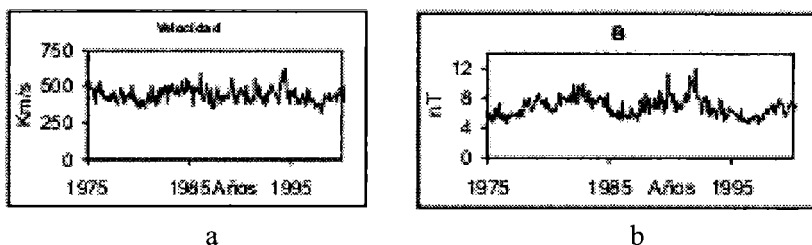


Figura 2. Reconstrucción de las componentes, detalles 1 a 5 y aproximación 5 (a-f), de la serie de valores mensuales del índice PC y los espectros correspondientes (g-l), calculados con Fourier.



**Figura 3.** Valores mensuales de velocidad del viento solar (a) y de intensidad del campo magnético interplanetario, B (b), durante el período 1975-2000.

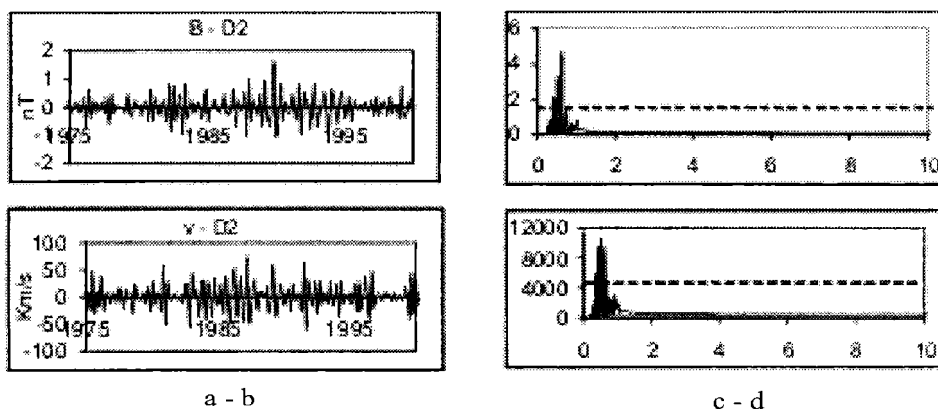
la línea Sol-Tierra o a la dirección de la velocidad del viento solar y esto determina una eficiencia variable en el acoplamiento con el viento solar

iii) el efecto de Russell-McPherron, efecto debido a una mayor componente Z del campo magnético interplanetario, en coordenadas solar magnetosféricas (GSM), cerca de los equinoccios, lo cual es debido a la inclinación del eje dipolar terrestre con respecto al plano ecuatorial heliográfico.

Los dos parámetros analizados presentan esta oscilación, aunque su variación temporal es diferente a la observada en los índices analizados. Los gráficos correspondientes a las distintas reconstrucciones y sus respectivos espectros se muestran en las Figuras 4 a-d.

**Ciclo anual y cuasi-periodicidades entre 1 - 2 años:** La periodicidad anual encontrada

en el índice PC, observada en el detalle 3, estaría relacionada con una periodicidad análoga en la velocidad del viento solar (Zieger y Mursula, presentado en el European Meeting in Solar Physics, 1999), con una mayor amplitud en la fase de descenso de cada ciclo solar, acercándose al mínimo, como se observa en la Figura 5-a. El índice PC muestra este mismo patrón, con características similares en la fase de ascenso del ciclo 22. Respecto a la banda mostrada por el detalle 4, Figura 2d, en ella se observan casi con igual amplitud las periodicidades de 1,4, y 1,7 años, presentes en todo el período estudiado, aunque disminuyendo su intensidad durante el ciclo 21, coincidiendo con los resultados obtenidos por Mursula y Vilppola (2004) para la velocidad del viento solar, parámetro que interviene en la definición del índice. Este comportamiento es observado en la Figura 5b,



**Figura 4.** Reconstrucción del detalle 2 de la multiresolución, para la velocidad del viento solar, (a) y la intensidad del campo (b) y los respectivos espectros (c-d)

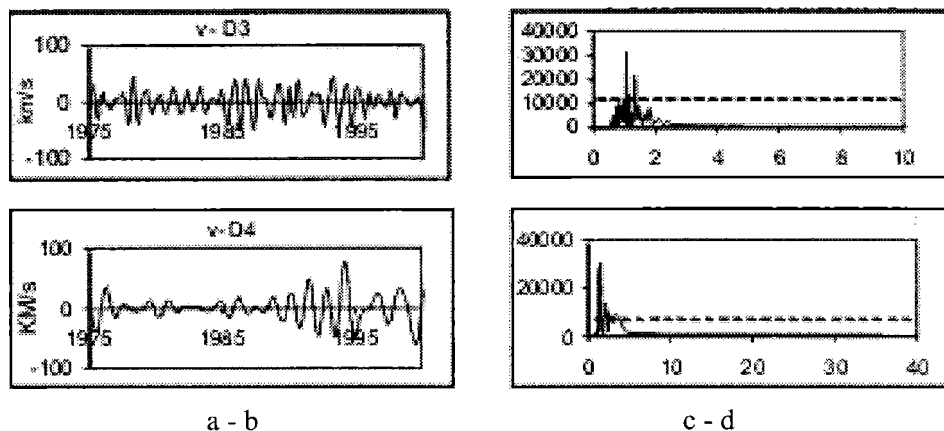


Figura 5. Reconstrucción de los detalles 3 y 4 del análisis de multiresolución, de la velocidad del viento solar, 1975-2000 (a-b) y los respectivos espectros (c-d)

que muestra estas periodicidades en los datos del viento solar.

**Oscilación cuasi-bienal:** Varios autores han identificado una oscilación cuasi-bienal (QBO, Quasi-Biennial Oscillation) en la actividad geomagnética durante períodos tranquilos analizando datos de estaciones de latitud baja y media. Entre ellos, Yacob y Bhargava (1968) indicaron que su origen era una periodicidad bienal en la radiación UV del sol; Raja Rao y Joseph (1971) sugirieron una asociación entre su mecanismo y el electrochorro ecuatorial. Olsen (1994) y Olsen y Kiefer (1995) postularon que la QBO observada en las variaciones geomagnéticas podían estar causadas por la acción dinámico de una QBO en los vientos de la termosfera baja. Rangarajan y Iyemori (1997) detectaron esta oscilación en los índices geomagnéticos

Ap y Kp, significativa en períodos coincidentes con la oscilación de 1,3 años y la asociaron con la velocidad del viento solar.

Esta oscilación se detecta en el índice PC, Figura 2d, con una banda entre 2,1 y 2,6 años, de amplitud constante hasta el año 1989. Al analizar los parámetros interplanetarios, en la velocidad del viento se observa una periodicidad entre 2 y 2,5 años, aunque con poca amplitud en el espectro, Figura 5d; mientras que en B se destaca una periodicidad alrededor de los 25 meses, Figura 6.

**Ciclo de ~ 5 años:** Esta banda alrededor de los 5 años, que se observa en el índice PC, Figura 2c, es detectada en la velocidad del viento solar y en la intensidad del campo magnético interplanetario, B, (Rangarajan y Barreto, 2000), así como en el índice aa por

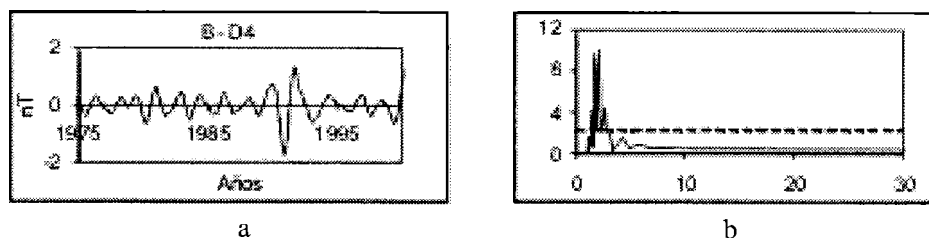


Figura 6. Reconstrucción del detalle 4 de la intensidad del campo, B, (a) y el espectro correspondiente (b).

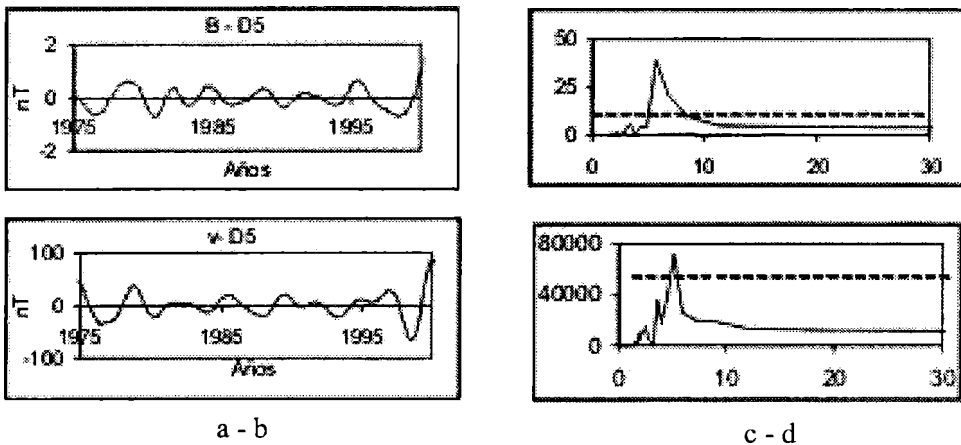
Echer *et al.* (2004). Algunos autores consideran que la periodicidad de 5,5 en la actividad solar, indicada por Rz, es la segunda armónica del ciclo de 11 años (Sugiura, 1980), mientras que Mursula *et al.* (1997), atribuyen esta periodicidad en los índices geomagnéticos a propiedades del viento solar. En el análisis de los parámetros interplanetarios se obtienen periodicidades alrededor de 5,6 años en B y de 5,1 años en la velocidad, ambas con gran amplitud en el espectro, Figura 7 a-b.

**Ciclo de ~ 8,7 años:** Esta periodicidad se observa en la aproximación de la serie de datos del índice PC (Fig. 2g) con un aporte importante a la varianza de la serie (del orden de 44%). Es también observada con gran significancia en la serie de valores de la intensidad del campo magnético interplanetario, B,

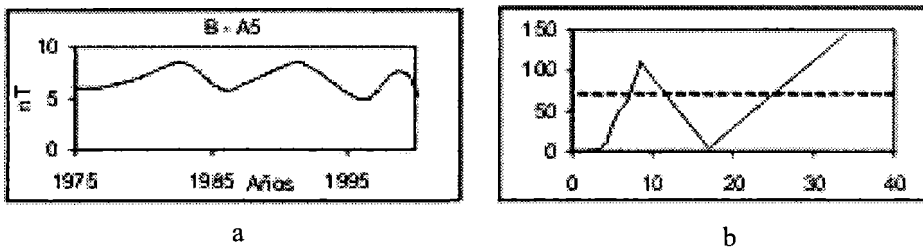
Figura 8b. Según Herman y Goldberg (1978) correspondería al período más corto del ciclo de 11 años. Esta relación es la esperada si se considera que el índice PC es una medida de la transferencia de energía del viento solar en la magnetosfera.

### CONCLUSIONES

En este trabajo se aplicó la transformada Wavelet con el fin de analizar las periodicidades presentes en la serie de promedios mensuales del índice PC. De los resultados obtenidos, se desprende que la variabilidad de la actividad geomagnética en altas latitudes está determinada principalmente por la actividad del sol. Observamos que la principal periodicidad encontrada es de 8,7 años, en concordancia con una encontrada en la inten-



**Figura 7.** Reconstrucción del detalle 5 de la intensidad del campo, B, y de la velocidad del viento solar (a-b) y espectros correspondientes (c-d).



**Figura 8.** Reconstrucción de la aproximación 5 (a) del análisis de multiresolución de los valores mensuales del campo, B, y el espectro (b)

sidad del campo magnético interplanetario, B. Respecto a la variación a largo plazo, el espectro no muestra una tendencia significativa, Figura 2g, probablemente debido al corto período estudiado (26 años).

La disponibilidad de series de datos registrados por satélites en el medio interplanetario y el conocimiento de su variabilidad, constituye un aporte importante en la búsqueda de los agentes responsables del comportamiento del índice analizado.

Con el objeto de detectar otras posibles causas de las oscilaciones encontradas en este análisis se consideraran parámetros atmosféricos, ya que algunos de ellos presentan un comportamiento en el tiempo, similar al observado en el índice estudiado.

#### REFERENCIAS

- Chapman, S. and J. Bartels. 1940. *Geomagnetism*, Chapter II. Oxford Univ. Press, New York.
- Cliver, E., Y. Kamide and A. Ling. 2000. Mountains versus valleys: Semiannual variation of geomagnetic activity. *J. Geophys. Res.*, 106, 2413.
- Clua de Gonzalez, A.L., W.D. Gonzalez and S.L.G. Dutra. 1993. Periodic variation in the geomagnetic activity: A study based on the Ap index. *J. Geophys. Res.*, 98: 9215-9231.
- Crooker, N.U., E.W. Cliver and B.T. Tsurutani. 1992. The semiannual variation of great geomagnetic storms and the postshock Russell-McPherron effect preceding coronal mass ejection. *Geophys. Res. Lett.*, 19: 429-432.
- Daubechies, I. 1990. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis. *IEEE Transactions Inf. Theory*, 36: 961-1005.
- Echer, E., W.D. Gonzalez, A.L.C. Gonzalez, A. Prestes, L.E.A. Vieira, A. Dal Lago, F.L. Guarnieri and N.J. Schuch. 2004. Long Term Correlation between solar and Geomagnetic Activity. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 66: 1019-1025.
- Fraser-Smith, A. 1972. The spectrum of geomagnetic activity index Ap. *J. Geophys. Res.*, 77: 4209-4220.
- Friis-Christensen, E., K. Lassen, J. Wilhelm, J. M. Wilcox, W. Gonzalez and D. S. Colburn. 1972. Critical component of the interplanetary magnetic field responsible for large geomagnetic effects in the polar cap. *J. Geophys. Res.*, 77: 3371-3376.
- Gazis, P.R., J.D. Richardson and K.I. Paularena. 1995. Long term periodicity in solar wind velocity during the last three solar cycles. *Geophys. Res. Lett.*, 22: 1165-1168.
- Herman, J. and R. Goldberg. 1978. *Sun, Weather y Climate*. NASA SP-426, Washington.
- Kane, R.P. 1997. Quasi-biennial and quasi-triennial oscillations in geomagnetic activity indices. *Ann. Geophysicae*, 15: 1581-1594.
- Makarova, L.N. and A.V. Shirochkov. 2004. The Sun and the solar wind variability of different time-scales and the climate dynamics. *Adv. Space Res.* 432-435.
- Murayama, T. 1974. Origin of the semiannual variation of geomagnetic Kp indices. *J. Geophys. Res.*, 79: 297-300.
- Mursula, K., I. Usoskin, I. and B. Zieger. 1997. On the claimed 5.5-year periodicity in solar activity. *Solar Physics*, 176: 201-210.
- Mursula, K. and J.H. Vilppola. 2004. Fluctuations of the solar dynamo observed in the solar wind and interplanetary magnetic field at 1 AU and in the outer heliosphere. *Solar Physics*, 221: 337-349.
- Mursula, K. and B. Zieger. 2000. The 1.3 year variation in solar wind speed and geomagnetic activity. *Adv. Space Res.*, 25, 1939.
- Olsen, N. 1994. A 27-month periodicity in the low latitude geomagnetic field and its connection to the stratospheric QBO. *Geophys. Res. Lett.*, 21: 1125-1128.
- Olsen, N. and M. Kiefer. 1995. Geomagnetic daily variations produced by a QBO in thermospheric prevailing winds. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 57: 1583-1589.
- Paularena, K.I., A. Szabo and J.D. Richardson. 1995. Coincident 1.3 year in the ap geomagnetic index and the solar wind. *Geophys. Res. Lett.*, 22: 3001-3004.
- Raja Rao, K.S. and K.T. Joseph. 1971. Quasi-biennial oscillation in the geomagnetic Sq field in the low latitude region. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 33: 797-805.

- Rangarajan, G.K. and T. Araki. 1997. Multiple timescales in the fluctuations of the equatorial Dst index through singular spectrum analysis. *Journal Geomagnetic Geoelectr.*, 3-20.
- Rangarajan, G.K. and L.M. Barreto. 2000. Long term variability in solar wind velocity and IMF intensity and the relationship between solar wind parameters & geomagnetic activity. *Earth Planets Space*, 52: 121-132.
- Rangarajan, G.K. and T. Iyemori. 1997. Time variations of geomagnetic activity indices Kp and Ap: an update. *Ann. Geophysicae* 15: 1271-1290.
- Richardson, I.G., E.W. Cliver, and H.V. Cane. 2002. Long-term trends in the interplanetary magnetic field strength and solar wind structure during the twentieth century. *J. Geophys. Res.* 107, 1304, doi:10.1029/2001JA000507.
- Russell, C.T. and R.L. McPherron. 1973. Semiannual variation of geomagnetic activity. *J. Geophys. Res.*, 78: 92-108.
- Schreiber, H. 1998. On the periodic variations of geomagnetic activity indices Ap and ap. *Ann. Geophysicae*, 16: 510-517.
- Sugiura, M. 1980. What Do We Expect in Magnetic Activity in the Current Solar Cycle?. *EOS Trans. AGU*, 61(43), 673.
- Troshichev, O.A. and V.G. Andrezen. 1985. The relationship between interplanetary quantities and magnetic activity in the southern polar cap. *Planet. Space. Sci.*, 33: 415-419.
- Troshichev, O.A., V.G. Andrezen and S. Vennerstrom. 1988. Magnetic activity in the polar cap- A new index. *Planet. Space. Sci.*, 36: 1095-1102.
- Troshichev, O.A., N.P. Dmitrieva and B. M. Kuznetsov. 1979. Polar cap magnetic activity as a signature of substorm development. *Planet. Space. Sci.*, 27: 217-221.
- Vennerstrom, S., E. Friis-Christensen, O.A. Troshichev and V.G. Andresen. 1991. Comparison between the Polar Cap Index, PC, and Auroral Electrojet Indices AE, AL and AU. *J. Geophys. Res.*, 96, 101-113.
- Vennerstrom, S. and E. Friis-Christensen. 1996. Long-term and solar cycle variation of the ring current. *J. Geophys. Res.*, 101: 24727-24732.
- Yacob, A. and B.N. Bhargava. 1968. On 26-month periodicity in quiet-day range of geomagnetic horizontal force and in sunspot number. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 30: 1907-1911.





## ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO SOBRE LAS BASES DE LA TEORÍA FRACTAL

Jorge O. Pierini <sup>1,2,3</sup> y Gerardo M. E. Perillo <sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Argentino de Oceanografía. jpierini@criba.edu.ar

<sup>2</sup> Departamento de Física de la Universidad Nacional del Sur

<sup>3</sup> Comisión de Investigaciones de la Provincia de Buenos Aires

<sup>4</sup> Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur

### RESUMEN

El análisis espectral ha sido convencionalmente utilizado como un método útil y eficiente para evaluar series de tiempo. Especialmente cuando el espectro sigue la ley de la potencia, su exponente es considerado como el índice que representa la irregularidad de la serie de tiempo. En tal sentido se evaluaron datos de corrientes y olas obtenidos en una marisma en Villa del Mar y en el Canal La Lista, ambos sitios en el estuario de Bahía Blanca. En el primer caso, los datos fueron adquiridos con un correntómetro acústico que mide las tres componentes del flujo a 25 Hz y, en el segundo, con otro correntómetro (ADP) que mide perfiles verticales de velocidad con una frecuencia de 9 Hz. El análisis se efectuó sobre extensas series de datos asumiendo que las fluctuaciones son estadísticamente estacionarias; sin embargo, se sabe que en ambientes dominados por marea, estas características varían en un intervalo corto de tiempo. Ello condiciona la longitud de la serie y la interpretación de los resultados. La investigación cuantitativa de series de tiempo no lineales basadas en teorías de caos determinísticas o estocásticas son una herramienta poderosa en el conocimiento de sistemas turbulentos y no periódicos, principalmente, en datos observacionales. En particular pueden proveer descripciones e interpretaciones en series de tiempo irregulares, las cuales no podrían ser gobernadas por un proceso físico estocástico ni tampoco empleando un método lineal. Por lo tanto, el trabajo presenta un análisis de un conjunto de datos oceanográficos, explica el método empleado, discute puntos críticos en la determinación de la dimensión fractal como índice para describir la irregularidad de las series temporales oceanográficas e incorpora una herramienta diferente para el análisis de este tipo de series.

**Palabras claves:** dimensión fractal-análisis espectral-series de tiempo-espectro de potencia.

### ABSTRACT

The spectral analysis has been conventionally used as a useful and efficient method for analyzing a time series. Especially when the spectrum follows the power law, your exponent is considered to be the index for representing the irregularity of the time series. The quantitative investigation of a nonlinear time series based in deterministic or stochastic chaos theories are a powerful tool to understand turbulent and no periodic systems, mainly in observational data. In particular it can provide descriptions and interpretations for irregular time series, which nevertheless might not be governed by a stochastic physical process and which are only poorly understood by linear methods. The present study considers oceanographic data measured in a experimental flume using a ADV Field Sontek and La Lista channel with a Acoustic Doppler Profiler Sontek equipments, which were analyzed using spectral analysis who show noise fluctuations over the power spectrum. The spectrum was calculated over a large series data assuming fluctuations statistically stationarity; however, since the statistical characteristics of fluctuations often vary for a short time interval, which conditions the number of the data used and the interpretation of the results. Therefore, this paper present a oceanographic data analysis, explain the method employed and discuss critical points in the determination of fractal dimension, like the index to describe the oceanographic time series irregularity and also incorporates a different tool to analyze this type of series.

**Keywords:** fractal dimension-spectral analysis-time series-power spectrum-oceanographic data.

## INTRODUCCION

El análisis de series de tiempo es una herramienta muy valiosa en el estudio de datos oceanográficos. Sin embargo, muchos de los métodos de análisis son más precisos cuando la longitud de la serie es larga, ya que pueden conducir a errores significativos si se aplican a datos experimentales de escasa o irregular cantidad. La turbulencia es un fenómeno natural que ocurre en todos los cursos de agua, usualmente se encuentra caracterizada por un movimiento desordenado y caótico sobre un amplio rango de escalas y frecuencias. Un gran número de fenómenos naturales exhiben una representación de la ley de la potencia y se emplea el análisis espectral para evaluar este tipo de series de tiempo. En particular, cuando la densidad espectral  $P(f)$  muestra un ruido blanco sin un marcado pico, este se aproxima a un espectro de energía de la forma  $P(f) \approx f^{-\alpha}$ , donde el proceso autoregresivo de orden uno muestra apreciablemente más energía en bajas frecuencias que en las altas ( $\alpha > 0$ ). Esta aproximación para este tipo de procesos es la descripción más simple, donde la variable  $\alpha$  indica la irregularidad de la serie temporal (Yamamoto y Hughson, 2006).

Mandelbrot (1977) incorporó un nuevo concepto para describir las características de las series de tiempo irregulares. Sería deseable conocer si el comportamiento de un sistema durante un cierto número de años puede ser extrapolado a intervalos de tiempo sustancialmente distintos. Si ello fuera cierto, el sistema en estudio podría ser considerado como un fractal en el tiempo y la metodología utilizada para el tratamiento de los objetos fractales sería de aplicación para su estudio.

La idea básica que subyace en las técnicas de análisis fractal es el concepto de autosimilitud y autoafinidad. Dicho concepto supone que un objeto fractal presenta un aspecto semejante independientemente del grado de detalle con que sea examinado. En

el caso de series temporales, el mayor o menor grado de detalle vendrá dado por la menor o mayor longitud de los intervalos temporales sobre los que se promedian las variables.

La persistencia a largo plazo es uno de los factores más importantes para caracterizar el patrón de una serie temporal. Ello se debe a que ésta es una característica con propiedad de larga memoria (explicar), donde la dependencia temporal persiste aún entre observaciones distantes. Estas series pueden ser caracterizadas por patrones cíclicos diferentes pero no periódicos (aclarar). Mandelbrot (1982), Turcote (1992) y Hall y Wolff (1995) señalan que estos procesos de larga memoria tienen dimensión fractal.

Este trabajo presenta la aplicación del análisis fractal para evaluar las propiedades de series de corrientes y olas obtenidas en dos sitios diferentes del estuario de Bahía Blanca, a través de la comprensión de su estructura de correlación. Lógicamente, en un sistema hidrodinámico complejo, como es el que se evalúa, puede ser un parámetro que proporcione una buena información sobre su comportamiento.

### **DIMENSION FRACTAL: PARAMETRO DE HURST**

Aunque el concepto de fractal fue introducido formalmente a mediados de los años 70 (Mandelbrot, 1975, 1977), Hurst (1965) describió un procedimiento de análisis estadístico asimilable a las técnicas fractales, desarrollado y dirigido expresamente al estudio de series temporales discretas sobre las crecidas del río Nilo. Analiza la autosemejanza de una serie temporal consigo misma en el transcurso del tiempo y proporciona una información equivalente a la dimensión de correlación. Este procedimiento, denominado análisis del rango reescalado (rescaled range analysis), calcula el estadístico R/S para diferentes intervalos temporales y permite establecer una relación

entre tres variables: la amplitud del intervalo de desviaciones acumuladas de una magnitud medible (rango estadístico, R), la desviación estándar de la misma (S) y el período de estudio ( $\tau$ ).

Actualmente se aplica en diversos campos, por ejemplo, en el análisis de las series temporales de variación de cotización en las bolsas (Willmann *et al.*, 2002), señales periódicas (Markovic y Koch, 2005), y siempre que interese comprobar la persistencia de una determinada información cuando el sistema al que se refiere evoluciona con el tiempo. Su desarrollo matemático puede resumirse en los siguientes pasos (ver Hurst, 1965 para la descripción completa del método):

1. Descomponer la serie en un conjunto de intervalos de una amplitud temporal determinada,  $\tau$ , calcular la media para cada intervalo y las desviaciones acumuladas de esta media. Para un vector  $x(t)$  que contiene T observaciones espaciadas uniformemente en el tiempo desde  $t=1$  hasta  $t=T$ , se define  $\hat{u}_\tau$  como

$$\hat{u}_\tau = \tau^{-1} \sum_{t=1}^{\tau} x(t)$$

y

$$X(t, \tau) = \sum_{t=1}^T (x_t - \hat{u}_\tau)$$

con varianza muestral dada por

$$S^2(\tau) = (\tau^{-1} \sum_{t=1}^{\tau} (x_t - \hat{u}_\tau)^2)^{1/2}$$

Así  $X(t, \tau)$  mide la diferencia entre la suma de las observaciones desde 1 a T comparada al promedio de las primeras  $\tau$  observaciones.

2. Hallar el intervalo de variabilidad de esta desviación como máximo menos mínimo y normalizarlo dividiendo por la desviación estándar. A esta amplitud normalizada se la suele llamar R/S. A cada valor de  $\tau$  se asigna el valor promedio de R/S sobre todos los

subintervalos que determina. Se elige entonces otro  $\tau$  y se procede de modo semejante, por lo que se obtiene un conjunto de valores  $\tau$  y sus R/S asociados. Se define el parámetro H, exponente de Hurst, como  $H = \log(R/S) / \log(\tau)$ . Su cálculo práctico puede hacerse representando  $\log(R/S)$  frente a  $\log(\tau)$ , de este modo la pendiente de la recta teórica obtenida es H. A esta representación gráfica se la llama "diagrama de Pox".

$$R(\tau) = \max_{1 < t < \tau} \{X(t, \tau)\} - \min_{1 < t < \tau} \{X(t, \tau)\}$$

y el estadístico R/S se obtiene de  $R(\tau) / S(\tau)$

Este análisis es robusto en el sentido de que su comportamiento está influenciado solamente por la persistencia a largo plazo. Detecta ciclos no periódicos aún cuando éstos tengan longitud mayor o igual al período muestral en estudio. Además, es un método adecuado para detectar correlaciones a largo plazo en procesos aleatorios. Diferentes autores han utilizado el análisis R/S para detectar persistencia a largo plazo en variables geofísicas (Mandelbrot y Wallis, 1969; Lovejoy y Schertzer, 1983; Lovejoy y Mandelbrot, 1985; Fluegeman y Snow, 1989; Bodri, 1994; Oñate, 1997). Mandelbrot y Wallis (1969) y Mandelbrot (1975) indican que el análisis R/S también permite deducir que muchos fenómenos naturales no son procesos aleatorios independientes, pero tienen correlación a largo plazo significativa y el  $R/S \gg (\tau)^H$ .

En general, el exponente de Hurst toma valores en el rango  $0 < H < 1$ . El valor de  $H = 0.5$  indica aleatoriedad de la señal: es el valor típico de un ruido browniano. Mientras que valores de  $H > 0.5$  son indicativos de persistencia es decir, la tendencia de la serie temporal es continuar creciendo o decreciendo, y será mayor con H tendiendo a 1. Un exponente menor que 0.5 indica antipersistencia, o sea, la tendencia es, en cierto sentido, contraria a si misma. En este caso las curvas tien-

den a oscilar de modo más errático, se trata de un sistema ergódico. Entonces se puede inferir que el exponente de Hurst es una medida de la información que la señal conserva al cabo de un cierto tiempo.

### METODOLOGIA

En este estudio los datos turbulentos se obtuvieron sobre una marisma en la localidad de Villa del Mar. Se empleó un correntómetro ADV3D (Sontek) montado sobre un tetrápodo y ubicado a 5 cm sobre la superficie de la marisma. Este equipo mide las tres componentes del flujo en punto. La marisma está dominada por *Spartina alterniflora* pero con baja densidad y con tallos de hasta 25 cm. Los datos fueron adquiridos a una frecuencia de 25 Hz durante más de 75 min mientras la marea cubría el sensor con una profundidad máxima de 1 m. Durante el experimento se registraron vientos intensos del Oeste que implicaron el desarrollo de olas de 5 a 15 cm de altura y 2 s de período (Perillo, 2006), por lo que la serie de tiempo presenta una combinación de corrientes de marea y olas.

Por otro lado, se obtuvieron perfiles de velocidad y dirección de la corriente con un Acoustic Doppler Profiler (Sontek) en el Canal La Lista, en la parte interna del estuario, durante un ciclo completo de marea. Si bien el equipo mide perfiles verticales, en este caso se empleó la serie de tiempo correspondiente

a la celda ubicada a 4 metros de profundidad donde se obtuvieron datos con un intervalo de muestreo de 60 s.

Para ambas series de tiempo se evaluó la dimensión fractal de las propiedades turbulentas de  $u'$ ,  $w'$  y  $u'w'$ , se descompuso en intervalos de amplitud temporal determinada  $\tau$  y se calculó el cociente normalizado,  $R/S$ , entre el rango muestral  $R(\tau)$  y la desviación estándar muestral  $S(\tau)$ . Este procedimiento se repitió para valores de  $\tau = 2^n$ , con  $n$  variando desde uno hasta el logaritmo de la longitud máxima de la serie. El exponente de Hurst será la pendiente de la línea recta obtenida al graficar  $\log(R/S)$  versus  $\log(\tau)$ . Mientras que la dimensión fractal se obtiene de  $D = 2 - H$ .

### RESULTADOS Y DISCUSION

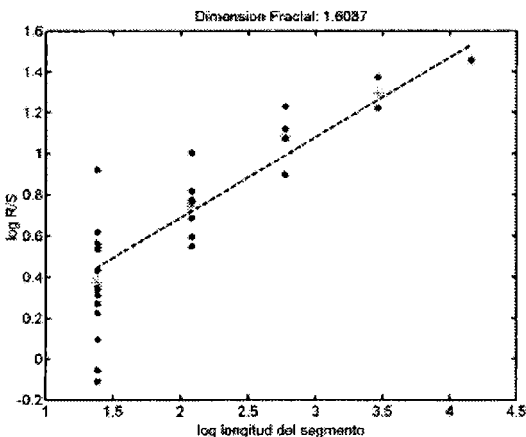
La Tabla 1 muestra los estadísticos descriptos por cada serie de datos turbulentos ( $u'$ ,  $w'$  y  $u'w'$ ). De acuerdo con nuestras observaciones, se necesitan al menos 20000 datos para evaluar la dimensión fractal. En las Figuras 1 y 2 se observa la dimensión fractal evaluada por el método  $R/S$  en función del número de datos graficados. El parámetro fractal alcanza un valor constante por encima de los 20000 datos. Además se calcularon para cada serie  $u'$ ,  $w'$  y  $u'w'$  la dimensión fractal media, parámetro que puede ser empleado para clasificar el comportamiento temporal de la serie (Fig. 1 y 2).

Tabla 1. Estadísticos de las Series

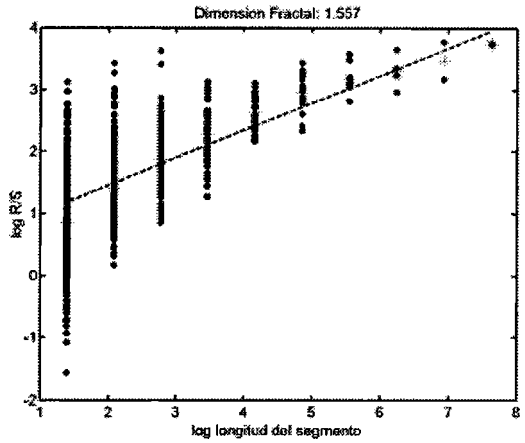
Serie	ADV3D			ADP		
	$u'$	$w'$	$u'w'$	$u'$	$w'$	$u'w'$
Estadístico						
Cantidad de datos	102975	102975	102975	655	655	655
Int.de muestreo (seg)	0.04	0.04	0.04	60	60	60
Media (cm.s <sup>-1</sup> )	-	-	89.35	-	-	20.65
Mediana (cm.s <sup>-1</sup> )	-0.90	4.09	-26.24	6.93	-0.21	12.73
Mínimo (cm.s <sup>-1</sup> )	-55.38	-293.01	-3452.2	-60.47	-3.81	-148.69
Máximo (cm.s <sup>-1</sup> )	56.86	216.75	12888	60.47	4.59	234.37
D. Standard (cm.s <sup>-1</sup> )	13.26	34.84	465.19	38.75	1.43	54.24

Mediante la variación de la longitud de la serie de tiempo de las fluctuaciones de velocidad, se evaluaron la dimensión fractal observando la existencia de una cantidad mínima de datos donde la dimensión fractal se vuelve prácticamente constante (Figs. 3, a 5). Valor que establece que las propiedades turbulentas de las series oceanográficas pueden ser aproximadas por la teoría fractal. Por otro lado, se observan en la evolución temporal de la dimensión fractal (Figs. 3 a 5) oscilaciones no periódicas en función de la cantidad de datos de la serie  $u'$ ,  $w'$  y  $u'w'$ . A los efectos de determinar la componente que más aporta a este comportamiento, se procedió a calcular la correlación cruzada entre las series para ambos conjuntos de datos (Tabla 2).

Los valores de la Tabla 2 indican que las oscilaciones de la dimensión fractal se ven más influenciadas por la componente  $w'$ , el parámetro fractal pone de manifiesto las diferentes alteraciones de las fluctuaciones de la componente  $w'$  (ADV3D), originadas principalmente por otros procesos, de hecho recordemos que durante la adquisición de los datos había viento y olas. Perillo (2006) estimó

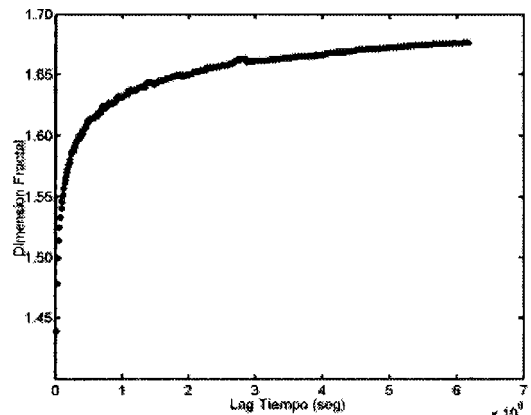


**Figura 1.** Gráfico de Pox para la serie temporal de  $u'w'$  obtenida con ADP en Canal La Lista. Los \* establecen el valor medio, la pendiente de la recta es el parámetro de Hurst ( $r^2= 0.97$ ,  $F=105.99$ ,  $p=0.002$ ) y la dimensión fractal evaluada como  $D = 2 - H = 1.6087$ .



**Figura 2.** Gráfico de Pox para la serie temporal de  $u'w'$  obtenida con ADV3D en Villa del Mar. Los \* establecen el valor medio, la pendiente de la recta es el parámetro de Hurst ( $r^2= 0.96$ ,  $F=173.63$ ,  $p=0.001$ ) y la dimensión fractal evaluada como  $D = 2 - H = 1.557$ .

que el esfuerzo de corte originado por las olas es 100 veces mayor al esfuerzo de las corrientes. Esta evolución de la dimensión fractal se encuentra muy vinculada al comportamiento hidrodinámico, corroborado por los altos valores significativos de correlación. Por otro lado, la menor influencia de correlación se evidencia para los datos de ADP, debido a que estos datos fueron obtenidos a 4 m de profun-



**Figura 3.** Gráfico de la Dimensión Fractal en función de la cantidad de datos para la serie temporal de  $u'$  obtenida con ADV3D en Villa del Mar.

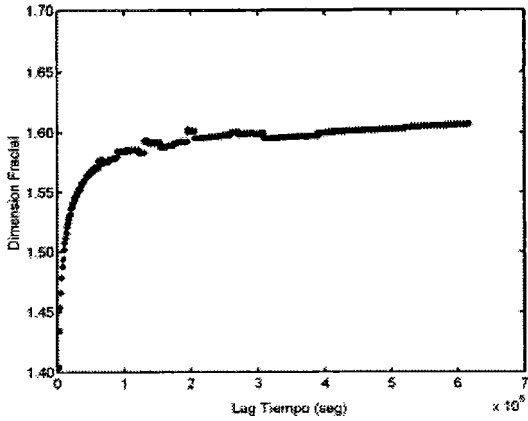


Figura 4. Gráfico de la Dimensión Fractal en función de la cantidad de datos para la serie temporal de  $w'$  obtenida con ADV3D en Villa del Mar.

idad donde la influencia de la componente  $w'$  se encuentra afectada por procesos de menor escala.

Los resultados de esta investigación muestran que la dimensión fractal es potencialmente una herramienta para describir en forma explícita, objetiva y automática series de datos oceanográficos. Se estudiaron las variaciones de las componentes turbulentas utilizando metodologías de análisis fractal, ya que estas suministran la información necesaria

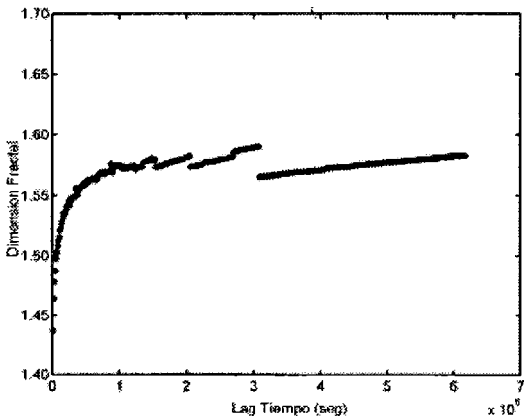


Figura 5. Gráfico de la Dimensión Fractal en función de la cantidad de datos para la serie temporal de  $u'w'$  obtenida con ADV3D en Villa del Mar.

Tabla 2. Correlación de  $u'w'$  vs  $u'$ ,  $w'$  para ambas series de datos, correlaciones significativas con  $p < 0.05$ )

Serie		$u'$	$w'$
ADV3D	$u'w'$	0.84	0.93
ADP	$u'w'$	0.46	0.72

para describir su comportamiento. En las series analizadas de ADV3D se determinó que la dimensión fractal se vuelve constante a partir de una cantidad de 20000 datos, equivalentes a 800 segundos de registro. De igual forma para el conjunto de datos del ADP se vislumbra el mismo comportamiento, pero en este caso a una escala menor. Además se evaluó estadísticamente la importancia de cada una de las componentes turbulentas, observándose que las fluctuaciones verticales son las que generan oscilaciones en la dimensión fractal, manifestando la evolución hidrodinámica de la serie. Al igual que sucede en otras ramas de la ciencia, estos nuevos métodos de estudio no van a sustituir a las tradicionales técnicas de análisis aunque se convertirán probablemente en una herramienta de investigación complementaria.

## REFERENCIAS

Bodri, L. 1994. Fractal analysis of climatic data: Mean annual temperature records in Hungary. *Theoretical and Applied Climatology*, 49, 53–57.

Fluegeman, R.H. and R.S. Snow. 1989. Fractal analysis of long-range paleoclimatic data: oxygen isotope record of Pacific core V28-239. *PAGEOPH* 131, 307–313.

Hall, P. and R.C. Wolff. (1995). On the strength of dependence of a time series generated by a chaotic map. *Journal of time series analysis*. 16(6), 571-583.

Hurst, H.E. 1956. Methods of using long-term storage in reservoirs. *Proc. Inst. Civil Engrs., Part 1*, 519.

- Lovejoy, S. and B.B. Mandelbrot. 1985. Fractal properties of rain, and a fractal model, *Tellus*, 37A, 209-232.
- Mandelbrot, B.B. and J.R. Wallis. 1969. Some Long-Run Properties of Geophysical Records. *Water Resources Research*, 5, 2, 321-340.
- Mandelbrot, B.B. 1975. *Les objets fractals: forme, hasard et dimension*. Paris: Flammarion, pp.187.
- Mandelbrot, B. 1982. *The fractal geometry of nature*. New York, W.H. Freeman y Co, pp.461.
- Markovic, D. and M. Koch. 2005. Sensitivity of Hurst parameter estimation to periodic signals in time series and filtering approaches. *Geophysical Research Letters*, 32(17), L17401.
- Oñate, J.J. 1997. Fractal analysis of climatic data: annual precipitation records in Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 56, 83-87.
- Perillo, M.M. 2006. *Análisis de las corrientes y olas de la marisma de Villa del Mar, Argentina*. Informe Técnico, Departamento de Física, Universidad Nacional del Sur, pp.20.
- Schertzer, D. and S. Lovejoy. 1983. IUTAM symposium on turbulence and chaotic phenomena in fluids, *Turbulence and chaotic phenomena in fluids, proceedings*, 5-10 Sept., Kyoto, Japan, 141-144.
- Turcotte, D.L. 1992. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp.221.
- Willmann, R.D., G.M. Schutz and D. Challet. 2002. Exact Hurst exponent and crossover behavior in a limit order market model. *Physica A* 316, 430-443.
- Yamamoto Y. and R.L. Hughson. 2006. Extracting fractal components from time series. *Physica* 68D, 250-264.





## VARIACION ANUAL DE LA PESCA DEL LANGOSTINO Y CAMARON EN EL ESTUARIO DE BAHIA BLANCA

*Patricia M. Cervellini<sup>1</sup> y María Cintia Piccolo<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>Depto. Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia (pcervell@uns.edu.ar)

<sup>2</sup>Instituto Argentino de Oceanografía (ofpiccol@criba.edu.ar)

<sup>3</sup>Depto de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur.

### RESUMEN

La pesca de langostino (*Pleoticus muelleri*) y de camarón (*Artemesia longinaris*), en las aguas costeras que forman los canales e islas del estuario de Bahía Blanca constituyen una pesquería artesanal desde hace varias décadas y sus capturas ingresan al mercado de consumo de las principales ciudades de la Argentina. Estas dos especies presentan continuas fluctuaciones de la biomasa en el área de Bahía Blanca. En algunos años, las capturas comerciales fueron excepcionalmente bajas, no permitiendo a los pescadores establecidos en la zona realizar su actividad en forma continua. Existen estudios que evalúan las variaciones de abundancia de estas dos especies con relación a distintas variables como fuente de alimentación, parámetros ambientales, calidad de las aguas, tipo de sustrato, etc. Todas ellas puedan considerarse posibles causantes en la disminución de las capturas de estos crustáceos. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue comenzar a estudiar una de estas variables y tratar de analizar su relación con la variación estacional de la pesca del langostino y camarón en el estuario de Bahía Blanca. Se eligió en primera instancia la temperatura del agua. Se estudió el periodo 1992 -2005. Se trabajó con los datos de captura de desembarco (kg) mensuales y anuales de diferentes periodos. La temperatura del agua se midió en forma continua en dos sitios del estuario y mostró el típico ciclo anual, siguiendo la trayectoria de la temperatura del aire. Las temperaturas medias anuales fluctuaron entre un mínimo de 14,85 °C en 1997 y un máximo de 16,3 °C en 1998. Los volúmenes de captura declarados para *Artemesia longinaris* (camarón) mostraron importantes variaciones dentro del periodo considerado, con un máximo significativo en 1992 (271,9 tn). Las capturas mínimas se registraron en el año 2000 (8.5 tn), incrementándose hasta la actualidad. Por otro lado *Pleoticus muelleri* (langostino) presentó un volumen de captura inferior al de camarón, con máximos significativos (512 tn en 1992 y 244,9 tn en 2003) que se repetirían con una periodicidad de aproximadamente 10 años. Al estudiar la relación entre la temperatura del agua y las capturas anuales de camarón, se observa que cuando la temperatura media anual supera los 16 °C, al año siguiente o en el mismo año la captura del recurso decrece en forma significativa. Sin embargo no se encontró una relación apreciable entre la temperatura del agua y el aumento o disminución de las capturas de langostino. Para esta especie las máximas capturas a lo largo del año concordaron con temperaturas medias anuales de 15.3 °C. Al estudiar estadísticamente la relación entre la temperatura media mensual y las capturas de ambas especies se encontró una relación significativa solamente para el camarón con un retardo de dos meses.

**Palabras Claves:** langostino-camarón-capturas-estuario de Bahía Blanca

### ABSTRACT

The fishing of prawn *Pleoticus muelleri* and of shrimp *Artemesia longinaris* in the coastal waters that forms the channels and islands of the estuary of Bahía Blanca constitute a traditional fishery from several decades ago and their captures enter to the market of consumption of the principal cities of Argentina. These two species introduce continuous fluctuations of the biomass in the area of Bahía Blanca. In some years, the commercial captures were exceptionally low not permitting to the fishermen

established in the zone carry out their activity in a continuous form. The existing studies evaluate the variations of abundance of these two species with relationship to different variables like alimentation, environmental quality of the waters, type of substrate, etc, all of them could be consider principal constituent in the decrease of the captures of these crustaceans. The objective of the present work was to study one environmental variable (water temperature) and to analyze its relationship with the seasonal variation of the fishing of the prawn and shrimp in the estuary of Bahía Blanca. The studied period was 1992- 2005. Monthly and annual landing capture (kg) of several periods were studied. The temperature of the water was measured in two sites of the estuary and showed the typical annual cycle, following the trend of the temperature of the air. The mean annual temperatures fluctuated from maximum 16,3 °C in 1998 to minimum 14,85 °C in 1997. The volumes of capture declared for *Artemesia longinaris* (shrimp) showed important variations within the studied period, with a significant maximum in 1992 (271,9 tn). The minimal capture was recorded in 2000 (8.5 tn), incrementing until the present. On the other hand *Pleoticus muelleri* (prawn) showed less volumen of capture than the shrimp, with significant maxima (512 tn in 1992, 244,9 tn in 2003) that would be repeated with a frequency of approximately 10 years. It was observed that when the annual water temperature overcomes 16 °C, the following year or in the same year the capture of the resource fells in significant form. For the prawn the maximum captures along the year agreed with mean annual temperatures of 15.3 °C. There was not found a significant relationship between the temperature of the water and the variability in capture of these species. On the other hand, it was found significant relationship between the mean monthly temperature and the capture of shrimp.

**Keywords:** shrimps-prawn-captures-Bahía Blanca estuary

## INTRODUCCION

La explotación de los camarones peneidos costeros de zonas tropicales y subtropicales es una actividad muy antigua. Tradicionalmente han sido explotados por la pesca artesanal de numerosos países como México, Perú Venezuela, Ecuador. Los camarones han tenido que soportar, desde principios de los años cincuenta, un enorme incremento de la explotación debido al desarrollo de una pesca industrial cada vez más perfeccionada y especializada.

Una de las características esenciales de numerosos camarones costeros es la existencia de un ciclo vital anfibiótico, que incluye una fase juvenil muy costera o estuarina explotada por la pesca artesanal y una fase adulta más profunda explotada por la pesca industrial. Este comportamiento hay que tenerlo en cuenta cuando se realiza un estudio de la pesquería de estas especies. Por otro lado, el estudio del ciclo vital completo es primordial. Particularmente es importante conocer la dinámica de las fases juvenil y adulta y determinar la

cronología de los puntos claves de este ciclo: reclutamiento larvario, migración de los juveniles, edad y reclutamientos sucesivos en diferentes pesquerías, edad de maduración, longevidad, etc. (Cervellini, 2001; Hoffmeyer y Cervellini, 2004)

En el estuario de Bahía Blanca existe una importante comunidad pesquera artesanal y comercial, que desarrolla su actividad utilizando principalmente los puertos de Ingeniero White y Coronel Rosales. Las dos especies que se capturan son el langostino (*Pleoticus muelleri*) y el camarón (*Artemesia longinaris*), ambas especies ingresan en el mercado de consumo de las principales ciudades de la Argentina como Buenos Aires y Mar del Plata. El langostino es la principal especie de peneido del litoral argentino, se lo captura a profundidades que oscilan entre 3 a 10 metros. Es una especie de aguas templado-frías y hábitos bentónico- demersales. Se distribuye desde las costas de Santa Cruz, Argentina (50° S) hasta Río de Janeiro, Brasil (23° S). Por otra parte, el camarón argentino *Artemesia longinaris* es una especie de aguas templado-frías, nerítico

costras. Los camarones adultos se distribuyen desde Cabo Sao Tomé 43°S, hasta el litoral de Chubut, Argentina (Boschi *et al.*, 1992). Las mayores abundancias se encuentran entre el Estado de Río Grande do Sul (Brasil) y el litoral de Chubut. Se lo captura en concentraciones apreciables sobre una estrecha franja costera que no sobrepasa los 9 km, a profundidades que oscilan entre 2 a 30 metros. En el estuario de Bahía Blanca se lo pesca en las mismas zonas que el langostino pero presenta menor interés por su menor tamaño.

Los trabajos en biología sobre estos crustáceos se iniciaron en la Argentina aproximadamente en el año 1953 en la región de pesca de Mar del Plata, estas investigaciones se han orientando a programas de marcación, campañas exploratorias y cultivo en el laboratorio. Los primeros antecedentes sobre dinámica poblacional fueron realizados por Boschi y Angelescu (1962), Scelzo y Boschi (1975), Boschi y Scelzo (1977), Petriella (1984), Fenucci *et al.* (1981), Iorio *et al.* (1990) entre otros, quienes reportaron aspectos relacionados con la reproducción, crecimiento y tasas de explotación. Trabajos posteriores han cubierto otros aspectos sobre estos interesantes crustáceos como estudios taxonómicos, de distribución, fisiología de la muda y crecimiento experimental sobre mortalidad, nutrición e identificación de los diferentes estadios larvales y postlarvales de la especie. Ninguno de ellos ha abarcado en profundidad la zona del estuario de Bahía Blanca.

Es característica en la pesquería de langostino y camarón que exista una fuerte fluctuación en la biomasa disponible para la pesca, la cual se refleja en los desembarcos tanto mensuales como anuales (Bertuche *et al.*, 2000). Este fenómeno no debe explicarse mediante una única causa. Sin duda las variabilidades en tasas de captura son producidas por diferentes factores, incluyendo variaciones espacio - temporales de la biomasa, cambios

en la eficiencia de las embarcaciones así como también por factores ambientales (Hinton y Nakano, 1996).

Para el océano Atlántico Sudoccidental existen estudios que evalúan las variaciones de abundancia de estas dos especies en relación a distintas variables tales como fuente de alimentación, análisis de fondos de pesca, tipo de sedimento, etc. (Roux y Fernández, 1997, Roux, 2000). Estas variables pueden considerarse causantes de la disminución de la abundancia de estas especies. Esta información está basada en la pesquería de langostino patagónico, ya que la misma presenta mayor trascendencia económica en el escenario pesquero nacional que en el de la costa bonaerense. De este modo son escasos los antecedentes para regiones costeras de la provincia de Buenos Aires. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue comenzar a analizar la variación estacional de la pesca del langostino y camarón y su relación con la temperatura del agua, una de las variables que se considera significativa en el desarrollo de cualquier especie marina.

## **CARACTERISTICAS AMBIENTALES DEL ESTUARIO DE BAHIA BLANCA**

El estuario de Bahía Blanca, situado al sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1) puede describirse como un estuario mesomareal conformado por una serie de canales orientados en dirección NO-SE que quedan separados por islas, amplias marismas bajas y planicies de marea. Está caracterizado por poseer un canal principal ubicado en el extremo norte del estuario y cuya longitud es algo más de 60 km. En su cabecera tiene un ancho máximo de 200 m, mientras que cerca de su boca puede alcanzar entre 3 y 4 km. La profundidad media es de 10 m, aunque llega a máximos de hasta 25 m frente a Puerto Rosales (Perillo y Piccolo, 1999). Presenta una mezcla parcial en su zona interior durante las

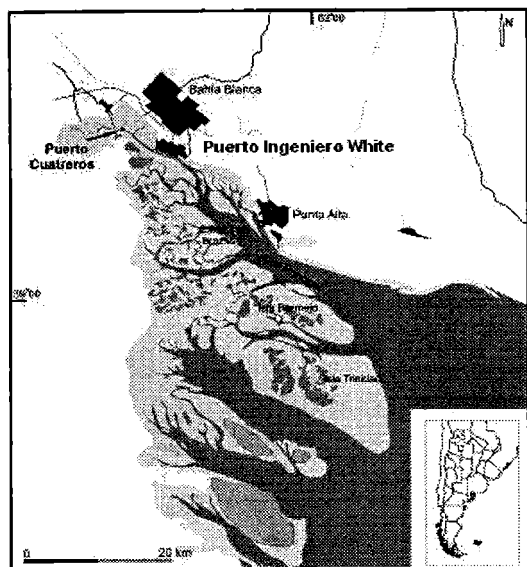


Figura 1. Área de estudio.

fuertes descargas del Río Sauce Chico, pero durante la época de escasa precipitación resulta ser seccionalmente homogéneo. En cambio, en la zona exterior se presenta, la mayor parte del tiempo, como seccionalmente homogéneo y con salinidades del orden de la plataforma continental interior adyacente. Tanto en la distribución longitudinal de los valores medios como en los perfiles de temperatura, se observa un leve decrecimiento de la temperatura desde la cabecera hasta la desembocadura. Este decrecimiento es poco notable en primavera y otoño. La distribución vertical de temperatura es homogénea a lo largo de todo el estuario (Piccolo y Perillo, 1990). La temperatura superficial media anual del agua es de 13 °C variando entre 21.6 °C en verano y 8.5 °C en invierno. (Perillo *et al.*, 1987; Cervellini, 2001). La salinidad media a lo largo del estuario muestra un crecimiento exponencial desde su cabecera hasta los primeros 6 km y está regida por la descarga de los arroyos, principalmente el Sauce Chico. En la desembocadura del estuario la salinidad media es de 34 ‰ (Piccolo y Perillo, 1990). Una característica que distingue al estuario de

Bahía Blanca es la presencia de extensas planicies de marea dominadas en su mayor parte por pastos salados (*Spartina*, *Salicornia*) alternando con los clásicos cangrejales de *Chasmagnathus granulata* que ocupan las zonas de planicie de marea más cercanas a los canales. Los sedimentos que predominan son limo-arcillosos con predominio de arenas en los sectores más profundos y desembocadura de canales (Cuadrado *et al.*, 2004)

## MATERIAL Y METODOS

Para el estudio se han considerado los datos mensuales de captura de camarón y langostino (kg) de la Dirección de Desarrollo Pesquero del Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires y los datos anuales de desembarques marítimos totales por especie (tn) obtenidos de las estadísticas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) de la República Argentina. La temperatura del agua se midió en forma continua en dos sitios del estuario de Bahía Blanca (Puerto de Ingeniero White y Puerto Cuatreros). Se estudio el período 1992-2005. Se aplicaron técnicas estadísticas estándar.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La pesca de langostino y camarón se realiza en las aguas costeras que forman los canales de acceso al estuario de Bahía Blanca (entre Puerto de Ingeniero White y Bahía Anegada, islas Trinidad y Bermejo, etc.). La zona del Rincón que se encuentra aguas afuera del mismo también presenta una importante pesquería artesanal con cifras de 219 tn en los últimos 5 años. El arte de pesca es una red camaronera de fondeo. Las embarcaciones son menores a los 15 metros de eslora y en épocas de mucha abundancia se utilizan embarcaciones menores tipo canoas. La pesca se realiza en una bajante o subiente de manera que la

**Variación anual de la pesca del langostino y camarón en el estuario de Bahía Blanca.**

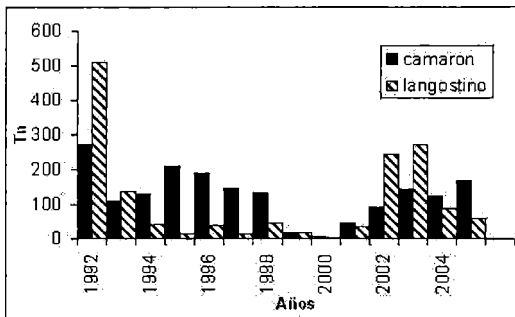
marea arrastra a los langostinos al interior de las redes. Existen dos épocas de pesca, la temporada de verano (enero a mayo) cuando se pesca a media agua y la temporada de invierno (agosto hasta la primavera) donde se los captura a mayor profundidad. En el estuario la pesca se realiza en diferentes sitios pero es en el Canal Principal de Navegación el más frecuentado por las embarcaciones, donde se extrae la mayor biomasa. (Suquele y Coulatti, 2004)

El estudio de las capturas anuales en el estuario de Bahía Blanca mostró un comportamiento diferente en las dos especies estudiadas (Fig. 2). En el caso del camarón, esta especie presenta variaciones interanuales significativas, lo que demuestra que es una pesquería inestable en términos de rendimiento. Durante el período de estudio presentó un máximo en 1992 (271,9 tn), seguido por un máximo secundario en 1995 (208,1 tn) y otro menor en el 2005. Mientras que la captura mínima se registró en el año 2000 con 8.5 tn, incrementándose a partir de ese año. Como se mencionó anteriormente, los máximos de captura del camarón se observaron en los años 1992, 1995 y 2005, seguidos de mínimos en los años 1999 y 2000. En este último año se produjo importante escasez del recurso en el área. El análisis de la serie de tiempo mostró

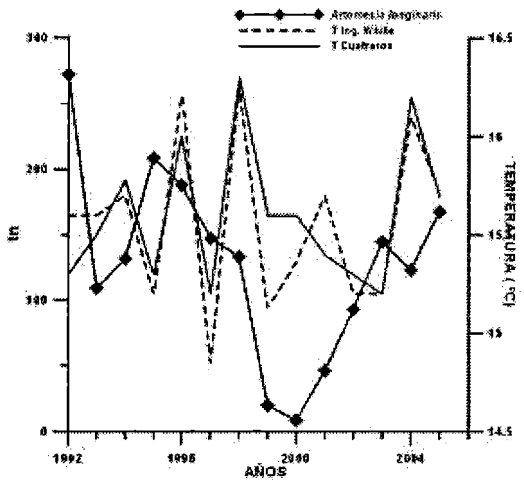
para esta especie una periodicidad de aproximadamente 3 a 5 años. (Fig. 3).

En relación al langostino, no se observó un gran incremento en las capturas en el estuario, no obstante resulta interesante destacar la importancia de la explotación del recurso en el sector bonaerense, dado que el desembarco declarado en el Puerto de Mar del Plata es algo menor al declarado en el área de Bahía Blanca (Bertuche *et al.*, 2000). El análisis de los datos de captura muestra un volumen inferior al del camarón, con máximos de 512 tn en 1992 y 244,9 tn en 2003. A pesar de no tener una serie más extensa de capturas de esta especie, en principio, se observaría una periodicidad de aumento de las mismas de aproximadamente 10 años ya citada por Wyngaard y Bertuche, (1982). (Fig. 4)

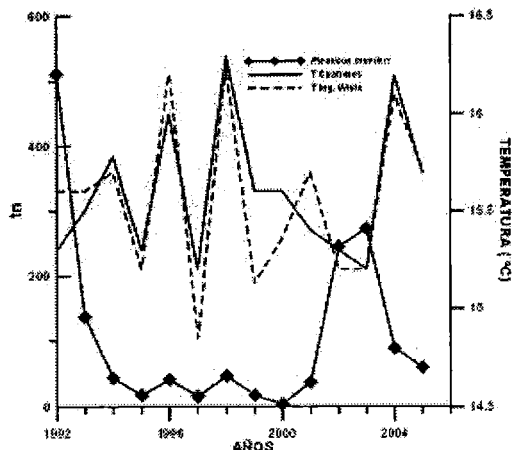
Las temperaturas medias anuales del agua durante el período estudiado fluctuaron entre un mínimo de 14,85 °C en 1997 y un máximo de 16,3 °C en 1998. Cuando se estudia la relación entre la temperatura y las capturas de este recurso se observa que cuando esta supera los 16 °C, al año siguiente o en el mismo año la captura del recurso decrece en forma significativa. Cabe destacar que la temperatura



**Figura 2.** Toneladas anuales de langostino y camarón desembarcados en el estuario de Bahía Blanca durante el periodo 1992 - 2005.



**Figura 3.** Capturas anuales de camarón y fluctuación de la temperatura del agua en el estuario de Bahía Blanca. (Periodo 1992 - 2005).



**Figura 4.** Capturas anuales de langostino y fluctuación de la temperatura del agua en el estuario de Bahía Blanca. (Período 1992 - 2005)

media del estuario es 15.5 °C, por lo tanto el aumento de 1 °C en la temperatura media representa un incremento importante en esta variable, que podría estar relacionado con la presencia de esta especie en el estuario. Para reforzar lo expresado se necesita una serie más extensa de datos.

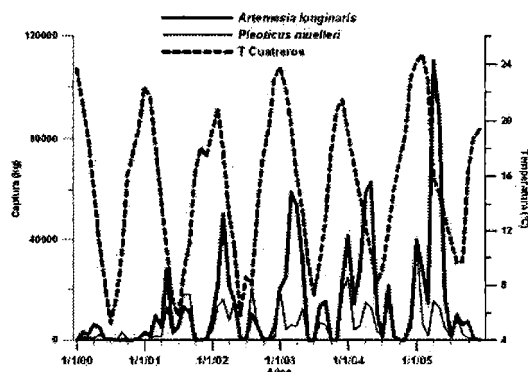
Como fue expresado, las capturas de langostino fueron de menor importancia que el camarón (Fig. 4). Las máximas capturas se registraron a temperaturas medias anuales de 15.3 °C. No se encontró una relación apreciable entre la temperatura del agua y el aumento o disminución de esta especie.

Cuando se analiza las capturas mensuales durante un período de cinco años (2000-2005) de las dos especies en estudio (Fig. 5) se observa nuevamente que la captura de camarón es superior a la del langostino, pero la variabilidad mensual es mayor produciéndose un aumento en las capturas desde el año 2001 hasta el 2005 inclusive. Para ese período, la temperatura media mensual mínima fue 5,3 °C en el mes de julio de 2000 y la máxima de 24,7 °C en febrero de 2005. El análisis de la temperatura del agua durante el período de estudio mostró el típico ciclo anual, siguiendo la trayectoria de la temperatura del aire. La

temperatura media fue 15,2°C y se observó una disminución significativa a partir del año 2005 de aproximadamente 2 °C. Se efectuó un análisis de regresión entre las temperaturas medias mensuales y las capturas de ambas especies. No se encontró una relación entre la temperatura del agua y la captura del langostino, en cambio para el camarón, se halló una relación significativa con la temperatura del agua para un retardo de 2 meses ( $r = 0.51$ ,  $p < 0.00001$ ,  $F(1,68) = 24,337$ ).

### CONCLUSIONES

Del estudio realizado se destaca que ambas especies se comportan de manera diferente. Tal como se expresó en párrafos precedentes, la periodicidad de capturas totales y mensuales presenta una variación interanual distinta para cada especie. El camarón presentó máximos de capturas con una fluctuación de entre 3 y 5 años. Para el langostino la variabilidad en las capturas se manifiesta en forma decadal, estos resultados son coincidentes con lo observado por Wyngaard y Bertuche (1982) quienes detectaron para la misma zona de estudio un ciclo de producción entre 1955 y 1979 que se repite con una periodicidad de aproximadamente 10 años. Es importante estudiar las



**Figura 5.** Captura mensual del camarón y del langostino y fluctuación de la temperatura del agua en Puerto Cuatrerros. (Período 2000-2005)

características biológicas de estas dos especies, dado que la pesquería del estuario, en general, depende fundamentalmente de las variaciones cíclicas en la abundancia de estos dos recursos. Estos estudios son preliminares y aunque se observa relación con la temperatura del agua, estos resultados no son concluyentes y se necesitaría una serie de tiempo más extensa en datos de captura de estos dos peneidos así como también más registros de temperatura del agua. Futuros trabajos incluirán otras variables ambientales para tratar de explicar la fluctuación encontrada en los resultados.

**Agradecimientos.** El estudio se efectuó con el apoyo del proyecto PICT 07-12421 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Universidad Nacional del Sur y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

## REFERENCIAS

- Bertuche D., K. Fischbach, A. Roux, M. Fernández, y R. Piñeiro. 2000. Langostino. En Bezzi et al., ED. Síntesis del estado de las pesquerías marítimas argentinas y de la cuenca del Plata. Años 1997-1998. con la actualización de 1999. 179-190. Buenos Aires, Argentina.
- Boschi E.E, K Fischbach y M.I. Iorio. 1992. Catálogo ilustrado de los Crustáceos Estomatópodos y Decápodos Marinos de Argentina. Fren. Mar. 10. Sec.A: 7-94.
- Boschi y Angelescu, 1962. Descripción de la morfología externa e interna del langostino con algunas aplicaciones de índole taxonómica y biológica. Bol.Inst. Biol.Marina 1-73
- Boschi E.E, y M. Scelzo. 1977. Desarrollo larval y cultivo del camarón comercial de Argentina *Artemesia longinaris* Bate (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). FAO Inf. de Pesca 159 (1):287-327.
- Cervellini, P. M. 2001. Variabilidad en la abundancia y retención de larvas de Crustáceos Decápodos en el estuario de Bahía Blanca (Pcia. De Bs. As.), Argentina. Investigaciones Marinas 29, 2. Chile.
- Cuadrado D.G., S.S. Ginsberg, y E.A. Gomez. 2004. Geomorfología. Ecosistema del estuario de Bahía Blanca. Piccolo, M.C y M. Hoffmeyer eds. Editorial Sapienza: 29:38.
- Fenucci J.L, M.I. Iorio y A.M. Petriella. 1981. Efectos de la alimentación natural y artificial en el crecimiento del camarón *Artemesia longinaris* Bate. Rev. Lat. Acui. SELA. 1:1-17.
- Hinton, M. and H. Nakano. 1996. Standardizing catch and effort statistics using physiological, ecological, or behavioural constraints and environmental data, with an application to blue marlin (*Makaira nigricans*) catch and effort data from Japanese long line fisheries in the Pacific. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull., 21: 171-197.
- Hoffmeyer M.y P.M. Cervellini. 2004. Zooplankton Temporario Piccolo, M.C y M. Hoffmeyer eds. Editorial Sapienza. 153-161.pp.
- Iorio M.I., M.A. Scelzo y E.E. Boschi. 1990. Desarrollo larval y postlarval del langostino *Pleoticus muelleri* Bate, 1888 (Crustacea, Decapoda, Solenoceridae) Ser. Sci.Mar. 54(4): 329-341.
- Perillo G.M.E. y M.C. Piccolo. 1999. Geomorphological physical characteristics of the Bahía Blanca estuary, Argentina. The argentina estuaries: a review. In. G.M. Perillo, M.C. Piccolo y M.Pino-Quivira (eds.) Estuarios of South America: Their geomorphology and dynamics. Germany: Springer: 195-216.
- Perillo, G.M.E., J.M. Arango y M.C. Piccolo. 1987. Parámetros físicos del estuario de Bahía Blanca, Período 1967-1986. IADO Informe Técnico. 250pp.
- Petriella A.M. 1984. Estudio del ciclo de muda del camarón *Artemesia longinaris* Bate. II. crecimiento y frecuencia de muda. Rev. Lat. Acui.29:11-21.
- Piccolo, M.C. y G.M.E. Perillo. 1990. Physical characteristics of the Bahía Blanca estuary (Argentina) Estuarine Coastal and Shelf Science 31:303-317pp.
- Roux A.M., y M. Fernández. 1997. Caracterización de los fondos de pesca del langostino patagónico *Pleoticus muelleri* en el Golfo San Jorge

- y litoral de la provincia de Chubut-Argentina. INIDEP. Inf. Téc. 131-28.
- Roux, A.M. 2000. Evaluación del estado de los fondos de pesca del langostino *Pleoticus muelleri* a través del análisis de la fauna bentónica acompañante en el Golfo San Jorge y litoral de Chubut, Argentina. Frente Marítimo 18, Sec A: 143-149.
- Scelzo M. y E.E. Boschi. 1975. Cultivo del langostino *Hymenopeneus muelleri* (Crustacea, Decapoda. Penaeidae) Phy. 34(88):193-197.
- Suquele, P.N. y D.C. Coulatti. 2004. La pesca artesanal y comercial en los puertos de la Ría de Bahía Blanca, Bs.As. Análisis de los partes de pesca correspondientes a los años 2000, 2001, 2002, 2003 y ene-marz2004. Ministerio de Asuntos Agrarios. Gobierno de la Pcia de Bs. As. Boletín 2: 1-14.
- Wyngaard J.G. y D.A. Bertuche. 1982. Algunos aspectos de la biología pesquera del langostino *Pleoticus muelleri* de la Bahía Blanca y un análisis del desembarco comercial en el período 1955-1979. INIDEP 3; 59-76.



## ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS USOS DEL SUELO MEDIANTE APLICACION DE TELEDETECCION Y SIG

*Alejandra M. Geraldi*<sup>1</sup>, *M. Cintia Piccolo*<sup>1,2</sup> y *Gerardo M. E. Perillo*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Argentino de Oceanografía, CC N° 804, 8000 Bahía Blanca. ageraldi@criba.edu.ar

<sup>2</sup> Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

### RESUMEN

Las lagunas Las Encadenadas del Oeste se localizan en el centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. El objetivo del presente trabajo es analizar los cambios en el uso y cobertura del suelo para establecer una relación con la calidad del agua de las lagunas, con el fin de determinar si esos cambios afectaron la transparencia de las mismas. Se realizaron clasificaciones supervisadas con imágenes Landsat 5 y 7. Se tomaron muestras de agua para establecer niveles de nutrientes. Se encontró un aumento de nutrientes desde la década del 80, desde 0.1 mg/l de nitratos a 23.02 mg/l en 2005. Este aumento de los nutrientes sería derivado de dos hechos principales: la falta de tratamiento de las aguas servidas y un aumento de la actividad agrícola del orden del 24%. Se encontró además que el diferente color que se observa en la laguna Cochicó con respecto a las otras, responde a la elevada biomasa (89 mg/m<sup>3</sup>) que presentan sus aguas.

**Palabras claves:** lagunas-teledetección-calidad de agua-uso del suelo

### ABSTRACT

The objective of the present work is to analyze the land use and cover changes of the Encadenadas del Oeste lagoons and their relation with the water quality, with special emphasis on their transparency. They are located in the center of the Buenos Aires province, Argentina. Supervised classifications with images Landsat 5 and 7 were made. Chlorophyll *a* concentrations were also determined. A nutrients increase was found since de 80' decade, from 0.1 mg/l of nitrates to 23.02 mg/l in 2005. This increase of the nutrients would be produced by the lack of treatment of served waters and by an increase of the 24% in the agricultural activity. One of the lagoons, the Cochicó one, showed a different coloration caused by high permanent phytoplankton productivity (89 mg/m<sup>3</sup>).

**Keywords:** lagoons-remote sensing-water quality-ground used

### INTRODUCCION

La caracterización y el conocimiento de los usos del suelo son de vital importancia para la evaluación de aspectos ambientales de los cuerpos lacustres. La superficie total cultivada en Argentina es de 274 10<sup>6</sup> ha, de las cuales 142 10<sup>6</sup> ha están cubiertas por pasturas o praderas permanentes, 34 10<sup>6</sup> ha son cultivos anuales y un millón de hectáreas están cubiertas con cultivos perennes (FAO, 2004). La provincia de Buenos Aires, en particular, es una región agrícola por excelencia. Su

localización dentro de los climas templados y el régimen de precipitación, determina que la provincia sea la de mayor producción del país. Su densidad poblacional es muy alta, por lo que los recursos naturales se ven afectados por una elevada presión antrópica.

Uno de los principales sistemas lagunares de la provincia lo constituyen las lagunas Las Encadenadas del Oeste. Esta cuenca comprende los partidos de Adolfo Alsina, Guaminí, Daireaux, Coronel Suarez; Saavedra y Puan (Fig. 1). Es una zona de relieve cóncavo designada depresión Radial por Frenguelli

(Uriarte y Orioli, 1998). Esta separa dos regiones geomorfológicas. Al Sur se encuentra la llanura Norventánica relacionada con el alto topográfico de las Sierras de la Ventana (Positivo Bonaerense). Está constituida por limos arcillosos a limolitas con proporciones variables de arena y carbonato de calcio. La cuenca está integrada por varios arroyos de carácter permanente y semipermanente. Los de mayor caudal nacen en las Sierras de Curamalal y Bravard (Fig. 1) y luego de atravesar una extensa llanura, desembocan en las diferentes lagunas. El drenaje es de tipo tanto arreico como endorreico, con dirección Sur-Norte. Al Norte, se observa la llanura arenosa occidental definida por una cadena de médanos con una elevación que supera los 30 metros. Esta está constituida por arenas muy finas, grisáceas a pardas. Muchos de estos médanos están vegetados y en las partes cóncavas de los mismos se forman cuerpos lagunares de carácter intermitente.

Una gran cantidad de lagunas se localizan en la cuenca, seis de ellas, las que dan nombre al sistema, son las de mayor profundidad. De Este a Oeste son Lago Epecuén, Laguna La Paraguaya, Del Venado, Del Monte, Cochicó y Alsina (Fig. 1). Son lagunas de llanura de profundidad media (entre 3 y 8 m) sin estratificación térmica. La altura media de estas lagunas es de 100 metros sobre el nivel del mar, siendo la laguna Epecuén la región con menor cota del sistema (90 m.s.n.m). El área se caracteriza por una alternancia de periodos secos y húmedos con respecto a la precipitación media anual (600 mm). Estas lagunas son mayormente de uso recreativo por lo que alteraciones en la calidad del agua repercuten directamente en el desarrollo de esa región. El objetivo del presente trabajo es analizar los cambios en el uso y cobertura del suelo para establecer una relación con la calidad del agua de las lagunas, con el fin de determinar si esos cambios afectan la transparencia de las mismas.

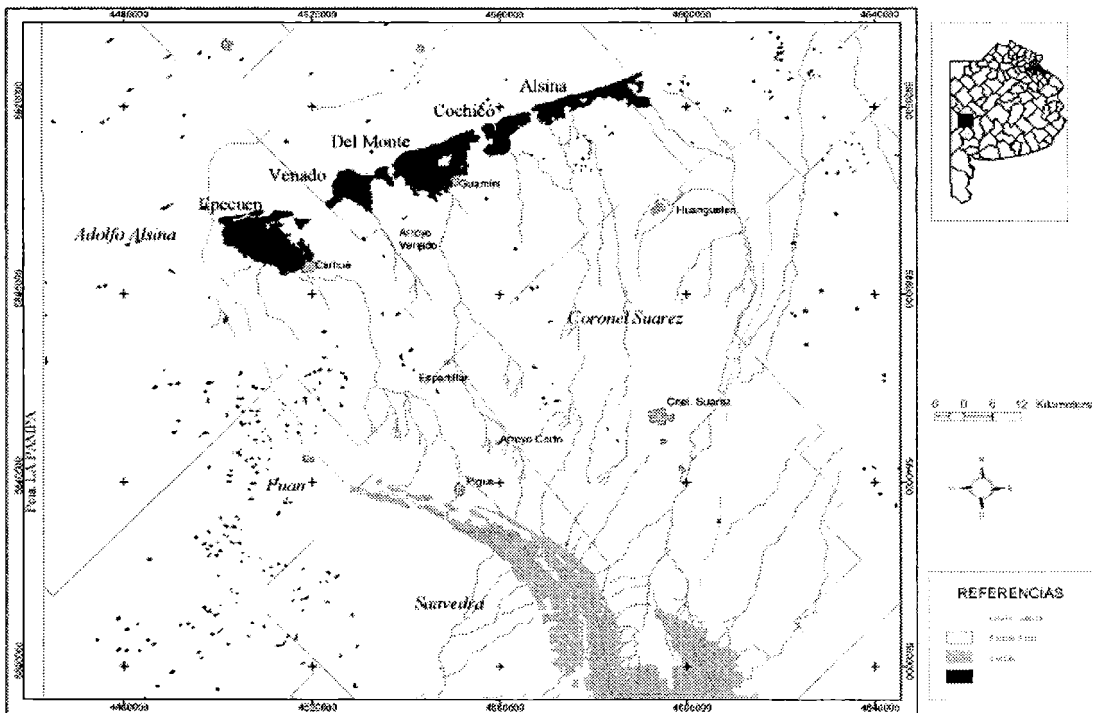


Figura 1. Localización del área de estudio.

## METODO DE TRABAJO

Se utilizaron imágenes Landsat 5 y 7 proporcionadas por CONAE, las cuales fueron corregidas geométrica y radiométricamente. Se realizó un análisis de histogramas para la interpretación visual. Se aplicaron realces de tipo lineal y lineal con saturación. El lineal aclaró la imagen mejorando sensiblemente el contraste. Siguiendo la metodología propuesta por Chuvieco (2002) se efectuó una clasificación no supervisada de las imágenes. Para la delimitación de cada grupo espectral se siguió el criterio de similitud de píxeles, que se basa en la distancia euclidiana:

$$D_{a,b} = \sum_{i=1,m} (ND_{a,i} - ND_{b,i})^2$$

donde  $D_{a,b}$  indica la distancia entre dos píxeles cualquiera a y b;  $ND_{a,i}$  y  $ND_{b,i}$  los niveles digitales de esos píxeles en la banda i y m el número de bandas. En la clasificación de la imagen, es decir en la reducción de la escala medida de una variable continua (ND originales) a una escala categórica, quedaron definidos 16 clusters de niveles digitales (ND) homogéneos espectralmente. La matriz fue reclasificada fusionando las categorías que respondían a diferentes cultivos, debido a que se buscaba discriminar cultivos de otros usos, quedando definidas solo cuatro categorías, urbano, cultivos, sierras y otros usos.

Para el análisis multitemporal se seleccionaron imágenes de diferentes fechas relacionadas al ciclo agrícola. El mismo se realizó por diferencia de matrices (Chuvieco, 2002), lo cual permitió discriminar los cambios ocurridos en ese lapso de tiempo seleccionado. La fórmula utilizada fue:

$$ND_c = N_{t2} - ND_{t1} + C$$

donde  $ND_c$  indica el ND correspondiente a la imagen de cambios,  $N_{t2}$  y  $ND_{t1}$ , los correspondientes a las imágenes del primer y

segundo período y C es una constante para los valores negativos (la constante es el promedio de los ND). Como resultado de este cálculo se obtuvo una imagen de cambios que presenta valores pequeños o negativos para aquellas que perdieron o redujeron su ND, los valores positivos o más altos son los que ganaron ND y los intermedios las zonas estables.

En campañas realizadas en el año 2005 se identificaron las fuentes puntuales de aportes de nutrientes. Se recolectaron muestras de agua que fueron analizadas para determinar los niveles de nutrientes (nitritos, nitratos, y fósforo). Las técnicas utilizadas para la determinación de estos nutrientes fue: fosfatos, técnica de Eberlein y Kahener (1987) y nitratos - nitritos, Grasshof (1969).

## RESULTADOS

Son varias las fuentes de nutrientes en la cuenca de las Encadenadas del Oeste. Por ejemplo, en la localidad de Carhué en el partido de Adolfo Alsina (Fig. 1) que posee una población de 11.600 habitantes (censo 2001, INDEC), se observó que sus desagües cloacales son vertidos en la desembocadura del arroyo Pigüé a unos 150 metros de la laguna Epecuén. Además se verificó la existencia de una planta de tratamiento de las aguas servidas. Sin embargo el agua no contaba con los requisitos para que sea considerada limpia, es decir se constató la presencia de material flotante, espumas y sustancias que producían olor desagradable. Los datos de nutrientes corroboraron lo observado; el promedio de nitratos entre los meses de enero y junio del 2005 fue de 213.31 mg/l, los de nitritos 8.73 mg/l; con valores extremos en el mes de junio de 21.43 mg/l y los fosfatos de 149.58 mg/l. La presencia de nitritos en excesos indica una actividad bacteriológica importante. Estos datos permiten calificar las aguas como no tratadas o con tratamiento primario solamente.

En la localidad de Guaminí (Fig. 1) existe, como en el caso anterior, una planta de tratamiento de las aguas. Si bien no se contó con datos químicos en esta oportunidad el color como la mortandad de peces encontrada en el desagüe indican la posibilidad de que las aguas no tendrían el suficiente tratamiento. Además de estos aportes en la cuenca se identificaron establecimientos vinculados a la industria del papel y de cueros que vierten sus aguas en arroyos que desembocan en las lagunas (Fig. 1). Conjuntamente con estas localidades se ubican otras, dentro de la cuenca, de menor tamaño e importancia. Algunas de ellas son Pasman, Arroyo Venado, Espartillar, etc, (Fig. 1) que si bien son de menor concentración de población, también constituyen fuentes de nutrientes hacia las aguas a través de escurrimientos e infiltración.

En 1987 los nitratos de la laguna Epecuén eran inferiores (0.1 mg/l) a las concentraciones normales en las aguas superficiales (1 mg/l) (Goransky y Natale, 1987). Los nitritos eran en esa oportunidad de 0.1 mg/l (Goransky y Natale, 1987). Según las muestras tomadas en los meses de octubre del 2004 y enero 2005, la media de nitratos para las lagunas es de 22 mg/l, siendo en el caso de Epecuén de 23.02 mg/l. En los mismos meses los nitritos medidos en Laguna Epecuén fueron de 0.34 mg/l, lo cual evidencia un significativo aumento con respecto a valores históricos. Se observa entonces que el aumento de nutrientes registrado desde la década del 80 hasta la actualidad, coincide con, las descargas de aguas industriales y cloacales sin el debido tratamiento y el aumento de la actividad agrícola y sistemas de monocultivos.

Además de estas fuentes de aporte de nutrientes se suma el aumento de tierras destinadas a cultivos. Con el procedimiento realizado con las imágenes se verificó lo expresado por Andriulo *et al.*, 2004 quien sostiene que desde mediados de la década del 70 la agricultura pampeana creció significativamente, ritmo que se acentuó en los últimos

10 años. La combinación lineal analógica (Falso color 4, 3, 2) a partir de la información multiespectral permitió identificar patrones visuales asociados a cada cubierta. Posteriormente se clasificó la imagen multibanda quedando definidas las cuatro clases espectrales que se observan en la Figura 2.

Las regiones en gris oscuro (zonas de cultivo) se localizan en esta fecha en el piedemonte del sistema serrano. Los partidos de Coronel Suárez y Saavedra son los que presentan las mayores cantidades de hectáreas destinadas a cultivos (Fig. 1). El sector septentrional de las lagunas (Fig. 2 sector A) es zona ganadera por sus suelos arenosos pero también tiene algunas áreas destinadas a cultivos.

Con la clasificación de la imagen Landsat de 1989 se calculó que 730043.37 ha se encontraban cultivadas. En la nueva clasificación de usos del suelo realizada con la imagen Landsat del 2002 (Fig. 3) se identificaron las mismas clases espectrales que en la anterior y se las reclasificó. Se observa que las zonas agrícolas predominan sobre las tierras marginales y las utilizadas para ganadería. Las superficies destinadas a cultivos son, como en el caso anterior, más elevadas en el sector serrano principalmente Coronel Suárez (Fig. 3, sector B). En el área septentrional de las lagunas se registran algunas parcelas destinadas a cultivos. Con la clasificación de la imagen Landsat del 2002 (Fig. 3) se obtuvo que 960583.38 ha estaban destinadas a la actividad agrícola.

Luego de categorizar las imágenes se realizó el análisis multitemporal mediante tablas de contingencias (Chuvieco, 2002). Se observa en la Figura 4, que la zona de piedemonte de las sierras continúa incorporando tierras para cultivo (zonas gris oscuro) quedando prácticamente la totalidad del área destinada a ese uso. El partido de Guaminí registra el mayor incremento de zonas de cultivo, sobre todo en el sector sur de las lagunas. Asimismo los años lluviosos favorecien-

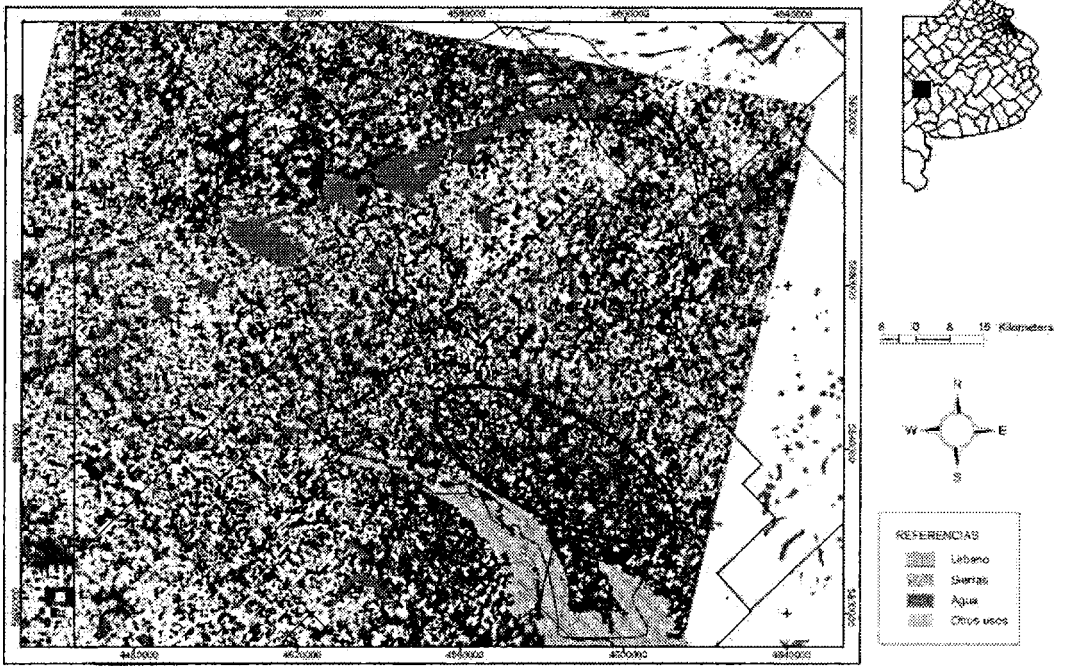


Figura 2. Clasificación no supervisada imagen Landsat 1989.



Figura 3. Clasificación no supervisada imagen Landsat 2002.

ron la incorporación de cultivos en las zonas medianosas del partido. En el período 1989 - 2002 se añadieron a las áreas agrícolas, 230540 ha. Las exigencias de alimentos a nivel nacional e internacional llevan a que los sistemas agrícolas se especialicen. Por esta razón el crecimiento de la agricultura ocasiona un aumento en el uso de fertilizantes y plaguicidas en sistemas de monocultivos.

Estimar la calidad de las aguas es una tarea compleja, dado que intervienen una gran cantidad de factores, sin embargo un buen indicador es la clorofila *a*. Varios autores (Margalef, 1983; Quiros *et al.*, 2002) han establecido que las lagunas pampeanas tienen carácter de eutróficas. El vertido de nutrientes en el agua ocasiona grandes cambios en la composición y estructura de las comunidades acuáticas, provocando una disminución en la diversidad de especies y un desequilibrio de sus abundancias relativas. Esto se debe a que pocas especies se vuelven tolerantes a la nueva situación, especies sensibles desaparecen

o bien disminuyen marcadamente su densidad, dominando de esta forma unas pocas especies resistentes (Issa y Ismael, 1994; Havens *et al.*, 1999; Koning y Roos, 1999; Mosisch *et al.*, 1999; Chiang *et al.*, 2000; Zincke, 2004).

Los valores normales de clorofila *a* que se encuentran en los ambientes de agua dulce oscilan entre 0,5 a 100 mg/m<sup>3</sup> (a veces superan los 150 mg/m<sup>3</sup>), siendo 5 mg/m<sup>3</sup> el límite para definir si el cuerpo de agua analizado es oligotrófico (por debajo de ese valor) o eutrófico (por encima) (Margalef, 1983). Cabe aclarar que este es un valor arbitrario que puede diferir de un cuerpo de agua a otro, aún cuando estén en latitudes semejantes. De todas formas su empleo es útil como referencia y en el caso de Las Encadenadas del Oeste, los valores de clorofila *a* encontrados en toda la zona son superiores a ese valor límite, exceptuando los arroyos Venado en octubre, Guaminí en enero y Pigué en la cuenca media en ambos meses (Gernaldi, *et al.*, 2006). Los máximos niveles de clorofila *a* se registraron

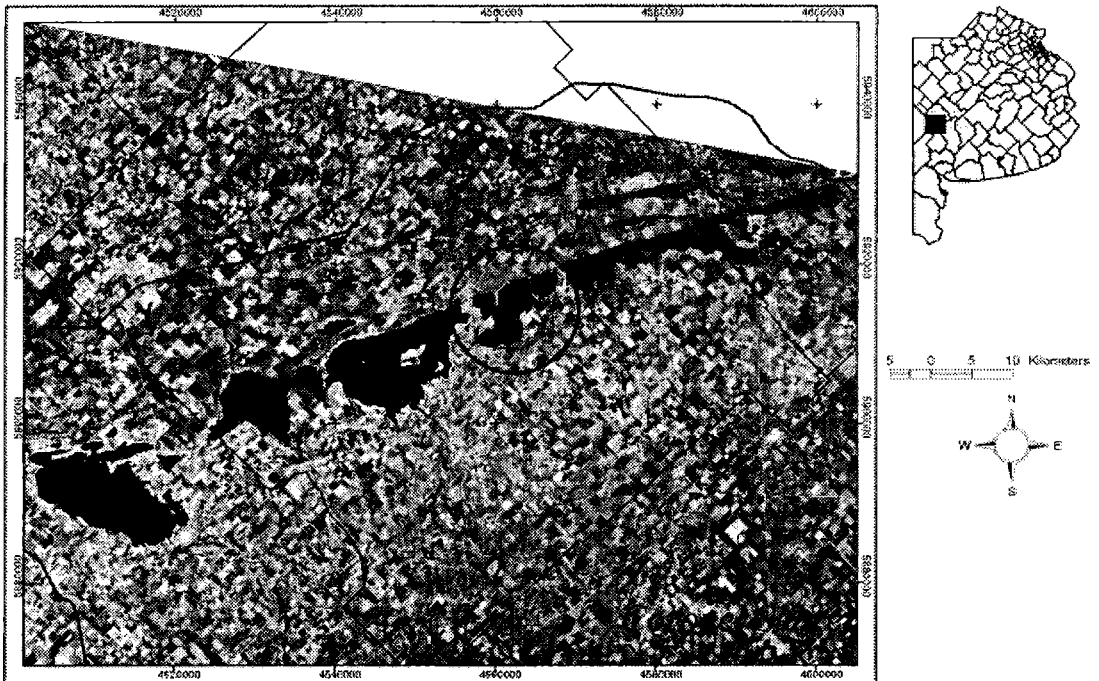


Figura 4. Resultado de la diferencia de imágenes Landsat Nov. 1989- 2000.

en enero en la laguna Cochicó ( $89 \text{ mg/m}^3$ ), en la laguna Del Monte y en la desembocadura del arroyo Pigüé ( $55 \text{ mg/m}^3$ ) (Fig. 1). En octubre las lagunas Cochicó, Del Monte y Epecuén mostraron los valores más elevados. En ambos meses la clorofila *a* superó valores característicos de aguas muy productivas (Geraldí, *et al.*, 2006).

Para establecer una primera aproximación a la relación usos de suelo - transparencia del agua se efectuó un análisis visual en combinaciones de bandas diferentes. Las bandas espectrales correspondientes al sector visible,  $0.4 \mu\text{m} - 0.7 \mu\text{m}$  son las que ofrecen la mayor reflectancia del agua. En la composición de bandas 3, 2, 1 se realizaron los realces de la imagen Landsat de 1989 (Fig. 5). Se observa que la laguna Cochicó presenta un color diferente a las demás. El realce de la imagen Landsat del 2005 (Fig. 6) permite apreciar, co-

mo en la anterior, el diferente color de la laguna Cochicó. Se constató que el color de las aguas se debe a la elevada biomasa ( $89 \text{ mg/m}^3$ ) de la laguna que colorea las aguas en tonalidades verdes intensos. La imagen analizada corresponde al mismo período del muestreo biológico en el cual se registran los mayores niveles de clorofila *a* para la laguna en cuestión. Esto corrobora los datos espectrales registrados por el sensor. En el análisis multitemporal con las imágenes Landsat de 1989 y 2005 (Fig. 7) se observa que la laguna presenta la misma coloración en las dos fechas. Si bien no se cuenta con datos de biomasa en el año 1989 pero sí con los del 2005, sumado a que el análisis multitemporal no mostró diferencias se puede inferir que la coloración de las aguas en 1989 en laguna Cochicó respondió también a la presencia de elevada biomasa.



**Figura 5.** Composición de bandas 3,2,1 para diferenciar la transparencia del agua de las lagunas las Encadenadas. Imagen Landsat 1989.

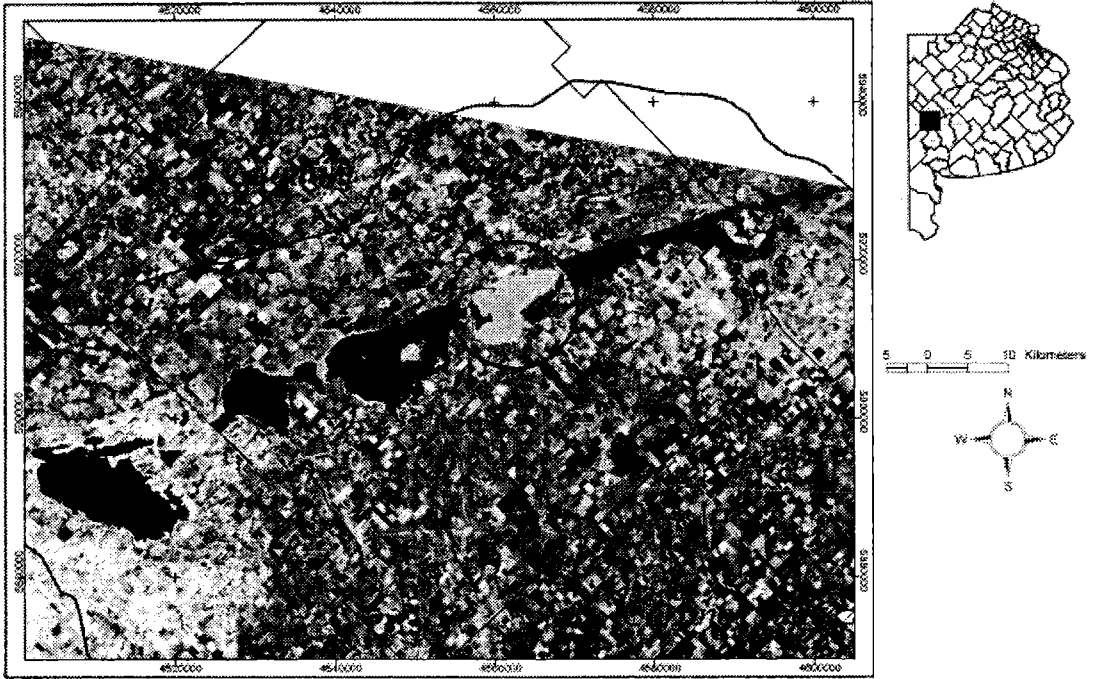


Figura 6. Composición de bandas 3,2,1 para diferenciar la transparencia del agua de las lagunas las Encadenadas. Imagen Landsat 2005.

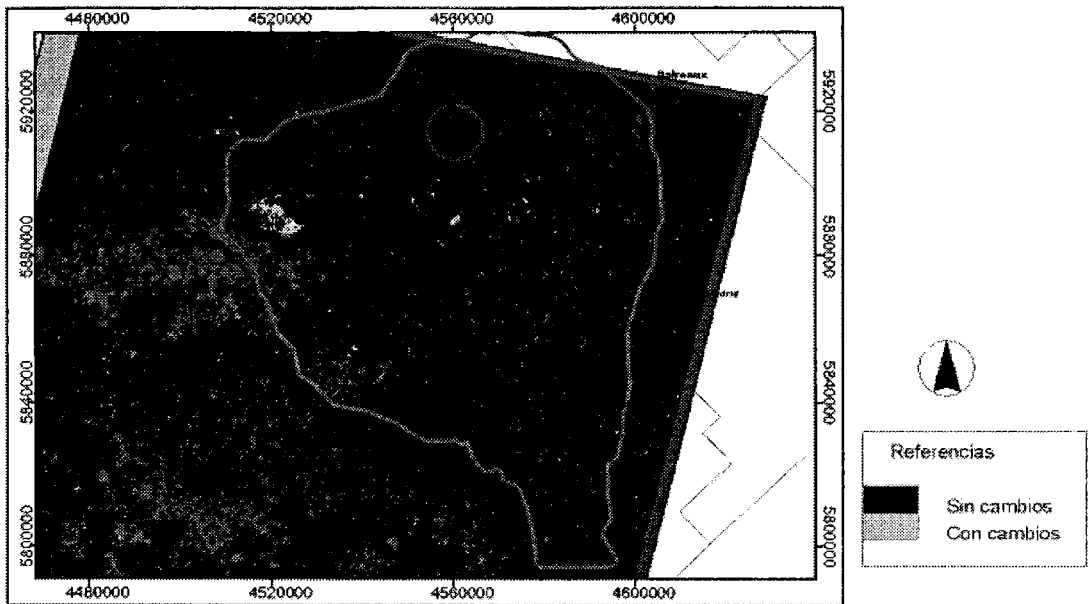


Figura 7. Diferencia entre la imagen Landsat 1989 y 2005.



## CONCLUSIONES

Las lagunas Las Encadenadas del Oeste están sometidas a una intensa presión ambiental que se acrecienta a través del tiempo. Esto se evidencia en el aumento de nutrientes producida desde la década 80 (0.1 mg/l de nitratos) al año 2005 (23.02 mg/l). Este aumento sería originado por un lado por la falta de tratamiento de las aguas servidas. Este hecho fue corroborado con los análisis de nutrientes y las observaciones de campo. En cuanto al primero, el promedio de nitratos entre los meses de enero y junio del 2005 fue 213.31 mg/l, el de nitritos 8.73 mg/l y el de fosfatos 149.58 mg/l con altos niveles de clorofila *a* (55 mg/m<sup>3</sup>). Y en cuanto al segundo factor, las aguas presentaron color muy verdoso, mal olor y presencia de espumas según observaciones de campo.

Por otro lado, el aumento de la actividad agrícola del orden del 24% fue corroborado con el análisis multitemporal. Esta actividad ocasiona un aumento en el uso de fertilizantes, pesticidas, etc. que son portadores de nutrientes. Su mal uso podría provocar que estos lleguen a los cuerpos de agua. El problema se agrava al clasificarse esta cuenca como de tipo eudorrea con lo cual la presión ambiental se intensifica.

El diferente color que se observa en la laguna Cochicó en las imágenes satelitales responde a la elevada biomasa (89 mg/m<sup>3</sup>) que presenta el agua y colorea las mismas. La calidad de las aguas epicontinentales es consecuencia de los usos en el ecosistema terrestre y expresan la tensión recibida por la cuenca que drenan. Por lo tanto el conocimiento y buena utilización de los recursos terrestres son fundamentales para la calidad de las aguas.

**Agradecimientos:** Se agradece la colaboración de Profertil S. A y la Comisión Nacional Aeroespacial (CONAE) para el desarrollo del proyecto. Se agradece además el apoyo del laboratorio de Química del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO).

## REFERENCIAS

- Andriulo, A., C. Sasal, y Portela, S. 2004. Impacto Ambiental de la Agricultura Pampeana. *Idia XXI*. 80-81.
- Chiang, C., C. Craft, D. Rogers and C. Richardson. 2000. Effects of 4 years of nitrogen and phosphorous addition on Everglades plant communities. *Aquatic botany* 68, 61-78.
- Chuvieco, E. S. 2002. Teledetección ambiental. Editorial Ariel, S. A. Barcelona. 242,245-434, 437.
- Eberlein, K. and G. Kahener. 1987. Automatic method for the determination of orthophosphate and total dissolved phosphorous in the marine environment. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 326, 4: 354-357.
- FAO, 2004. FAOSTAT n. Database <http://www.fao.org>.
- Geraldi, A.M., V. Guinder, M.C. Piccolo y G.M.E. Perillo. 2006. Estudio Preliminar de la calidad del agua de las lagunas Las Encadenadas del Oeste. Actas VI Jornadas Nacionales de Geografía Física: Río Gallegos. Universidad Nacional de la Patagonia Austral, 2007. 325 p. ISBN 987-1242-10-71.
- Goransky, R. y O. Natale. 1987. Estudio de la calidad de agua de la laguna Epecuen. Consejo Federal de Inversiones 39-40.
- Grasshof, K., 1969. Un sistema de canal múltiple para análisis de nutrientes en aguas de mar con récord de datos analógicos y digitales. Avances en análisis automáticos. Technicon International Symposium . Chicago. (in Manuel D'Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer P. Treguer, P.Le Corre, 1975).
- Havens, K.E., T.L. East, A.J. Rodusky and B. Sharfstein. 1999. Littoral periphyton responses to nitrogen and phosphorous: an experimental study in a subtropical lake. *Aquatic botany* 63, 267-290.
- Issa, A.A.; Ismael, M.A. 1994. Effects of detergents on River Nile water microflora. *Journal of Islamic Academy of Sciences*. 7, 3.
- Koning, N.; Roos, J.C. 1999. The continued influence of organic pollution on the water quality of the turbid Morder River. *Water SA*, 25, 3, 285-292.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, S. A., Barcelona. Pp. 1010.

- Mosisch, T., S. Bunn, P. Davies and C. Marshall. 1999. Effects of shade and nutrient manipulation on periphyton growth in a subtropical stream. *Aquatic botany* 64, 167-177.
- Quirós, R., J. Rosso, A. Rennella, A. Sosnovsky y M. Boveri. 2002. Análisis del estado trófico de las Lagunas Pampeanas (Argentina). *Interciencia*, 27, 11.
- Wolfe, A., J. Baron and R. Cornett. 2001. Anthropogenic nitrogen deposition induces rapid ecological changes in alpine lakes of the Colorado Front Range (USA). *Journal of Paleolimnology* 25, 1-7.
- Uriarte, M. y G. Orioli. 1998. Carta Geoambiental del Partido de Guaminí. Argentina. Universidad Nacional del Sur. 27-29
- Zincke, D. 2004. Effects of nitrogen and phosphorous enrichment on phytoplankton communities of Lake Atawapskat, Michigan. *Journal of Atawapskat Research* 2: 001-006.

## ESTIMACION DE LA DIMENSION FRACTAL SOBRE LA COSTA EN LA ARGENTINA

Jorge O. Pierini <sup>1,2,3</sup> y Gerardo M. E. Perillo <sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Argentino de Oceanografía - jpierini@criba.edu.ar

<sup>2</sup> Departamento de Física de la Universidad Nacional del Sur

<sup>3</sup> Comisión de Investigaciones de la Provincia de Buenos Aires

<sup>4</sup> Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur

### RESUMEN

La estimación de la dimensión fractal determina la complejidad de características naturales que exhiben las distintas estructuras fractales. Las imágenes satelitales y las grandes bases de datos digitalizadas representan en detalle las grandes zonas costeras de nuestro país. Las diferencias en la complejidad de la costa entre las diversas regiones pueden obtenerse mediante la estimación de la dimensión fractal. En este estudio se ha determinado la dimensión fractal en distintas regiones e islas de la costa Atlántica. Además presenta un estudio comparativo entre algunos métodos importantes de estimación de este parámetro, observando su implementación y exactitud. Los resultados son importantes en la interpretación de patrones costeros, principalmente en el conocimiento de las diversas características naturales y su posterior clasificación.

**Palabras clave:** Dimension Fractal-Irregularidad de la Costa-Sensores Remotos-Costa Argentina-Patrones costeros.

### ABSTRACT

Fractal dimensions estimate the complexity of certain natural characteristics which have fractal structures. Satellite images and large digital data bases can be employed to represent in detail the Argentina coastline. Differences in complexity of the various regions have been obtained based on fractal dimension. We also present a comparative study among the various methods of estimating the fractal dimension considering the implementation and accuracy. Results show important criteria to interpret coastal patterns and following classification.

**Keywords:** Fractal Dimension-Coastal irregularity-Remote Sensor-Argentina Coast-Coastal patterns.

### INTRODUCCION

En la actualidad existen claras evidencias de geometrías fractales en la naturaleza lo que ha complicado en el pasado cuantificar las formas geoméricamente complejas que presenta el medio ambiente. Las líneas de costa, sistemas montañosos o fluviales son algunos ejemplos y sus fractalidades son determinadas principalmente mediante análisis numérico de datos topográficos reales. Man-

delbrot (1983) fue el primero que empleó el concepto fractal para determinar la dimensión de una línea o superficie e implementó una técnica para la descripción de formas irregulares en la naturaleza (Snow, 1989). Sin embargo, los procesos de creación de ambientes terrestres mediante fractales se encuentran lejos de representar los procesos reales que originan la evolución del relieve terrestre. La existencia de fractales sobre una amplia zona continental implica que los frac-

tales son creados por procesos de crecimiento fractal de superficies no fractales. Hay muchos factores que causan cambios sobre el planeta, tales como movimientos tectónicos, erosión por flujos agua y hielo, sedimentación, efectos climáticos, etc (Mandelbrot, 1983; Inaoka y Takayasu, 1993; Rinaldo y Rodríguez-Iturbe, 1996). Por ejemplo, Inaoka y Takayasu (1993) determinan la evolución temporal de sistemas fluviales y terrestres simulados por una red con una forma de la superficie de la Tierra inicialmente lisa y perturbada por un ruido blanco.

La geometría de fractales matemáticos, como por ejemplo la curva e isla de Koch, son caracterizados por la propiedad de autosimilaridad. Este término describe la geometría de objetos donde las partes más pequeñas, cuando se expanden, se ven como un todo. De esta manera, la estructura es autosimilar si esta puede ser dividida en pequeñas piezas donde cada una de ellas es una pequeña representación de toda su estructura. Muchos objetos encontrados en la naturaleza son autosimilares, como las redes de canales fluviales, sistema vascular, sistema de bronquios y pulmones, o las ramas de un árbol (Mandelbrot, 1977, 1983). Esta propiedad de autosimilaridad no se encuentra limitada solamente a objetos con formas geométricas.

Por otro lado, es útil considerar el concepto de autosimilaridad en un sentido estadístico. Un objeto es autosimilar si sus partes, en promedio, son similares a un todo. Un ejemplo de este tipo de comportamiento son las líneas de costa. Estas contienen golfos y bahías que a su vez tienen pequeñas bahías y entradas, y así sucesivamente a medida que se cambia de escala. Mandelbrot (1982) evaluó un pequeño conjunto de líneas de costa y observó que su dimensión fractal se encontraba del orden de 1,2 a 1,3. Otros autores han calculado la dimensión fractal de líneas de costas principalmente de islas o pequeñas regiones cos-

teras (Takayasu, 1990; Tricot, 1995; Lam y De Cola, 1993; Mandelbrot, 2000).

Estudios más recientes en ecología y geografía espacial han resaltado que las métricas utilizadas en la cuantificación de la dinámica de un paisaje se encuentran basadas en el nivel de detalle de los arreglos espaciales que las componen (Turner *et al.*, 2001). De esta forma, se ha prestado mucha atención a la resolución espacial de los arreglos espaciales, ya que al alterar el nivel de detalle aparecen diferentes estructuras (Benson y Mackenzie, 1995). Según Turner *et al.* (2001), estas alteraciones influyen directamente los valores de las métricas empleadas en la cuantificación de la resolución espacial, generando modificaciones que a su vez son responsables de las variaciones en la estimación de la dimensión fractal, como es el caso de las líneas de costa. Autores como Muller (1986), Longley y Batty (1989) y Bartley *et al.* (2001) han evaluado la relación existente entre la resolución y la estimación de la dimensión fractal en líneas de costa. La variación del nivel de detalle hace que la geometría de la línea de costa sea cada vez más irregular (fragmentada), o sea, la resolución determina el grado de complejidad de la línea costera que, consecuentemente influye los valores de la dimensión fractal.

Estas observaciones muestran una importancia en el estudio de la resolución espacial al igual que el método empleado para obtener la dimensión fractal. En este estudio se ha determinado la dimensión fractal en distintas regiones e islas de la costa Atlántica empleando dos conjuntos de datos diferentes. Además presenta un estudio comparativo entre algunos métodos importantes de estimación de este parámetro, variaciones en el tamaño de la resolución espacial, observando su implementación y exactitud. Los resultados son importantes en la interpretación de patrones costeros, principalmente en el conocimiento de

las diversas características naturales y su posterior clasificación.

## **METODOLOGIA Y DATOS**

Se emplearon dos conjuntos de datos diferentes para obtener la línea de costa, primero mediante la base de datos digital del World Vector Shoreline, que es una base de datos global de mayor resolución espacial existente en escala general 1:250.000 (Fig. 1). De este archivo digital se emplearon las coordenadas pertenecientes a la costa Atlántica, desde la Provincia de Buenos Aires hasta Tierra del Fuego, en forma individual o considerando toda la extensión de la costa. Por otro lado, se realiza una comparación de los resultados obtenidos por Diez P. (Comunicación personal), quién emplea esta misma base de datos, pero existe una diferencia, le agregan más datos a la serie mediante una interpolación entre coordenadas empleando el algoritmo STINV (Perillo y Piccolo, 1991).

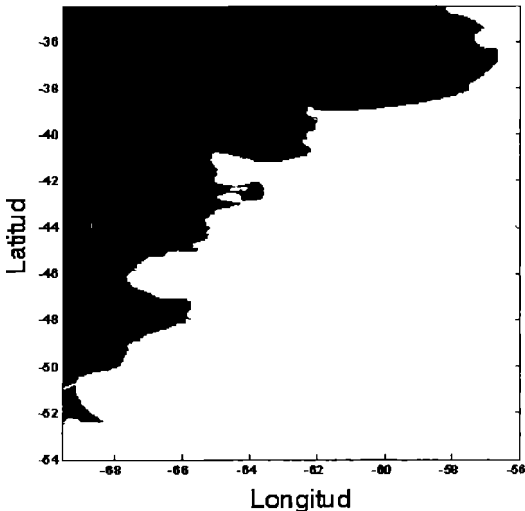
El segundo conjunto de datos, utiliza una imagen satelital Landsat 7 ETM perteneciente al 9/9/2001, cuya resolución espacial es de 30

m, principalmente de la zona costera perteneciente al estuario de Bahía Blanca, teniendo en cuenta un estado de marea baja (Bava y Pierini, 2004). A la combinación de bandas 4-3-2 de la imagen satelital se le aplicó un proceso de binarización a los efectos de obtener una imagen de acuerdo al umbral de brillo establecido. De esta manera la imagen original puede ser dividida en una región brillante y otra oscura, dependiente del número de color perteneciente a la escala de grises adoptada. Posteriormente la imagen se convierte a binaria y procesada para eliminar puntos aislados de un píxel de tamaño. Una vez finalizada esta etapa, se procede a recorrer los bordes originados entre la línea de agua y tierra a los efectos de establecer la conectividad entre los píxeles que pertenecen al borde. La Figura 2 muestra todas las etapas del proceso entre la imagen original y la procesada de las islas pertenecientes al estuario de Bahía Blanca.

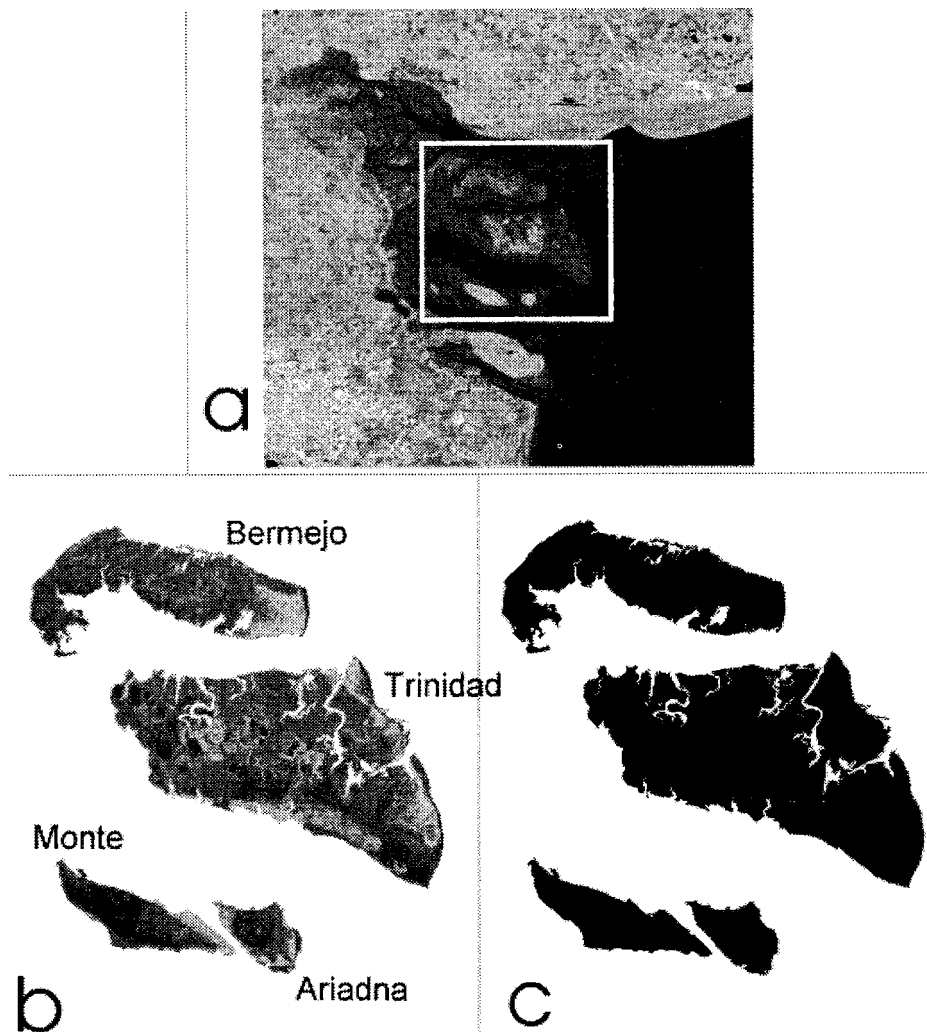
## **ANALISIS FRACTAL**

### **a - Método del Compás**

La naturaleza fractal de la línea de la costa se encuentra reflejada en la medición de su longitud sobre un mapa geográfico. Para hacerlo, basta con tomar un compás abierto una cierta distancia, por ejemplo, un mapa con escala 1:1.000.000 y el compás abierto 5 cm, la distancia verdadera es de 50 km. Ahora bien, si avanza cuidadosamente con este tamaño de compás a lo largo de la costa contando el número de pasos, se obtiene una representación poligonal de la costa. Empleando diferentes aperturas de compás, uno obtiene distintas mediciones de la longitud de la costa. Se debe recordar que con un dado tamaño de compás muchas bahías o accidentes geográficos no van a ser tenidos en cuenta, mientras que al disminuir la apertura del compás algunos serán tenidos en cuenta y otros no,



**Figura 1.** Representación de la línea de costa mediante las coordenadas geográficas de la base de datos del World Vector Shoreline.



**Figura 2.** Imagen satelital del estuario de Bahía Blanca (a) y selección de las islas Bermejo, Trinidad, Monte y Ariadna (b), y binarización de las islas (c).

proceso que se efectúa sucesivamente a medida que la escala disminuye.

La dimensión fractal, mediante este método, se obtiene de la relación  $N = C r^{-D}$ , donde  $N$  representa el número de pasos necesarios para recorrer la línea de costa,  $C$  es una constante,  $r$  es la longitud del paso, y  $D$ , la dimensión fractal. El empleo de esta ecuación indica que, para curvas fractales, la longitud  $L (=N.r) = C.r^{1-D}$ , mientras que para no fractales  $D = 1$  y  $L = C$  (es decir que la lon-

gitud permanece constante con respecto al tamaño de paso). Sin embargo, aún para curvas no fractales existe un incremento en la longitud de la costa con la disminución del tamaño del paso del compás, especialmente cuando la apertura inicial es mayor que la escala de las irregularidades representadas en la curva. En virtud de lo anterior, la longitud ( $L$ ) o números de pasos ( $N$ ) medidos usando el tamaño de apertura más grande no son incluidos en el cálculo de  $D$ .

### b - Método Conteo de Celdas

La relación cuantitativa obtenida a través del Conteo de Celdas es idéntica a la obtenida para el método del compás ( $N(r) = C (1/r)^{-D}$ ). Este método consiste en sobreponer una grilla sobre la línea de costa a analizar, luego se cuentan los cuadrados que contienen en su interior a la línea de costa. Variando el tamaño de la grilla se aplica el mismo razonamiento, obteniendo una relación entre el tamaño de malla y número de cajas, la pendiente de este gráfico determina la dimensión fractal ( $D = -A$ ).

### c - Método del Divisor

Este método fue utilizado por otros autores para calcular la dimensión fractal de la línea de costa (Mandelbrot, 1982; Klinkenberg, 1992, 1994; Lam y DeCola, 1993) y es muy útil para usar sobre un vector lineal representado por coordenadas geográficas. Para el cálculo de  $D$  se emplearon 3 pasos:

1) Longitud del paso. Como el espacio entre dos puntos seguidos varía a lo largo de toda la línea de costa, no se puede usar una distancia única entre puntos como longitud inicial. Por lo tanto, primero se determina las distancias entre todos los pares de puntos ( $d(n, n+1)$ ), el valor medio de estas distancias se toma como el paso inicial  $r_1$ , y las distancias mayores  $r_k$  van a ser múltiplos de la longitud inicial  $r_1$  (Fig. 3)

2) Longitud total. La distancia  $d(0,1)$  entre los dos primeros puntos de la línea son comparados a la longitud  $r_k$ . Este proceso continúa hasta encontrar un punto con la condición  $d(0,m) > r_k$ , cuando sucede esto se registra un paso. Como  $d(0,m) > r_k$  entonces se debe obtener un nuevo punto desde 0 con distancia  $r_k$  sobre el segmento lineal que une los puntos 0 y m. Este nuevo punto vuelve a ser el punto inicial 0 y se repite todo el procedimiento hasta alcanzar la longitud total de la línea. Entonces la longitud total de la línea  $L(r)$  es el producto del tamaño del paso y el

número de pasos más el remanente entre el último punto calculado y de la línea de costa, resto que es menor que la longitud de un paso. 3) Dimensión fractal. Luego se grafica el  $\log(L(r))$  vs  $\log(r)$  y se obtiene la recta de regresión cuya pendiente es  $A$ , posteriormente la dimensión fractal es  $D = 1 - A$ .

A los efectos de validar la eficiencia de los métodos descriptos se realiza una prueba inicial, obteniendo la dimensión fractal de formas fractales ya conocidas (Fig. 4), como la curva de Koch ( $D = 1.262$ ), Cuadrado ( $D = 2.0$ ), Recta ( $D = 1.0$ ) y el Triángulo de Sierpinski ( $D = 1.5850$ ). Luego se aplican los algoritmos a las diversas variantes que se tendrán en cuenta más adelante.

## DIMENSION FRACTAL DE LA LINEA DE COSTA

Como se indica en el párrafo anterior, en la Tabla 1 se aprecian los valores de dimensión fractal obtenidos por los distintos métodos, principalmente en Figuras fractales con valor conocido. Del análisis de la Tabla 1, se infiere que no todos los métodos pueden ser aplicados

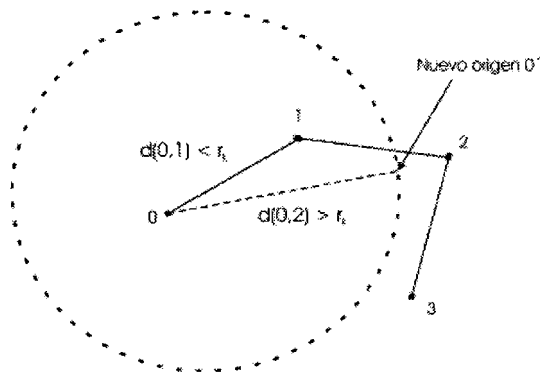
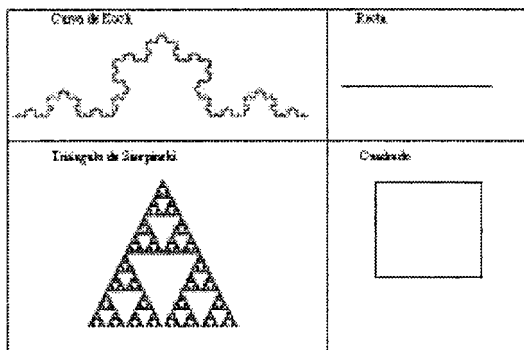


Figura 3. Algoritmo para calcular el número de pasos,  $r_k$  es la longitud promedio. La línea punteada marca el radio  $r_k$  desde el punto inicial O. El punto 1 está más cerca que  $r_k$  pero el punto 2 se encuentra más lejos, por lo tanto se registra un paso y se genera un nuevo origen  $O'$  entre O y el punto 2.



**Figura 4.** Formas fractales conocidas empleadas para corroborar el algoritmo de cálculo.

de una manera satisfactoria a todas las formas seleccionadas.

El método del Divisor resultó ser incapaz de resolver el triángulo de Sierpinski debido a su propia definición, ya que se basa en el contorno externo entonces no pueden ser clasificados por este método. Sin embargo, mostró ser eficiente en la curva de Koch y la recta, curvas abiertas en general. Para el cuadrado este método trabaja de igual forma que para una curva, entonces no existe un punto inicial para este método. Una forma de resolver este inconveniente es partir de un punto cualquiera varias veces y obtener un promedio de la dimensión fractal más una variación de los mismos.

El Conteo de Celdas no presenta problemas en cuanto a los tipos de formas que se aplicó. Pero deben ser observadas ciertas restricciones durante su aplicación a los efectos de garantizar la calidad de los resultados. Una de esas restricciones es con respecto a la alineación de la grilla con la curva a analizar, de modo de minimizar el conteo de las cajas. En virtud de ello, más adelante se realiza una evaluación específica al respecto, de igual

manera se considerará la rotación de la Figura. El método representó los valores de dimensión fractal muy próximos a los esperados. El método del Compás es otro que no representa problemas en los casos analizados salvo el triángulo de Sierpinski, donde no se puede aplicar por su definición.

Dentro de los métodos analizados se evidencia la capacidad de ellos sobre curvas fractales o euclidianas. A continuación se procede a investigar su comportamiento en líneas de costa sobre un objeto como la imagen satelital de las islas del estuario de Bahía Blanca. En una primera instancia se dividió en partes y se rotó la isla Trinidad (Fig. 5) para observar la variación de la dimensión fractal ante estos cambios. En cada una de las imágenes se determinó en forma separada la dimensión fractal y la correlación de la línea de ajuste mediante el empleo del método Conteo de Celdas

En la Tabla 2 se puede apreciar la dimensión fractal de cada una de las partes, la línea de costa puede ser considerada como una combinación de 2 fractales estadísticos, correspondientes a las dos partes de la Figura 5a con una dimensión fractal parcial (Tabla 2, Sector 1 y 2). En el presente caso la dimensión fractal de toda la isla ( $D = 1.496$ ) es más grande que los segmentos individuales.

Dividiendo la isla en seis partes (Fig. 5b), se obtiene la dimensión fractal parcial en la Tabla 2. En este caso el Sector 3 tiene el valor más grande, mientras que el Sector 4 se encuentra muy cerca del anterior e indica la similitud de complejidad entre ambos sectores. El menor valor corresponde al Sector 5 manifestando la escasa complejidad del sector costero evaluado.

### DEPENDENCIA DE LA LONGITUD DE LA COSTA SOBRE LA PRECISION

Se debe ahora estimar la longitud total de la línea de la costa establecida en diferentes niveles de tamaños de caja. Se ha determinado

**Tabla 1.** Resultados para distintas formas fractales.

	Dim. Fractal	Compás	C. de Celdas	Divisor
Curva de Koch	1.2619	1.2617	1.2691	1.2621
Cuadrado	2.0	1.9999	1.9997	1.4521
Recta	1.0	1.0354	0.9999	1.0004
Triángulo de Sierpinski	1.585	-	1.5846	-



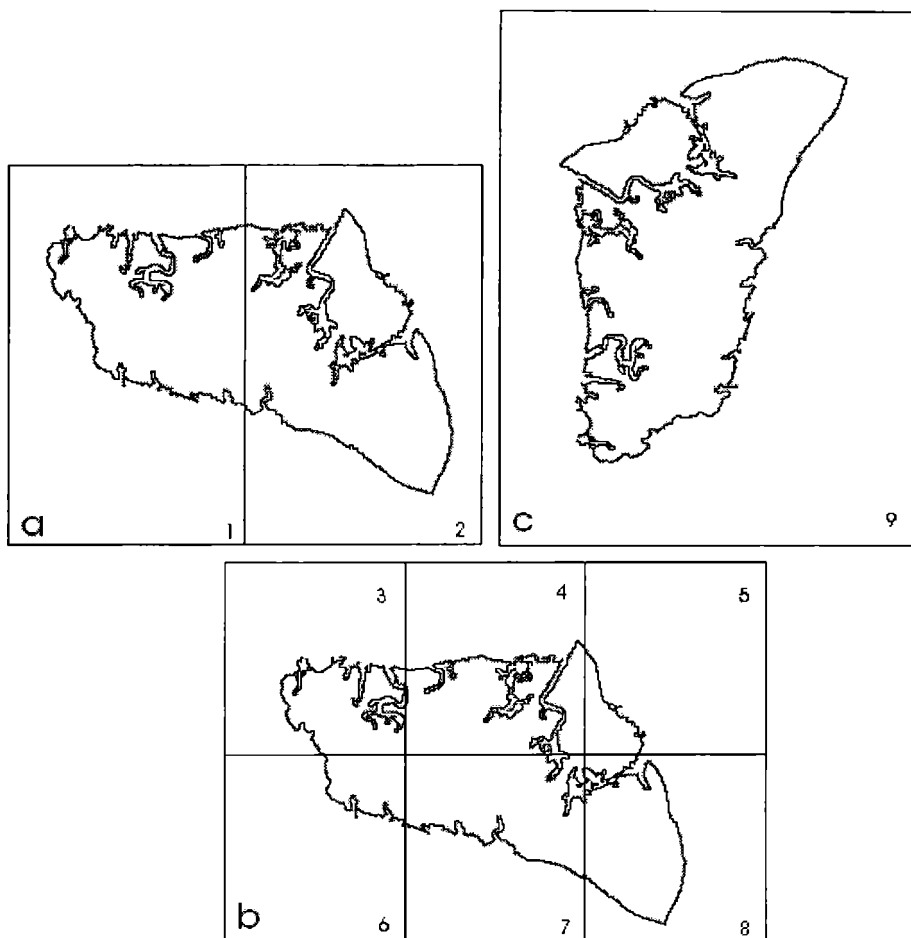


Figura 5. Línea de costa perteneciente a la isla Trinidad, rotada y su división en partes.

que la dimensión fractal sobre toda la isla en el rango del tamaño de grilla entre 0.06 y 0.240 km es  $D = 1.496$ . Estos dos puntos se muestran en la Figura 6 y se obtienen en función de la pendiente de la dimensión fractal en función del tamaño de la grilla. Por lo tanto, se puede obtener una estimación de la longitud de la línea de costa mediante el cociente entre las longitudes adquiridas en las dos diferentes precisiones. Es necesario hacer notar que  $L(s_1)$  es el valor obtenido para la longitud de la costa usando  $s_1$ , y  $L(s_2)$  la longitud medida con  $s_2$ , entonces el cociente entre estas dos longitudes es;

$$L(s_1) / L(s_2) = (s_2 / s_1)^{D-1}$$

Tabla 2. Dimensión fractal y correlación de la línea de costa perteneciente a la isla Trinidad por el método Conteo de Celdas.

Sector	Dimensión Fractal	Correlación
1	1.4467	0.992
2	1.4395	0.986
3	1.4228	0.993
4	1.4213	0.994
5	1.2000	0.990
6	1.2235	0.990
7	1.3299	0.993
8	1.3402	0.986
9 Rotado	1.4014	0.982

Esta ecuación se basa en dos suposiciones: 1) se supone que la precisión  $s_1$  y  $s_2$  establece una sección autosimilar del diagrama log-log para esta costa; 2) se supone que la longitud del segmento establecido dentro de cada caja ocupa toda la caja. Ahora bien, si se procede a aplicar la ecuación anterior a la isla Bermejo;

$$L(0.06 \text{ km}) / L(0.240 \text{ km}) = (0.240 / 0.06)^{1.496-1} = 1.98$$

Se supone que el mismo valor de dimensión fractal de 1.496 sobre toda la isla obtenida en el rango de tamaños de cajas entre 0.06 y 0.240 km puede ser extrapolado a valores más pequeños del tamaño de celda. Entonces, se estima la longitud de la costa a una precisión mayor, por ejemplo si se considera 1 m, en este caso la relación a 1 km sería;

$$L(0.001 \text{ km}) / L(1 \text{ km}) = (1000)^{1.496-1} = 30.76$$

Así, se predice que el valor de la longitud de la costa medida a una precisión de 1 m será 30.76 veces mayor que la medida a una precisión de 1 km.

### DIMENSION FRACTAL DE LA COSTA ATLANTICA

Se empleó la base de datos digital del World Vector Shoreline como fuente de las

coordenadas geográficas de la costa Argentina. Se evaluó la dimensión fractal mediante el uso del método del divisor y se compararon los resultados con los obtenidos por otros autores (Diez, 2007), ya que emplearon la misma fuente de datos pero le incorporaron puntos entre coordenadas a través de la rutina STINV (Perillo y Piccolo, 1991). En la Tabla 3 se puede observar los valores de dimensión fractal y el desvío estándar para cada una de las provincias y de toda la costa Argentina.

Del análisis se puede inferir que no existe una tendencia obvia de cambios de complejidad a lo largo de la costa Atlántica, pero es notable el pico encontrado en la provincia de Río Negro, tal vez sea un claro indicio de la marcada complejidad de sus costas en función del resto. Por otro lado, existe una diferencia con los datos obtenidos por Diez (2007), ya que al interpolar datos a la serie original están incorporando escalas más pequeñas, alteran la autosimilaridad de la serie y pueden alcanzar conclusiones disímiles a las obtenidas por este trabajo. Basado en la dimensión fractal (Tabla 3), se puede inferir que existe una tendencia a disminuir la complejidad de las costas desde el norte hacia el sur. Mientras que la dimensión fractal de toda la Argentina se estableció en 1.1099 y todas las evaluaciones se efectuaron sobre intervalos autosimilares para garantizar el comportamiento fractal.

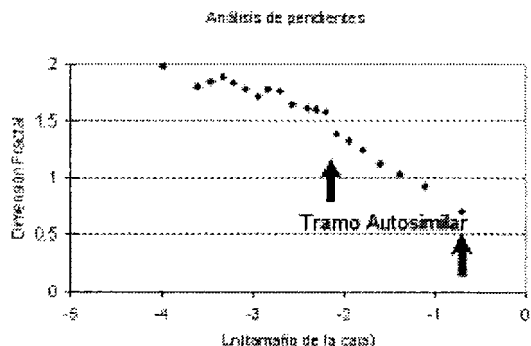


Figura 6. Análisis de pendientes de la dimensión fractal mediante el empleo de 3 puntos de dimensión fractal.

Tabla 3. Dimensión fractal y su desvío estandar evaluada mediante el método del Divisor y comparación con los obtenidos por Diez (2007)

Costa	D. Fractal Met. Divisor	Desvio D.F.	D. Fractal Diez et al (2006)
Buenos Aires	1.1327	0.0668	1.0366
Río Negro	1.1816	0.0951	1.0193
Chubut	1.1559	0.0503	1.0257
Santa Cruz	1.1429	0.0429	1.0128
Tierra del Fuego	1.1327	0.0694	1.0187
Argentina	1.1099		

## CONCLUSIONES

De manera general a través de los resultados del análisis de influencia de la resolución en la estimación de la dimensión fractal (D), se concluye que D está influenciado por la longitud de la regla, además dependiendo del nivel de detalle de un conjunto de objetos la dimensión fractal presenta valores diferentes. Se constata también que el comportamiento de la dimensión fractal puede ser influenciada por la geomorfología de la línea de costa, ya que dependen del grado de irregularidad de la misma, los valores de D obtenidos varían a medida que se avanza hacia el sur. Además se evaluaron las ventajas y desventajas de tres métodos aplicados en formas euclídeas y fractales, la sensibilidad del método del divisor ante la precisión y la obtención del tramo autosimilar dentro de la curva de dimensión fractal. En virtud de ello, los diagramas Log-Log pueden ser divididos en dos secciones, autosimilar y no autosimilar. Esta última, caracterizada por fluctuaciones entre las pendientes fraccionales del gráfico Log-Log, la cual aumenta con el incremento del tamaño de la longitud del paso.

Estos resultados alertan sobre la importancia de la escala espacial de trabajo y la calidad de los datos a emplear, principalmente porque la utilización del parámetro fractal incorrectamente puede acarrear con errores que enmascaren o imposibiliten una interpretación acertada de procesos geológicos, geográficos, etc, entre otros. Los resultados presentados y discutidos en este trabajo constituyen una continuación de estudios efectuados sobre la temática y en especial en el estuario de Bahía Blanca

## REFERENCIAS

- Benson B. y M. Mackenzie. 1995. Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters. *Landscape Ecology*, 10, 113-120.
- Bartley J., R.W. Buddemeier y D. A. Bennett. 2001. Coastline complexity: a parameter for the functional classification of coastal environments. *Journal of Sea Research*, 46(2), 87-97
- Diez P. 2007. Tipología de la costa argentina. Tesis doctorado. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. En evaluación.
- Inaoka, H. y H. Takayasu. 1993. Water erosion as a fractal growth process. *Phys. Rev. E*, 47, 899-910.
- Klinkenberg B. 1992. Fractals and Morphometric Measures: Is there a Relationship? *Geomorphology*, 5, 5-20.
- Lam N.S.N. y L. De Cola. 1993. Fractal Simulation and Interpolation, *Fractals in Geography* (N.S.N. Lam y L. De Cola, editors), Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 56-74.
- Longley, P. y M. Batty. 1983. Fractal measurement and line generalization. *Computers y Geosciences*, 15, 167-183.
- Mandelbrot B. 1982. *The fractal geometry of nature*. New York, W.H. Freeman y Co, pp: 461.
- Mandelbrot B. 1977. *Fractals: Form, Chance, and Dimension*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Mandelbrot B. 1983. *The fractal geometry of nature*. New York, W. H. Freeman.
- Muller J. C. 1986. Fractal dimension and inconsistencies in cartographic line representations. *The Cartographic Journal*. 23, 123-130.
- Rinaldo A. y I. Rodríguez-Iturbé. 1996. Geomorphological Theory of the Hydrologic Response. *Hydrologic Processes*, (Special Issue by Invitation), 10, 803-829.
- Snow R. 1989. Fractal sinuosity of stream channels. *Fractals in Geophysics*. C. Scholz, B. Mandelbrot, eds., Birkhauser Verlag, Basel, pp: 99-109.
- Takayasu H. 1992. *Fractals in the Physical Sciences*, John Wiley and Sons, NY.
- Tricot C. 1995. *Curves and Fractal Dimension*, Springer-Verlag, New York.
- Turner M.G., R. Gardner y R. O'Neill. 2001. *Landscape Ecology in theory and practice: pattern on process*. New York. Springer Verlag, pp: 401.



## EL BALNEARIO MALDONADO PARA USO RECREATIVO

*María Cintia Piccolo<sup>1,2</sup>, Nora Pizarro<sup>1</sup>, Augusto Conde<sup>1</sup>, Mónica Baldini<sup>1</sup>, María Amelia Cubitto<sup>1</sup> y Nedda Chiarello<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Sur, <sup>2</sup>Instituto Argentino de Oceanografía  
Bahía Blanca (piccolo@criba.edu.ar)

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la calidad de las aguas que se utilizan en el Balneario Maldonado para fines de recreación considerando que estas se toman en las costas del estuario de Bahía Blanca y en este se localiza un importante polo petroquímico y es una zona de gran actividad exportadora con un gran movimiento de buques y embarcaciones. Se han considerado los datos bacteriológicos y bromatológicos del agua de la pileta aportados por la Municipalidad de Bahía Blanca, mediciones de parámetros oceanográficos y meteorológicos (temperatura del agua, del aire, viento, humedad, etc.), asistencia de usuarios a dicho lugar de esparcimiento, etc. Se han estudiado las temporadas estivales (diciembre a marzo) para el período 2000-2005.

No se observa una correlación significativa entre asistentes y condiciones del tiempo atmosférico, con excepción de los días de fuertes vientos donde la concurrencia es nula. Los picos de asistencia al balneario se producen el día de Navidad y los días domingo, especialmente durante el mes de enero, decreciendo en febrero y con escasa afluencia durante marzo. El análisis de los datos bacteriológicos indica que las condiciones del agua para uso público son buenas, excepto algunos días en los cuales se observó mayor concurrencia de público, lo cual pudo haber generado un incremento en el número de ciertos grupos bacterianos considerados como indicadores en el estudio.

**Palabras clave:** Calidad de aguas-Balneario Maldonado-estuario

### ABSTRACT

The objective of the work was to study the water of the piscine of the Maldonado resort area considering that it comes from the Bahía Blanca estuary. In the shores of the estuary is located an important petrochemical plant and many activities from the local harbors are developed. Bacteriological, chemical and oceanographic and social data were used. The study period include the summer seasons (December to March) of five years (2000-2005). It was not found any relationship between the weather conditions and number of assistants to Maldonado, except in those days where with strong winds. The maximum assistance of people is registered during Christmas and on Sundays. Then it decreases on February and March. In general, the bacteriological data indicated that the water is good for public use, except on some days where the concurrence increased.

**Keywords:** water quality-Maldonado resort area-estuary

### INTRODUCCION

La ciudad de Bahía Blanca (38° 44' S y 62° 16' O) es un centro urbano que cuenta aproximadamente con 300.000 habitantes. Está ubicada en el SO de la provincia de Buenos

Aires y recostada sobre la costa atlántica. El Balneario Maldonado, localizado en el estuario de Bahía Blanca, es un área recreativa al que visitan los habitantes de esta ciudad. Su historia se remonta a fines del siglo XIX, cuando se configuraba como un pequeño puerto,

preferido por los pescadores, dada su cercanía al núcleo urbano. En esa época el lugar se llamaba "Puerto Maldonado" y contaba con una fonda y hospedaje. Hacia 1885, los vecinos de la ciudad comenzaron a acudir al lugar para refrescarse durante los veranos. En 1898 el balneario tenía servicios de carpas y casillas, alquiler de trajes de baño e inclusive un pequeño restaurante. También durante la temporada estival una empresa prestaba el servicio de transporte ocho veces al día.

El 12 de octubre de 1949 es expropiado por la provincia. Hasta ese momento siempre había sido privado y había cambiado de dueños varias veces. Debido al desmejoramiento progresivo la Municipalidad de la ciudad de Bahía Blanca comienza a hacerse cargo del mantenimiento y finalmente en octubre de 1964 pasa a manos del gobierno municipal. En la actualidad el balneario cuenta con una pileta de agua salada para adultos y otra de menores proporciones para niños. El agua proviene del estuario de Bahía Blanca a través de compuertas especialmente construidas para ello. Además tiene un sector de esparcimiento compuesto por parrillas, mesas y bancos con frondosa sombra; instalaciones sanitarias con duchas y una proveeduría entre otras comodidades. El balneario posee una sala móvil de Primeros Auxilios a cargo de la Cruz Roja, la cual funciona durante toda la temporada.

Se han realizado escasos trabajos en la zona. Se destaca el de Ercolani y Rosake (2006) donde analizan el rol de los actores públicos y privados en la valorización de los espacios de ocio en la ciudad de Bahía Blanca. Piccolo *et al.* (2007) analizaron el uso recreativo del balneario por la comunidad local. Debido al incremento de las actividades portuarias en el estuario de Bahía Blanca y a la instalación de un importante polo petroquímico en las orillas del mismo, las aguas del estuario han comenzado a contaminarse con metales pesados, hidrocarburos, etc.

(Marcovecchio *et al.* 2000). Dado que la piscina del Balneario Maldonado se llena con las aguas del estuario, el objetivo de la presente investigación fue analizar la calidad de las aguas de la pileta del balneario para uso recreativo.

## METODO DE TRABAJO

Se analizó la concurrencia al Balneario Maldonado de los habitantes de la ciudad de Bahía Blanca durante la época estival. El período de estudio abarcó 5 años (2000-2005). La Municipalidad de Bahía Blanca proporcionó los datos de la cantidad de concurrentes al balneario. Se consideró también las mediciones efectuadas por ese organismo sobre la presencia de bacterias en las aguas de la piscina. Además se utilizó información meteorológica y de temperatura del agua de la estación localizada en Puerto Cuatros, cercana al estuario. Se usó los datos proporcionados por Marcovecchio *et al.* (2000) sobre el contenido de metales pesados en las aguas del estuario. Se utilizaron técnicas estadísticas estándar.

## RESULTADOS

La concurrencia promedio durante las temporadas oscila entre 500 y 720 personas por día, presentando un máximo de 3895 personas en un día durante la temporada 2004-2005 (Tabla 1). La temporada 2002-2003 es la que ostenta la mayor afluencia de público con 67380 asistentes (Tabla 2). El mayor índice de calor y de temperatura del aire para el período estudiado se presenta en la temporada 2000-2001 (44,4°). No se encontró una correlación significativa entre la temperatura del agua y la asistencia al balneario. Las temperaturas del agua oscilaron entre 27,5 °C y 13 °C durante el análisis de las diferentes temporadas estivales y estuvieron relacionadas significativamente a la temperatura del aire. La

*El Balneario Maldonado para uso recreativo.*

**Tabla 1.** Máximos de asistencia diaria al balneario Maldonado

Mes/ Temporada	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05
Diciembre	2811	2573	3043	2397	623
Enero	2998	2817	3393	2439	3895
Febrero	1752	2488	2016	862	2246
Marzo	993	272	947	223	516

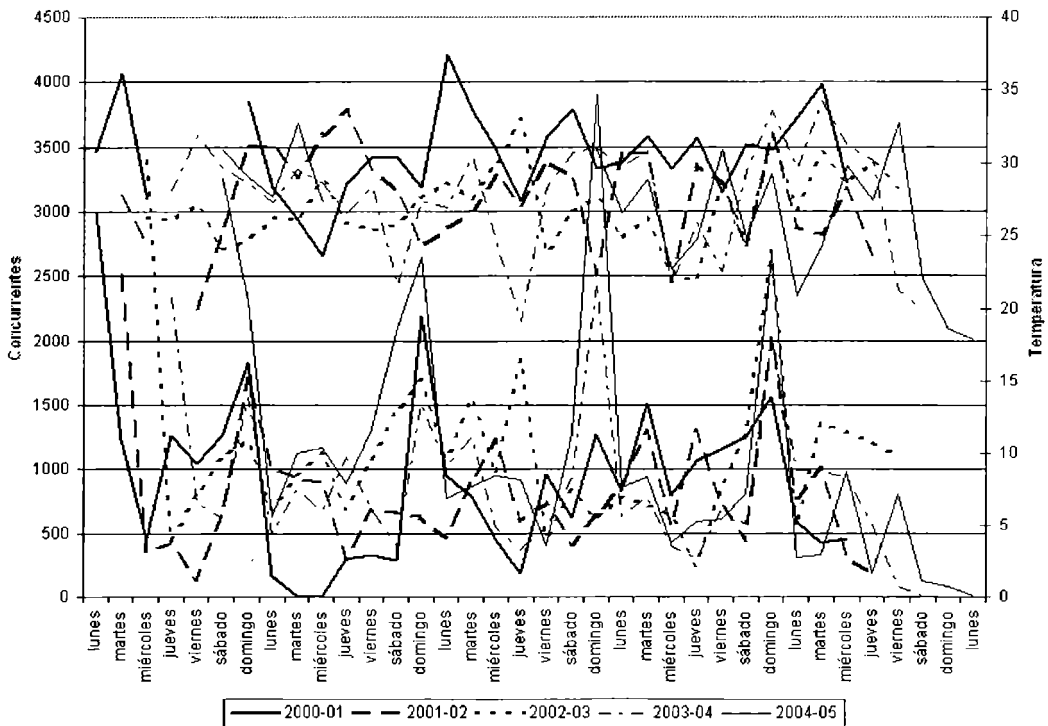
**Tabla 2.** Asistencia mensual y anual de personas al balneario

Mes/ Temporada	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05
Diciembre	9055	10455	10760	3372	2615
Enero	28272	25344	34667	27028	34278
Febrero	19508	18589	17367	9831	17133
Marzo	5490	1723	4586	1017	2981
<b>Total</b>	<b>62325</b>	<b>56111</b>	<b>67380</b>	<b>41248</b>	<b>57007</b>

máxima velocidad de viento de todo el período se produjo los días 24 y 25 de diciembre de 2004, en los cuales la velocidad superó los 100 km/hora.

Se analizó la relación entre el número de concurrentes y las máximas temperaturas diarias registradas mensualmente durante la temporada estival. La Figura 1 muestra la temperatura máxima registrada y el número

de asistentes al balneario para cada día de la semana. Se observó que la mayor concurrencia al balneario se produjo durante los sábados y domingos como así también durante los días feriados, más allá de la temperatura registrada. Sólo en casos muy excepcionales, cuando la



**Figura 1.** Concurrencia de acuerdo al día de la semana durante los meses de enero



**Figura 2.** Temperaturas máximas (°C) y número de concurrentes al balneario Maldonado durante el mes de diciembre de las cinco temporadas estivales.

temperatura máxima superó los 30 °C se observó un aumento de la concurrencia al balneario. Por otro lado, el balneario Maldonado presenta una concurrencia excepcional durante el día de Navidad en todas las temporadas estudiadas. En la Figura 2 se muestra la máxima temperatura diaria registrada en diciembre y la concurrencia diaria. En general, el 25 de diciembre concurren un promedio de 2500 personas. La única excepción se produjo durante la temporada 2004-2005 en el cual el día de Navidad fue excepcionalmente frío con una temperatura máxima que sólo alcanzó los 17 °C. Como ya se mencionó, en esos días se registró la máxima velocidad de viento de todo el período, superando los 100 km/h.

Las aguas de las piletas del balneario se llenan con aguas del estuario de Bahía Blanca. En temporadas anteriores se cambiaba el agua de las piletas cada 48 horas y se agregaba a la pileta 1000 litros de Hipoclorito de Sodio. Actualmente solamente se cambia el agua una

vez por día aprovechando el estado de la marea. Es decir, se abren las compuertas en pleamar. Por lo tanto no existe un horario definido para que ingrese el agua, dado que la pleamar se produce con una diferencia de aproximadamente 40 minutos de la pleamar previa.

De acuerdo a los Informes del Depto de Bromatología y Protección de la Salud correspondiente a la Municipalidad de Bahía Blanca, se define como el valor límite para Enterococos presentes en aguas para uso recreativo: hasta 35 UFC/100 ml (UFC= Unidades Formadoras de Colonias). A modo de ejemplo se presentan los datos de la temporada 2000-2001. En un día solo se produjo un número mayor del aceptable para la utilización de estas piletas. El mismo tipo de resultados se observó en las temporadas anteriores. Por lo tanto, el análisis de los datos bacteriológicos indica que las condiciones del agua para uso público son buenas, excepto algunos días en los cuales se observa mayor



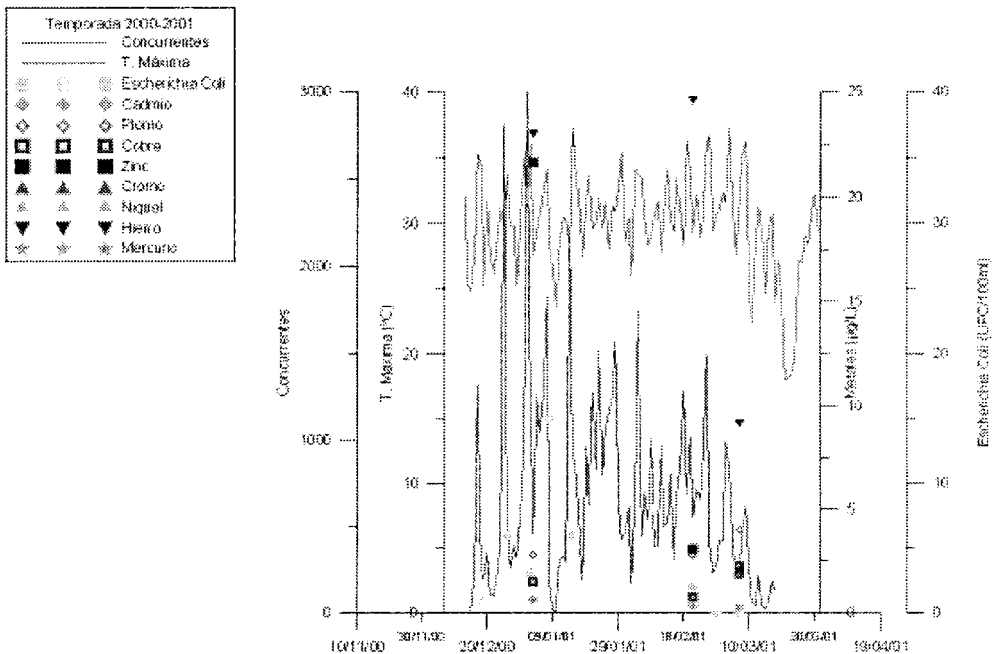
conurrencia de público, lo cual pudo haber generado un incremento en el número de ciertos grupos bacterianos considerados como indicadores en el estudio.

Para completar el estudio se analizaron los datos sobre metales pesados obtenidos por Marcovecchio *et al.* (2000) en el canal del estuario de Bahía Blanca justo frente al acceso del canal que llena las piletas del balneario. Se observó altos contenido de Hierro y Zinc y además se observa presencia de Cobre, Plomo, Mercurio y Cadmio. Por lo tanto, se iniciarán estudios relativos a la presencia de estos metales en el agua y los posibles problemas que ocasionarían a la salud humana.

### CONCLUSIONES

El balneario Maldonado es uno de los pocos lugares cercanos al mar con que cuenta la ciudad de Bahía Blanca. Muestra una a-

fluencia importante de usuarios y el mismo es utilizado, durante el período estival, como colonia de vacaciones. Por este motivo se considera que debe ser preservado, tanto su infraestructura como la calidad de sus aguas. Su adecuado mantenimiento beneficia a la Municipalidad y a la población que hace uso del mismo (Piccolo *et al.*, 2007). El número de concurrentes al balneario es importante, con un máximo diario de 3895 personas. Se destaca la temporada 2002-03 como la de mayor asistencia (67380). El 25 de diciembre y el mes de enero son los de mayor afluencia de personas, destacándose también los días domingos. Sin embargo, esta variable resultó importante en el resto de la semana, a mayor temperatura del aire mayor asistencia. Sin embargo, no se encontró una relación significativa entre la temperatura del aire y la asistencia al balneario durante los fines de semanas y feriados.



**Figura 3.** Metales pesados, concurrentes, máximas temperaturas del aire y número de *Escherichia Coli* presente durante la temporada 2000-2001.

En algunos controles sanitarios se encontró que el nivel de enterococos (*Escherichia Coli*) superaba el permitido según las normas internacionales de protección ambiental. Se observa una gran variedad de metales pesados en la columna de agua (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, Fe, etc) del canal principal del estuario. Dado que esas aguas se utilizan para el llenado de las piletas, se sugiere medir estas variables en ellas y estudiar la cantidad de metales pesados presentes en el agua en relación a los niveles permitidos de exposición humana.

### REFERENCIAS

- Ercolani, P y P. Rosake. 2006. El rol de los actores públicos y privados en la revalorización de los espacios de Ocio. Caso de estudio: Bahía Blanca, Argentina. Actas del Coloquio Internacional: Desarrollo territorial y recurso Sostenible, Universidad del Atlántico. Bogotá. Pp13.
- Marcovecchio, J., Asteasuan, L. Ferrer, S. Andrade, A. Asteasuan, E. Contardi y R. Freije. 2000. Estudio de la calidad del agua en la ría de Bahía Blanca ( 2º etapa). Instituto Argentino de Oceanografía. Informe final 53 pp.
- Piccolo, M.C., N. Pizarro y A. Conde. 2007. Balneario Maldonado: Su utilización por la comunidad local. IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense. En prensa.

## ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION MENSUAL Y ESTACIONAL EN LA REGION PATAGONICA ARGENTINA

*Paula Beatriz Martín<sup>1,2</sup> y Leonardo Ariel Serio<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CONICET-UBA)

<sup>2</sup> Dep. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN-UBA). Ciudad Universitaria, Pab. II, 2° piso, (1428) Buenos Aires, Argentina. Te: 4787-2693 Fax: 4788-3572. martin@cima.fcen.uba.ar

<sup>3</sup> Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, UBA  
Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina. serio@agro.uba.ar

### RESUMEN

El clima de la Patagonia Argentina se caracteriza por la extrema sequedad del aire, debido a la escasez de precipitaciones y a la excesiva evaporación como consecuencia de los intensos vientos. Estas condiciones convierten al agua en un recurso escaso. Es por este motivo que en el presente trabajo se analizaron los registros mensuales de precipitación en la región patagónica de la Argentina, correspondientes al período 1961-2000. Para ello, se utilizó la información disponible de las estaciones ubicadas en la región, pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), cuyos registros cubren el mencionado período. A las distribuciones de frecuencias mensuales de precipitación observada se ajustó la función de distribución Gamma. Las diferencias entre las funciones de distribución teóricas y empíricas resultaron no significativas al aplicar el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov. Se estudió la variabilidad espacial y temporal de los parámetros de forma y de escala de la distribución Gamma. Además, se calcularon los percentiles de las funciones de distribución teóricas y se analizó su variabilidad estacional. **Palabras clave:** precipitación, distribución de frecuencia, Patagonia

### ABSTRACT

The climate of the Argentinean Patagonia is characterized by the extremely dryness of the air, because of low rainfalls and high evaporation as a consequence of strong winds. That makes water a scarce resource. In the present paper, we used monthly rainfall records of the Argentinean Patagonia from the National Weather Service of Argentina, for the 1961-2000 period. The Gamma distribution were fitted to the observed monthly frequency distributions. Fits were tested by the non-parametric Kolmogorov-Smirnov test. Space and time variability of shape and scale parameters of Gamma functions were analyzed. Percentile of the theoretical distribution functions were calculated and its seasonal variability analyzed too.

**Key words:** rainfall, frequency distribution, Patagonia.

### INTRODUCCION

Las caracterizaciones climáticas suelen utilizar, junto con la temperatura media, el promedio aritmético de las cantidades de lluvias acumuladas mensuales, estacional o

anualmente. Pocas de ellas toman directamente en cuenta una característica que es fundamental en la pluviometría de los climas áridos, cuál es la extrema variabilidad de las precipitaciones. El valor medio es un parámetro representativo solo de las

distribuciones de frecuencias de variables que poseen una distribución normal o Gaussiana; y es bien sabido que una de las características más salientes de las distribuciones de frecuencias de las precipitaciones es su asimetría. Esta se suele acentuar en las curvas de las lluvias registradas en las regiones áridas y semiáridas, en las que el promedio aritmético, aunque esté calculado durante un largo período, pierde todo significado estadístico. En estos casos se hace indispensable considerar la incidencia de la lluvia mediante el análisis con distribuciones de frecuencias teóricas diferentes a la de Gauss. La distribución Gamma de dos parámetros (Thom, 1958), es una de las funciones más ampliamente difundidas para representar frecuencias de precipitación.

El clima de la región patagónica argentina se caracteriza por la extrema sequedad del aire, debido a la escasez de precipitaciones y a la excesiva evapotranspiración potencial como consecuencia de los intensos vientos. Estas condiciones convierten al agua en un recurso escaso. Sin embargo, los estudios sobre la precipitación en esta región no abundan, debido a la escasez de registros oficiales continuos y a la baja densidad de estaciones meteorológicas en la región. Este problema se ha acentuado durante las últimas décadas. Pese a ello, se han realizado algunos trabajos ampliando la base de datos oficiales con los provenientes de estancias y otras fuentes ubicadas en la región, ya sea con fines agronómicos, hidrológicos o climatológicos.

De Fina *et al.* (1965, 1968a, 1968b) realizaron la caracterización agroclimática de cada una de las provincias patagónicas a partir de datos observados y estimados de temperatura y precipitación. En su relevamiento, lograron acceder a más de 80 registros de precipitación de 30 o más años de extensión, la mitad de ellos completos.

Barros y Mattio (1978) analizaron las variaciones de la precipitación en la región

patagónica entre 1920-1970. A pesar de la aridez general de la región encontraron algunos períodos en que se produjeron anomalías significativas con precipitaciones ostensiblemente por encima de la normal, como la ocurrida en la provincia de Chubut durante la década del 40 y en Río Negro durante la década del 50. Además, encontraron que la zona costera del sur de Santa Cruz sufrió una marcada tendencia hacia menores precipitaciones durante el período analizado.

El objetivo de este trabajo es estudiar la distribución de las precipitaciones en la región patagónica Argentina durante las últimas décadas, mediante el ajuste de las distribuciones de frecuencias mensuales observadas a la función de distribución Gamma.

## MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron 40 años de datos mensuales de precipitación del período 1961-2000, de 13 estaciones pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicadas en la región de estudio. En la Tabla 1 se presenta el listado de las estaciones utilizadas con sus correspondientes coordenadas.

Para el ajuste de las distribuciones de frecuencia se utilizó la distribución Gamma de

**Tabla 1.** Ubicación de las estaciones meteorológicas analizadas en el trabajo.

Estación	Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (m)
Bahía Blanca	-38.7	-62.2	83
Bariloche	-41.2	-71.2	840
Cdoro. Rivadavia	-45.8	-67.5	46
Esquel	-42.9	-71.2	785
Lago Argentino	-50.3	-72.3	220
Maquinchao	-41.3	-68.7	888
Neuquen	-39.0	-68.1	270
Puerto Deseado	-47.7	-65.9	80
Río Gallegos	-51.6	-69.3	19
San Antonio Oeste	-40.7	-65.0	7
San Julián	-49.3	-67.8	62
Trelew	-43.2	-65.3	43
Ushuaia	-54.8	-68.3	14

dos parámetros (Thom, 1958), cuya función de distribución de probabilidad está dada por la ecuación (1):

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}; \text{ (para } x > 0 \text{)} \quad (1)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son las constantes a ser ajustadas, llamadas respectivamente parámetros de forma y de escala, y  $\Gamma(\alpha)$  es la función Gamma, dada por la ecuación (2):

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

Las principales ventajas de la Gamma respecto a otras distribuciones, como la de Gauss, es que se adapta fácilmente a todo tipo de asimetrías y está definida sólo para valores positivos de la variable  $x$ . Esto la hace apta para representar frecuencias de precipitación. El ajuste se realizó eliminando los meses en que la precipitación fue nula. Las diferencias entre las funciones de distribución teóricas y empíricas se estudiaron aplicando la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov. Luego, se corrigieron las funciones teóricas considerando en cada caso la probabilidad empírica de ocurrencia de ceros en las serie de precipitación. Además, se calcularon los percentiles de las funciones de distribución teóricas y se analizó su variabilidad estacional.

## RESULTADOS

En las Figuras 1 y 2 se presenta la distribución espacial de los parámetros de escala y de forma de la función Gamma, respectivamente, para los meses de enero, abril, julio y octubre. El parámetro de escala (Fig. 1) adquiere menores valores durante el mes de enero y tiene una distribución bastante homogénea con máximo al norte decreciendo hacia el sur. En cambio, durante los meses de abril y julio la distribución presenta un máximo en el extremo norte de los Andes Patagónicos que se extiende en una franja que atraviesa la región hacia el sudeste, hasta el norte de Santa Cruz.

El parámetro de forma (Fig. 2) en enero tiene muy poca variabilidad en todo el centro y oeste de la región, y un fuerte gradiente aumentando hacia la costa y hacia el extremo sur. En julio el comportamiento es totalmente opuesto con bajos valores en la región costera y máximos en el oeste con las isolíneas orientada en sentido norte-sur. Durante los meses de transición es mucho más homogénea la distribución, siempre con máximos en el sur.

En la Figura 3 están representadas las distribuciones de la precipitación mensual en algunas localidades del área de estudio. Se presentan los valores de precipitación correspondientes a los niveles de probabilidad

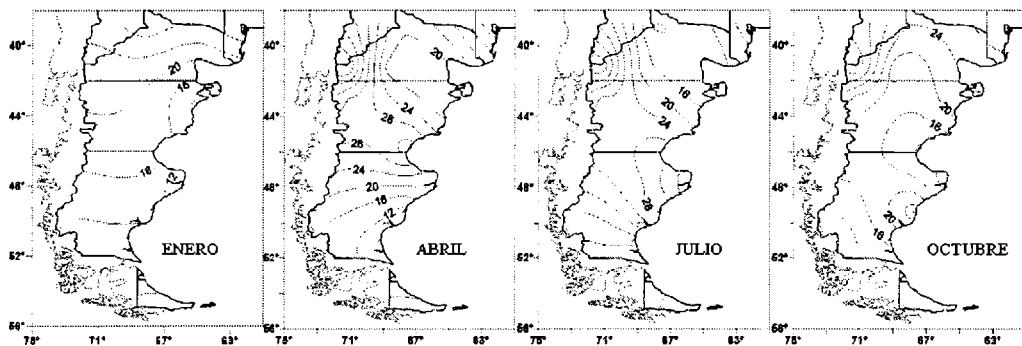
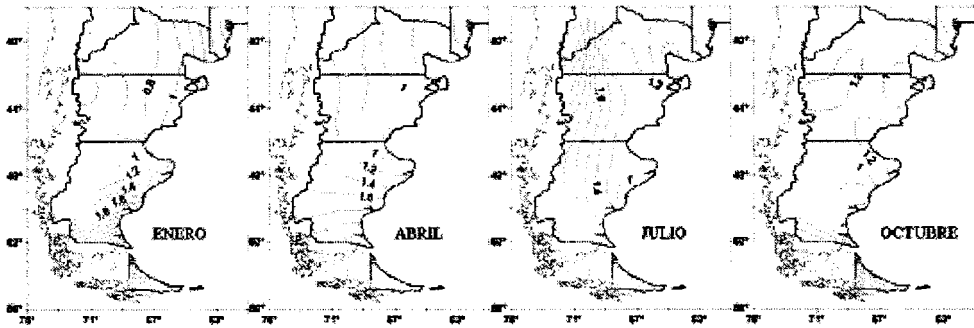


Figura 1. Distribución espacial del parámetro de escala ( $\beta$ ) de la función Gamma ajustada a las precipitaciones en los meses de enero, abril, julio y octubre.



**Figura 2.** Distribución espacial del parámetro de forma ( $\alpha$ ) de la función Gamma ajustada a las precipitaciones en los meses de enero, abril, julio y octubre.

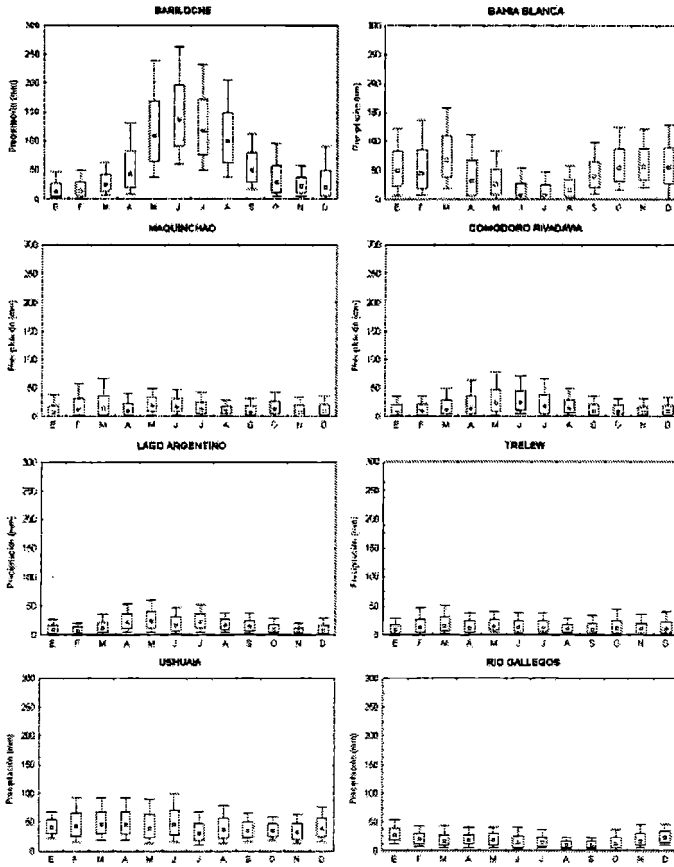
del 10, 25, 50, 75 y 90 %, obtenidos a partir de la función Gamma ajustada.

La mayor variabilidad de las precipitaciones a lo largo del año se observan al noroeste (Bariloche) y al noreste (Bahía Blanca) de la región, aunque con diferentes regímenes. En las localidades de Bariloche y Esquel (no mostrado) predominan las precipitaciones invernales. Este régimen es típico de esas zonas adyacentes a la cordillera, pero cambia completamente al desplazarse unos 100 km hacia el este (Prohaska, 1976). En cambio, el régimen en Bahía Blanca presenta máximos durante el semestre cálido y en particular durante la primavera (octubre a diciembre) y hacia el final del verano. En todo el resto de la región las precipitaciones son escasas durante todo el año, aunque el régimen de precipitación cambia de norte a sur. Este pasa de tener un ciclo semi-anual con máximos en otoño y primavera (Maquinchao), a un ciclo anual con máximo en invierno (Comodoro Rivadavia), cambiando nuevamente hacia el sur (Río Gallegos), donde los máximos se dan en verano. En Ushuaia el régimen es diferente, con mayores precipitaciones que la zona continental adyacente por la mayor influencia oceánica.

La mediana de las precipitaciones mensuales supera los 100 mm en Bariloche

en invierno y los 50 mm en Bahía Blanca durante primavera-verano, pero no supera los 20 mm a lo largo de todo el año en la mayoría de las localidades del resto de la región. Sin embargo, aumentan levemente hacia el sur hasta alcanzar los 45 y 50 mm durante los meses de otoño en Ushuaia. En lo que respecta al percentil 90 de la distribución, cuyo valor representa la precipitación mensual probable de ser superada una vez cada 10 años, también el máximo se da en Bariloche. Allí, supera los 200 mm entre mayo y agosto, siendo máximo en junio con más de 250 mm. En Bahía Blanca excede los 120 mm entre octubre y marzo. En Ushuaia se dan una vez cada 10 años precipitación mayor a 90 mm entre febrero y junio. En el resto de las localidades analizadas no se exceden los 60 mm durante casi todo el año.

En la Figura 4 se presentan las isoyetas correspondientes al nivel de probabilidad del 50% para los meses de enero, abril, julio y octubre, respectivamente. Aquí se observa nuevamente la distribución homogénea de la precipitación en toda la región y a lo largo de todo el año, con excepción de las mencionadas regiones de transición en el noreste en primavera y verano y en el noroeste en otoño e invierno. Cabe aclarar que los gradientes que se observan en la figura al noroeste de la



**Figura 3.** Distribuciones mensuales de precipitación en algunas localidades patagónicas. Los puntos corresponden al nivel de probabilidad del 50%; los extremos de los rectángulos los niveles del 25 y 75%, y las líneas horizontales las situaciones extremas de 10 y 90% de probabilidad.

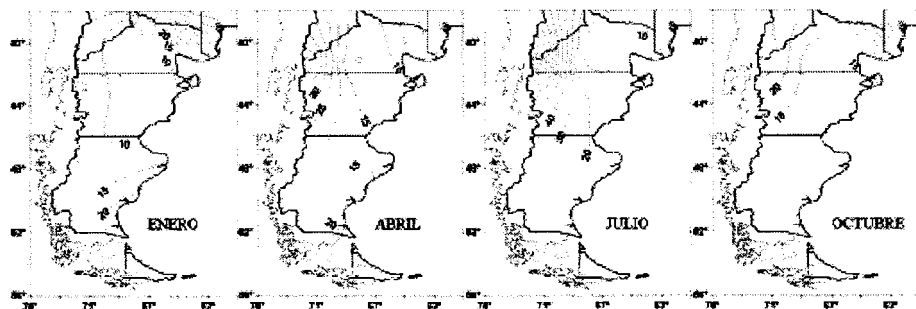
región no corresponden con la realidad, sino que se trata de una representación producida por el método de graficado. En realidad la precipitación tiene un gradiente mucho más marcado, con grandes diferencias de precipitación en muy pocos kilómetros, como ya se mencionó anteriormente.

Finalmente, en la Figura 5 se presentan las isoyetas para el nivel de probabilidad del 90 %, cuya distribución es similar a las anteriores, pero se observan mayores gradientes, obedeciendo a la mayor variabilidad de las condiciones extremas.

## CONCLUSIONES

El ajuste de la función Gamma a las distribuciones mensuales de frecuencias observadas de precipitación en localidades de la región patagónica Argentina resultó satisfactorio. Esto permitió trazar mapas con isóneas para los parámetros de forma ( $\alpha$ ) y de escala ( $\beta$ ). Se observó que existe una variabilidad estacional en la distribución de ambos parámetros.

El uso de la función teórica (Gamma) permitió estudiar la precipitación para distintos



**Figura 4.** Distribución espacial de las precipitaciones mensuales correspondientes al nivel de probabilidad del 50%, según la función Gamma ajustada en enero, abril, julio y octubre.

niveles de probabilidad. En particular, se encontró que una vez cada 10 años pueden ocurrir precipitaciones mensuales de más de 200 mm en Bariloche en invierno. Sin embargo, en la mayoría de las localidades analizadas estos valores no superan los 60 mm a lo largo de casi todo el año.

### REFERENCIAS

Barros, V. y H. Mattio. 1978. Tendencias y fluctuaciones de la precipitación en la región patagónica. *Meteorológica VIII-IX*: 237-246.

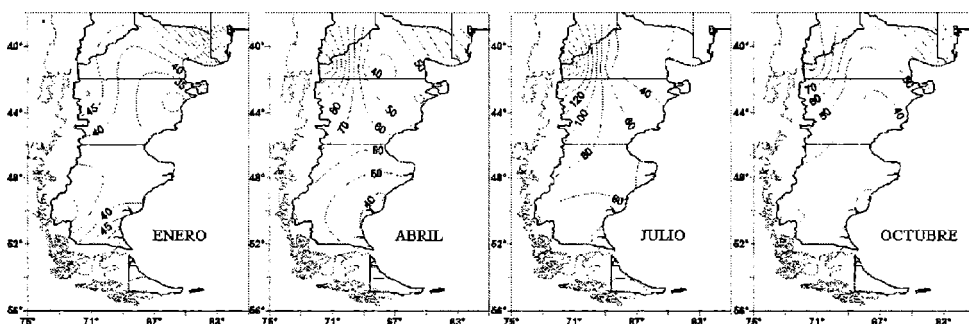
De Fina, A., F. Giannetto y L. Sabella. 1965. Difusión geográfica de cultivos índices en las provincias de Neuquén y Río Negro y sus causas. Instituto de Suelos y Agroecología, INTA, Publicación 96. 84p.

De Fina, A., A. Garbosky, F. Giannetto y L. Sabella. 1968a. Difusión geográfica de cultivos índices en la provincia de Chubut y sus causas. Instituto de Suelos y Agroecología, INTA, Publicación 110. 78p.

De Fina, A., A. Garbosky, F. Giannetto y L. Sabella. 1968b. Difusión geográfica de cultivos índices en la provincia de Santa Cruz y sus causas. Instituto de Suelos y Agroecología, INTA, Publicación 111. 72p.

Prohaska, F. 1976. Climates of Central and South America. In: *World Survey of Climatology*, Vol. 12. Elsevier, Amsterdam.

Thom, H. 1958. A note on the Gamma distribution. *Monthly Weather Review* 86: 117-122.



**Figura 5.** Distribución espacial de las precipitaciones mensuales correspondientes al nivel de probabilidad del 90%, según la función Gamma ajustada en enero, abril, julio y octubre.



## ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS GRAVIMETRICOS. UNA HERRAMIENTA PARA REGULARIZARLOS

*M. Patricia Martínez<sup>1,2</sup>; Mónica Morvillo<sup>3</sup>; Mario E. Gimenez<sup>1,2</sup>;  
Federico Lince Klingner<sup>4</sup> y Francisco Ruiz<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Instituto Geofísico Sismológico Volponi. FCEF.N. UNSJ. Avenida Ignacio de la Roza y Meglioli.  
5400. Rivadavia. San Juan. mpm@unsj-cuim.edu.ar

<sup>2</sup> CONICET. Rivadavia 1917. 1033. Capital Federal

<sup>3</sup> Departamento Geofísica. FCEF.N. UNSJ.

<sup>4</sup> Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

### RESUMEN

Se construyó una carta de anomalías de Bouguer para las provincias de San Juan y La Rioja a partir de una base de datos heterogénea. Se aplicó el método de Krige analizando previamente aspectos estadísticos como: a) distribución espacial de las muestras, b) análisis de la homogeneidad de la variable AB en el área geográfica, c) análisis del comportamiento espacial de los datos.

La visualización espacial de dos tendencias opuestas cuya línea de encuentro coincide con el eje andino forzó a separar la muestra de datos en dos sub-áreas. De esta manera, se trabajó en dos etapas: 1) estimación de los datos hacia el Oeste de la Cordillera de los Andes, 2) Estimación de anomalía de Bouguer hacia el Este de la Cordillera de los Andes, y 3) Unión de ambos archivos de datos y estimación del área total.

**Palabras Claves:** Regularización-Gravedad-Estadística-Krige

### ABSTRACT

The map of anomalies of Bouguer was built for San Juan and La Rioja provinces starting from a heterogeneous database. The method of Krige was applied analyzing statistical aspects previously as: a) space distribution of the samples, b) analysis of the variable's homogeneity in the geographical area, c) analysis of the data's spatial behaviour.

The spatial visualization of two opposed tendencies whose alignment coincides with the Andean axis, had forced to separate the sample of data in two sub-areas. The work was divided in two stages: 1) Estimate of the data toward the West of the Mountain range of the Andes, 2) Estimate of anomaly of Bouguer toward the East of the Mountain range of the Andes, and 3) Union of both files of data and estimate of the total area.

**Keywords:** Regularization-Gravity-Statistic-Krige

### INTRODUCCION

Es ya conocido el problema de regularización de los datos de cualquier tipo de muestreos, geológicos, topográficos, geofísicos, biológicos, astronómicos, etc. En

particular, en la confección de cartas gravimétricas para el territorio argentino, las primeras contribuciones importantes que se destacan son: la de Guspí *et al.* (1987), confeccionando mapas gravimétricos de la Provincia de Córdoba; Introcaso *et al.* (1992)

elaborando la carta gravimétrica de Precordillera y Sierras Pampeanas y Guspí *et al.* (1995) presentando la carta gravimétrica de la República Argentina entre los 31° y 42° de latitud Sur (utilizando el método de mínima curvatura, Briggs, 1974).

En principio se contó con la base de datos propios IFIR-IGSV (Instituto de Física de Rosario e Instituto Geofísico Sismológico Volponi) y del IGM (Instituto Geográfico Militar Argentino) que incluían datos gravimétricos hasta el año 1988 y se confeccionó una carta preliminar de la República Argentina utilizando el método del promedio ponderado (Guspí, 1990; Introcaso, 1990).

Posteriormente se añadió a esta base de datos: a- la carta sudamericana de anomalías de Bouguer de la Universidad de Leeds (Gran Bretaña) publicada por Green y Fairhead (1991), y b- en 1995 se obtuvo una base de datos de Chile cedida sin cargo al IFIR por el Licenciado Gonzalo Yañez de SERNAGEOMIN.

Con una gran cantidad de datos relevados entre 1995 y 1997 en el Valle del Tulum, Sierras Pampeanas y Precordillera, en 1999 se pre-sentó la carta gravimétrica de la provincia de San Juan (Robles *et al.*, 1995).

Entre 1998-2000 se realizaron campañas gravi-altimétricas en la provincia de La Rioja, incluyendo mediciones areales hacia el Norte y Sur de La Rioja y sobre la Sierra de Famatina cuyo primer producto fue la obtención de una Carta Gravimétrica de la provincia de La Rioja (Martínez *et al.*, 2000). Luego se intensificaron las mediciones sobre la Sierra de Velasco y sus alrededores, para confeccionar la Carta Gravimétrica de la Sierra de Velasco (Martínez *et al.*, 2001).

El presente trabajo refiere a la aplicación de los métodos estadísticos y geoestadísticos para la estimación en el espacio, de la variable "Anomalía de Bouguer (AB)" en una franja geográfica comprendida entre las latitudes

(-33°; -27,5013°) y longitudes (-71°;-65°). Esta franja geográfica abarca la porción de Chile e incluyen las Provincias de San Juan y La Rioja en la Argentina. Al efecto fue empleada la metodología de Krige (Krige, 1951; Matheron, 1962, 1963.a, 1963.b; Ribeiro, 1995), dado sus propiedades de estimador insesgado, varianza mínima y sensibilidad a las posiciones espaciales de las muestras.

## ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS

En la construcción del archivo base, se sumaron a nuestra base de datos (IGSV-IFIR), la base de datos de Chile y una treintena de puntos obtenidos por estimación lineal: gravedad vs elevación en la zona central de Argentina, siguiendo a Introcaso *et al.* (1995), como puede verse en la Figura 1. La muestra tomada consta de 4383 valores de anomalía de Bouguer (AB) asociados a las coordenadas espaciales longitud, latitud y cota topográfica. La aplicación del método de Krige requirió el análisis de algunos aspectos básicos:

### Distribución espacial de las muestras

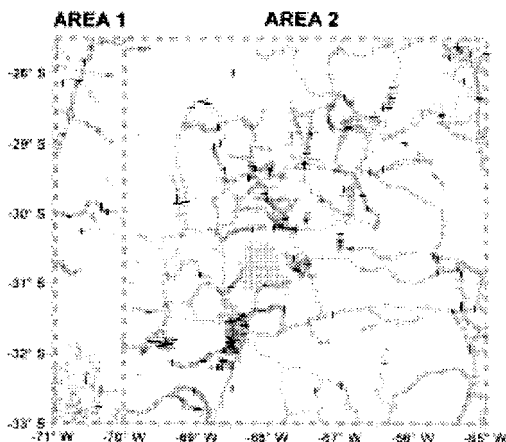


Figura 1. Distribución espacial de los datos. (Particiones: Área 1 y Área 2)

Este análisis tuvo el propósito de examinar la forma y densidad de las posiciones del muestreo, para adquirir criterio sobre sus implicancias tanto en el resumen descriptivo de la variable, como en la elección del radio de búsqueda de datos (vecindad) requerida para la estimación puntual según Krige.

En la Figura 1 observamos que los sondeos fueron tomados en forma irregular, definiendo zonas de mayor y menor densidad de información. Esta característica restringe la definición del entorno para los nodos de estimación, a radios no inferiores a la mitad del mayor espaciamiento entre muestras vecinas. Caso contrario la estimación produce indeterminaciones en las zonas de menor densidad de datos.

**Análisis de la homogeneidad de la variable en el dominio o área geográfica:**

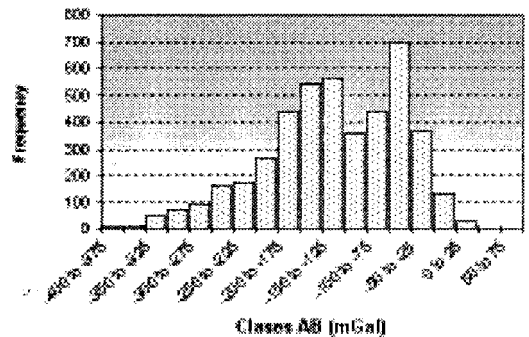
En este caso se examina el requisito de “continuidad espacial de la variable en el área de estimación”, enunciado por la Geoestadística. A efectos de no rechazar el supuesto se esperaba visualizar una distribución unimodal. La distribución de frecuencias (Tabla 1, Fig. 2) de los valores de anomalía, mostraron una depresión central con dos puntos de concentración.

El resultado advirtió la posibilidad de heterogeneidades que no son admitidas en el marco teórico de la aplicación. Esto debió ser examinado antes de continuar con la estimación, pues podía requerir la partición de la muestra, en sub-áreas de comportamiento homogéneo que permitieran la aplicación. Entre los aspectos que se investigaron, se consideraron: la presencia de discontinuidades, saltos y cambios irregulares en la tendencia espacial de la variable. Para ello fue necesario visualizar los datos en el espacio.

**Análisis del Comportamiento Espacial de los Datos**

**Tabla 1.** Tabla de frecuencia de los valores de anomalía de Bouguer

ANOM. BOUGUER	Frequency	Percent	Cumulative Percent
-400 to -375	7	0,16	0,16
-375 to -350	11	0,25	0,41
-350 to -325	47	1,07	1,48
-325 to -300	73	1,67	3,15
-300 to -275	92	2,10	5,25
-275 to -250	160	3,65	8,90
-250 to -225	173	3,95	12,85
-225 to -200	269	6,14	18,98
-200 to -175	438	9,99	28,98
-175 to -150	539	12,30	41,27
-150 to -125	562	12,82	54,10
-125 to -100	355	8,10	62,19
-100 to -75	438	9,99	72,19
-75 to -50	696	15,88	88,07
-50 to -25	363	8,28	96,35
-25 to 0	132	3,01	99,36
0 to 25	25	0,57	99,93
25 to 50	2	0,05	99,98
50 to 75	1	0,02	100,00



**Figura 2.** Histograma de anomalía de Bouguer

Este análisis tiene por objeto examinar los valores de la anomalía de Bouguer (AB) respecto a sus coordenadas espaciales por medio de un gráfico tridimensional, para detectar las distintas situaciones de heterogeneidad y definir los pasos a seguir en la estimación.

La deriva espacial es la presencia de una tendencia regular de los datos en una determinada dirección del espacio, esto es, que

sus valores disminuyan (o aumenten) en forma monótona según una superficie plana o cóncava (convexa). Su análisis es imprescindible para la aplicación del método de Krige, dado que cuando existe la deriva espacial, la estimación de la variable  $z$  está programada en forma indirecta, es decir a través de la variable residual  $Z_{new}$  (ecuación 1)

$$Z_{new} = z - m_{(x,y)} \quad (1)$$

siendo:  $m(x,y)$ : la función que describe a la deriva. La omisión de tal aspecto podría generar un error insalvable en el proceso de regularización de los datos.

La representación 3D, diagrama de dispersión (Fig. 3) evidenció la existencia de dos tendencias que se interceptaban en una longitud de aproximadamente los  $-70^\circ$ . Desde el punto de vista geofísico esto fue totalmente aceptable debido a que los datos atraviesan la cordillera Andina. Se sabe que la morfología de los datos de AB acompañan la geometría de la raíz Andina.

Desde el punto de vista geoestadístico, el conjunto de datos no debe ser tratado en forma simultánea y precisa la partición en dos sub-áreas de pendiente única (Fig. 1, Área 1 y Área 2):

⟨Sub-área 1 correspondiente a los datos de coordenadas con longitudes  $\leq -70^\circ$ , y

Plot of AB vs Longitud and Latitud

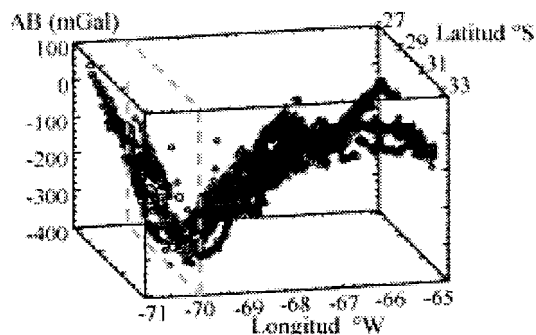


Figura 3. Diagrama 3 D. AB vs latitud y longitud.

Tabla 2.

Area 1	
ANOM. BOUGUER	Frequency
-400 to -350	4
-350 to -300	19
-300 to -250	35
-250 to -200	39
-200 to -150	42
-150 to -100	76
-100 to -50	139
-50 to 0	59
0 to 50	7
50 to 100	1

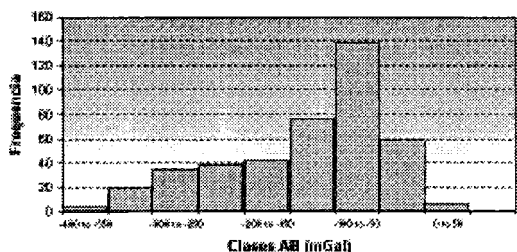
Tabla 3.

Area 2	
ANOM. BOUGUER	Frequency
-400 to -375	6
-375 to -350	9
-350 to -325	36
-325 to -300	65
-300 to -275	76
-275 to -250	142
-250 to -225	155
-225 to -200	249
-200 to -175	417
-175 to -150	518
-150 to -125	534
-125 to -100	307
-100 to -75	383
-75 to -50	612
-50 to -25	334
-25 to 0	102
0 to 25	20

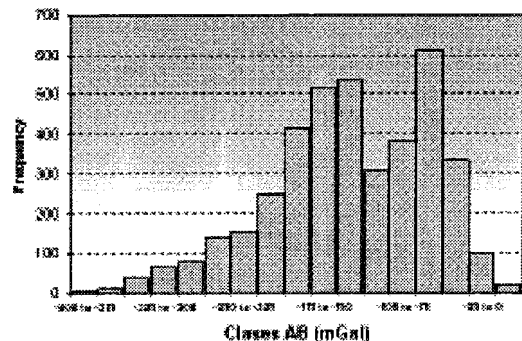
⟨Sub-área 2 correspondiente a los datos de coordenadas con longitudes  $> -70^\circ$ .

El análisis descriptivo de los datos por cada sub-área, dieron los resultados que se observan en las Tablas 2 y 3, y Figuras 4 y 5:

El histograma de AB para la sub-área 2 (Fig. 5), mantuvo la situación de bimodalidad del histograma general. Una vista tridimensional del sector permitió concluir que se debía

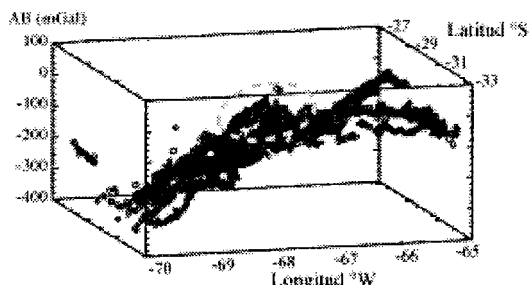


**Figura 4.** Histograma de la anomalía de Bouguer (Área 1)



**Figura 5.** Histograma de la anomalía de Bouguer (Área 2)

a un “pico” que emerge en la parte central del área y que corresponde al área de las Sierras Pampeanas de San Juan y La Rioja (Fig. 6). Existen suficientes antecedentes que señalan anomalías gravimétricas positivas en esta porción del continente (Introcaso y Huerta, 1972; Miranda e Introcaso, 1999; Introcaso y Lión, 1988 ; Gimenez *et al.*, 2000, etc).



**Figura 6.** Diagrama 3 D. AB vs latitud y longitud de la Sub-área 2

Si bien el accidente positivo es un cambio irregular en la tendencia general, el mismo no posee un área significativa como para justificar otra partición. Así la sub-área 2 fue tratada como de características homogéneas. Con esta suposición, se escapa de las nuevas teorías geológicas que hablan de la deriva continental y del rompecabezas de terranes amalgamados en esta región: Chilenia, Precordillera, Famatina, Pampeano (Ramos *et al.*, 2002).

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ESTIMACIÓN

Este punto comprende el cálculo del Semivariograma experimental, su ajuste a un modelo continuo y la estimación por el método de Krige. Las conclusiones del análisis exploratorio determinaron tres etapas para la estimación: las dos correspondientes a cada área y la tercera relacionada a la unión de ambas estimaciones, para obtener la estimación completa del área de estudio. A efectos que la unión de las estimaciones en cada área pudiera realizarse, se tuvo cuidado que las grillas geométricas aplicadas a cada área tuvieran la línea frontera con nodos comunes.

### Primera Etapa: Obtención del Semivariograma y estimación en la Sub-Área 1

El resumen estadístico de los datos del área previo al cálculo del Semivariograma, confirmaron:

- Correlación alta entre AB(Z) y la variable Longitud (X)
- Significación de los coeficientes de un plano que ajusta la deriva espacial.
- Significación del coeficiente de determinación de la regresión lineal múltiple ( $R^2=0.726$ ).

Estos resultados implicaron derivar la estimación a través de la variable residual  $Z_{new}$  (ecuación 1).

Para la deriva (función  $m(x,y)$ ), se puede optar entre una superficie lineal:

$$m(x,y)=AX+BY+C$$

y una superficie cuadrática:

$$m(x,y)=AX^2+BY^2+CX+DY+EY+F.$$

Atendiendo al diagrama de Dispersión (Fig. 7), se consideró que el modelo cuadrático ajustaba mejor al caso.

El cálculo del Semivariograma se limitó a una distancia máxima de 0.7 (expresada en la escala geográfica, décimas de grados), para la que se observó influencia. En el ajuste se optó por el modelo Cuadrático Racional. El método por mínimos cuadrados dio por resultado la función:

$$\gamma = 1579 [h^2 / (1 + h^2)] \quad (2)$$

Los parámetros de anisotropía fueron:

$$\theta \text{ (ángulo)} = 177,4 \text{ y } \lambda \text{ (razón)} = 1,2$$

El ángulo  $\theta$  es la dirección principal de mayor influencia o de menores cambios en la variable AB y a la cual corresponde el modelo ajustado. La razón, es la relación entre los alcances en la dirección principal y su ortogonal (dirección secundaria o de mayores cambios) y es el parámetro aplicado para adecuar el modelo al resto de las direcciones.

Las vistas de los semivariogramas en tales direcciones (Figuras 8.a y 8b), permiten comprender la versatilidad del modelo (en línea sin quiebres) descrita por los parámetros de anisotropía:

Cabe advertir que la menor pendiente del modelo esta dada en la dirección 177.4°,

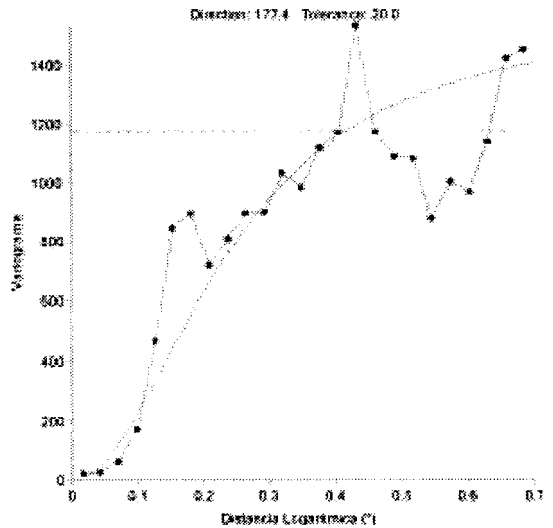


Figura 8.a. Semivariograma de la AB para el área 1, en la dirección  $\theta=177.4^\circ$

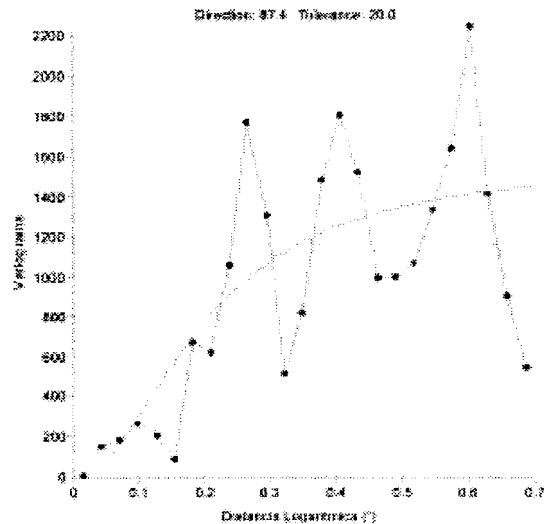


Figura 8.b. Semivariograma de la AB para el área 1, en la dirección  $\theta=87.4^\circ$

aunque la diferencia en las escalas aplicadas a cada gráfico aparente lo contrario. Por último se aplicó el criterio de Krige para estimar los valores de AB en 1900 nodos de una grilla formada por el trazado de 19 líneas equidistantes en el rango de Longitud y 100 líneas en el rango de Latitud.

El criterio adoptado fue el de Krigeado residual, que tomó de base el semivariogra-

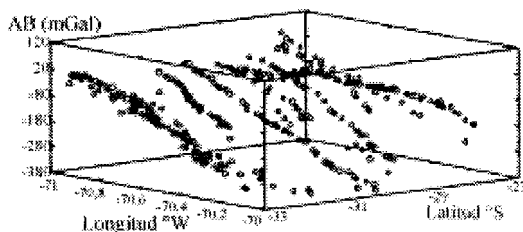


Figura 7. Diagrama 3 D. AB vs latitud y longitud de la sub-área 1

ma Cuadrático Racional obtenido para la variable residual definida por una deriva cuadrática. La estimación resultó aceptable luego de varias pruebas de ensayo y error, dado que la despareja distribución espacial de los datos del muestreo provocaba saltos y quiebres irreales o que no quedaban avalados por la variabilidad explicada en el semivariograma.

Entre las soluciones que se tuvieron que aplicar está la incorporación de 21 puntos auxiliares, externos a la muestra, cuyas coordenadas (x,y) fueron tomadas al azar en áreas de ausencia de datos y sus valores de z obtenidos por medio de la validación cruzada (cross validate). Estos puntos permitieron reducir los radios de búsqueda y la densidad de datos para el entorno de búsqueda en cada nodo y con ello, a los errores de estimación.

Otra situación que se atendió en la estimación, fue el filtrado de datos para reducir la densidad en las zonas aglomeradas, dado que este aspecto también aumentaba significativamente a los errores de estimación.

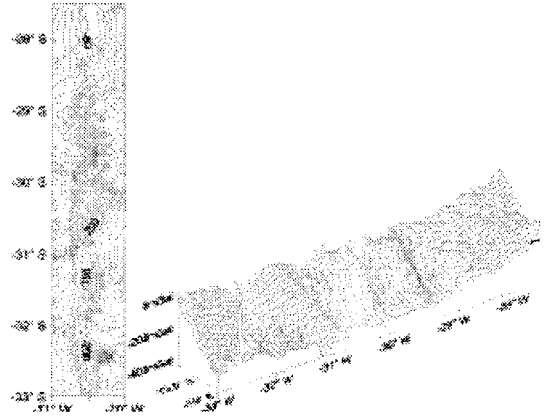
En síntesis, los parámetros para la búsqueda fueron:

-Filtrado de datos duplicados teniendo en cuenta una tolerancia mínima en longitud de:  $\Delta x = 0.025$  y en latitud de:  $\Delta y = 0.03$ , tomando del grupo aquel que posee la Me (mediana) de AB.

-Entorno elíptico con radios (0.5; 0.4) y ángulo de 177.4°.

-Selección de no más de 2 datos por sector elíptico (8 en total) y un mínimo de 2 datos, en cada entorno de nodo de estimación. La baja densidad de datos fue adoptada para asegurar estimaciones parecidas a los datos locales. La estimación se visualiza en un mapa de contornos y en un diagrama 3D, Figura 9.

Durante el proceso de estimación se creó además el archivo de las desviaciones de cada estimación, cuyas estadísticas se observan en la Tabla 4. Los valores estimados nodo a nodo en la Sub-área 1, fueron



**Figura 9.** Sub-Área 1. Izquierda, mapa de contornos resultado de la aplicación del método de Krige. Isonómalas cada 20 mGal. Derecha, diagrama 3D.

convertidos a un archivo de datos para ser complementados con los estimados para la Sub-área 2.

**Segunda Etapa. Obtención del Semivariograma y estimación en la Sub-área 2**

**Tabla 4.** Análisis estadístico de los datos estimados en la Sub-área 1. No se han tomado las desviaciones de 754 nodos que han quedado indeterminadas. Sin embargo, las estadísticas permiten dimensionar los posibles errores cometidos en cada nodo de estimación, como consecuencia de la variabilidad espacial existente.

Valid cases	1146
Minimum	0,080607916
Maximum	199802,2223
1st percentile	0,413762188
5th percentile	1,66053961
10 <sup>th</sup> percentile	3,415317237
25 <sup>th</sup> percentile	8,95753049
Median	22,96252896
75 <sup>th</sup> percentile	91,85824772
90th percentile	5781,23253
95 <sup>th</sup> percentile	13018,0358
99 <sup>th</sup> percentile	66928,95385
Geom. mean	47,96463377

Análogamente al análisis anterior, las estadísticas previas correspondiente a la sub-área 2, son:

- a) Correlación alta entre AB(Z) y la variable Longitud (X)
- b) Significación de los coeficientes de un plano que ajusta la deriva espacial.
- c) Significación del coeficiente de determinación de la regresión lineal múltiple ( $R^2=0.6473$ ).

El cálculo del semivariograma se aplicó, en consecuencia a la variable residual  $Z_{new}$  (ecuación 1); asimilando  $m(x,y)$  a una superficie cuadrática, dada la característica curvilínea del diagrama de Dispersión en el área (Fig. 6).

La distancia máxima para el cálculo del semivariograma experimental fue de 0.7, el que se ajustó al modelo lineal:  $\gamma = 9,35 \cdot h$ , con parámetros de anisotropía  $\lambda = 2.5$  y  $\theta = 107,5$ .

En este caso las direcciones de menor y mayor variabilidad son de  $107.5^\circ$  y  $17.5^\circ$  respectivamente. En las Figuras 10.a y 10b observamos las vistas de la función Variograma en tales direcciones:

Para la estimación espacial en el área se aplicó también el Krigeado residual, tomando de base el semivariograma lineal de

la variable residual originada en la deriva cuadrática. La grilla de estimación quedó formada por la intersección de 91 líneas equidistantes en el rango de Longitud y 100 líneas en el rango de Latitud.

En síntesis, los parámetros para la búsqueda fueron:

- Entorno elíptico con radios (1.2;0.6) y ángulo de  $107.5^\circ$ .
- Selección de no más de 6 datos por sector elíptico (24 en total) y un mínimo de 4 datos, en cada entorno de nodo de estimación.

La estimación se visualiza en un mapa de contornos y en un diagrama 3D (Fig. 11). Las desviaciones de la estimación quedan resumidas en la Tabla 5:

**Tercer Etapa: Estimación en el área total**

La estimación para el área completa, resulta finalmente de la unión de las estimaciones obtenidas en cada área. La operación de unión implicó las siguientes tareas:

- 1º- Transformación de cada archivo de estimación con formato gráfico en un archivo de datos.
- 2º- Unión de ambos archivos en un solo archivo de datos. Este contiene los valores estimados para todo el área y a 100 pares de valores diferentes (duplicados) correspondientes a los

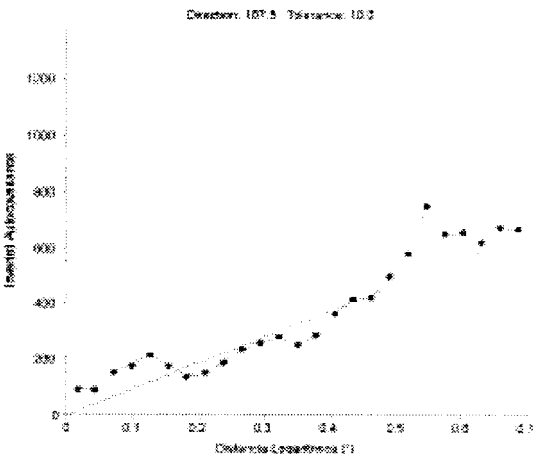


Figura 10.a. Semivariograma de la AB para el área 2, en la dirección

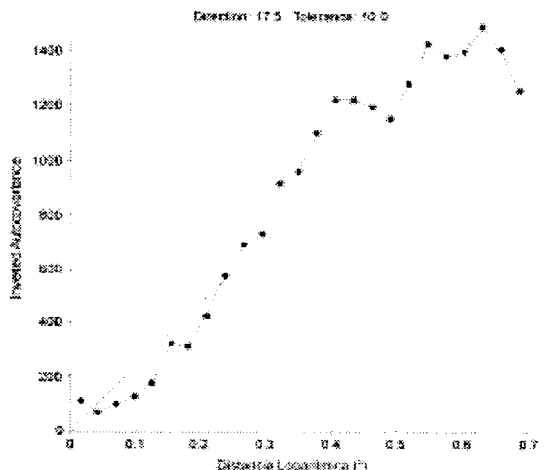
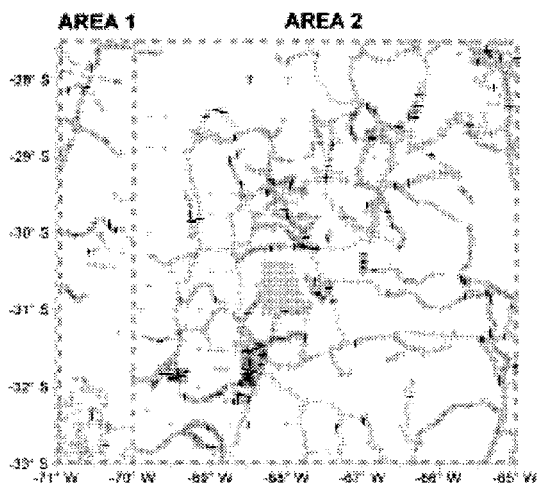


Figura 10.b. Semivariograma de la AB para el área 2, en la dirección 107.5°





**Figura 11.** Método de Krige aplicado a la Sub-Área 2. Grilla 91 X 100. Izquierda, estimación en el plano de la variable AB. Isoanómalas cada 20 mGal. Derecha, estimación 3D de la variable AB.

nodos ubicados sobre la línea (Longitud= $-70^{\circ}$ ) de intersección entre ambas grillas geométricas.

**Tabla N° 5.** Análisis estadísticos de los datos estimados para la Sub-área 2. El resumen permite concluir que la estimación para la sub-área 2 ha resultado más precisa que la obtenida para la sub-área 1, producto de una menor variabilidad espacial.

	<b>VARI</b>
Valid cases	9047
Mínimum	0,518170332
Maximum	51371,0183
Range	51370,50013
Sum	987287,0536
1st percentile	3,27976802
5th percentile	5,193032854
10th percentile	6,434300393
25th percentile	9,512164333
Median	14,60895395
75th percentile	24,41805
90th percentile	66,0994469
95th percentile	178,3285009
99th percentile	1297,325075
Geom. mean	18,27489887

3°- Transformación del archivo de valores estimados, en un archivo de estimación gráfico. Esto se consiguió aplicando el método de Krige a una grilla geométrica cuyos nodos coincidieron con las construidas en cada área y tomando como dato sólo al estimado en el nodo (krigeado singular). La duplicación en la línea longitud  $-70$ , se resuelve aplicando una selección aleatoria en la operación de estimación.

La coincidencia de los datos en los nodos de intersección, confirma que este método disminuye los problemas de borde. Las isolíneas en el área completa y su representación tridimensional se ven en la Figura 12.

## CONCLUSIONES

Se aprovechan aspectos estadísticos para la construcción de una carta de anomalías de Bouguer para las provincias de San Juan y La Rioja. Se aplica el método de Krige en una base de datos heterogénea en el que el diagrama de dispersión señala tendencias opuestas, coincidiendo el límite entre ellas con el eje andino.

De esta manera, se trabaja en tres etapas: 1) estimación de los datos hacia el Oeste de la Cordillera de los Andes, 2) estimación de anomalía de Bouguer hacia el Este de la Cordillera de los Andes, y 3) Unión de ambos archivos de datos y estimación del área total. En las dos primeras etapas, se determinó el semivariograma experimental con sus parámetros de anisotropía y se lo aplicó a la variable residual asimilando la función a una superficie cuadrática, dadas las características curvilíneas de los diagramas de Dispersión en ambas áreas. En la tercera etapa, unión de sub-bases de datos, la coincidencia de los datos en los nodos de intersección, confirma que este método disminuye los problemas de borde.

Cabe comentar que la estimación obtenida es parte de un conjunto infinito de posibilidades y que su nivel de acierto queda

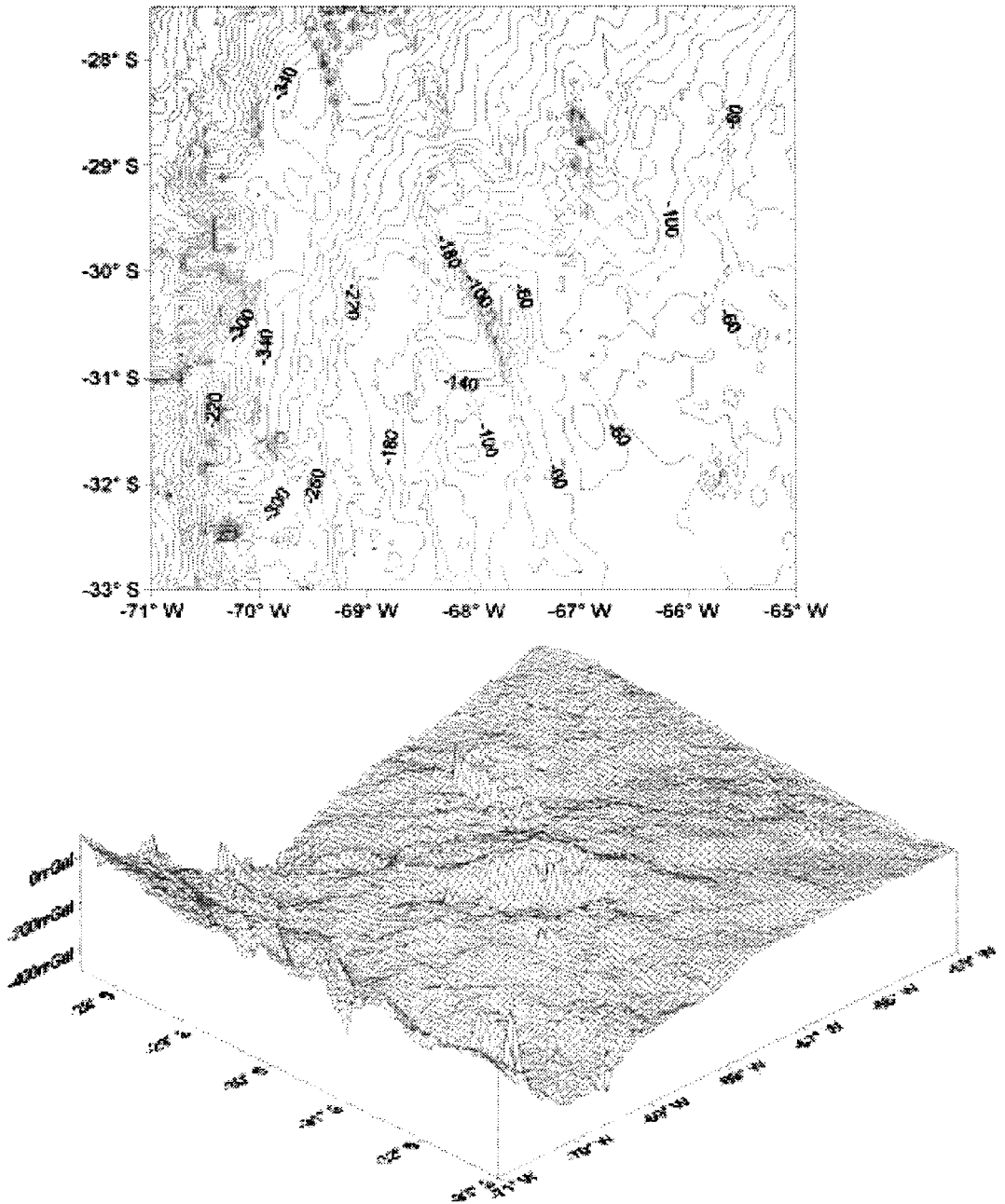


Figura 12. Estimación de toda la base de datos. Arriba, isóneas de AB cada 20 mGal. Abajo, vista 3D de la estimación que produce el método de Krige.

supeditado tanto a la distribución espacial de las muestras (levantamiento de los datos), como al conocimiento y experiencia de quienes deciden la aplicación.

**Agradecimientos:** Los autores agradecemos a CONICET por haber subsidiado el presente trabajo a través del PIP N° 6044. Al FONCYT por su aporte con el proyecto PICT REDES 2003 N° 283, como asimismo al CICITCA por el proyecto N°21/E 624.

**REFERENCIAS**

- Briggs, I.C. 1974. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics* 39, 39-48.
- Gimenez, M., M.P. Martinez, and A. Introcaso. 2000. A Crustal Model based mainly on Gravity data in the Area between the Bermejo Basin and the Sierras de Valle Fértil-Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*. 13 (3): 275-286.
- Green C.M. and J.D Fairhead. 1991. The South American Gravity Project, in: *Recent Geodetic and Gravimetric Reserch in Latin America*, W. Torge; A.G. Fletcher and J.G. Tanner, eds, Springer, Vienna.82-95.
- Guspi, F., A. Lion, A. Nocioni y H. Fraga. 1987. Mapas gravimétricos de Córdoba. Instituto de Física de Rosario, pp. 7.
- Guspi, F. 1990. Versión de partida para una carta gravimétrica de la República Argentina. 16<sup>a</sup> Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodesias, Bahía Blanca.
- Guspi, F., A. Introcaso y M.C. Pacino. 1995. Carta Gravimétrica Argentina 1995: Su Construcción. Actas 1<sup>o</sup> Congreso Argentino de Geociencias y Geotécnicas. 9<sup>o</sup> Congreso Nacional de Cartografía, Buenos Aires: 88 -93.
- Introcaso, A. y E. Huerta. 1972. Perfil gravimétrico trascontinental sudamericano (32°S). *Rev. I.P.G.H.*, 21(22): 133 159.
- Introcaso, A. y A. Lion. 1988. Modelos gravimétricos preliminares sobre las Sierras Pampeanas de Pie de Palo, de La Huerta y Chepes. V Congreso Geol. Chileno. Tomo II, F11 F24.
- Introcaso, A., 1990. Cartas gravimétricas de la república Argentina. Estado actual y futuro del proyecto. 16<sup>a</sup> Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodesias, Bahía Blanca.
- Introcaso, A., F. Guspi, A. Robles, P. Martinez y S. Miranda. 1992. Carta gravimétrica de Precordillera y Sierras Pampeanas entre 30° y 32° de Latitud Sur. 17<sup>a</sup> Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodesias, Buenos Aires.
- Introcaso, A., M.C. Pacino, y F. Guspi. 1995. Relaciones anomalías de gravedad-elevaciones en Sudamérica por debajo de los 22° de Latitud Sur. Sus posibilidades predictivas. Actas 1<sup>o</sup> Congreso Argentino de Geociencias y Geotécnicas. 9<sup>o</sup> Congreso Nacional de Cartografía. Buenos Aires: 94-101.
- Krige, D.G., 1951. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. *Journal South African Institute. Minning Metttal*, n. 52, p. 119-139.
- Martinez, M.P., M.E. Gimenez, A. Introcaso, F. Ruiz, M. Hünicken y B. Introcaso. 2000. Carta Gravimétrica de la Provincia de La Rioja (1999). Anomalías Simples de Bouguer. Publicación del Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. Séptimo Volponi. UNSJ. FCFEN.
- Martinez, M.P., M.E. Gimenez y A. Introcaso. 2001. Carta Gravimétrica de la Sierra de Velasco (2000). Publicación del Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. Séptimo Volponi. UNSJ. FCFEN.
- Matheron G. 1962. *Traite de geostatistique apliquee*, Tome I. Momoires du Bureau De Richerches Geologiques Et Minieres, 14, Editions Technip, Paris.
- Matheron, G. 1963.a. *Traite de geosestatistique apliquee*. Tome II. Le krigeage. memoires du bureau de richerches geologiques et minieres, 24, Editions Bureau de Recherches Geologiques Et Minieres, Paris.
- Matheron, G. 1963.b. Principles of Geosestatistics. *Economic Geology*, 58, 1246-1266.
- Miranda, S. y A. Introcaso. 1999. Cartas Gravimétricas de la Provincia de Córdoba. Interpretación de la estructura profunda de la Sierra de Córdoba. República Argentina. Colección de Temas de Geociencias N°1. Instituto de Física de Rosario. pp 48.
- Ramos, V.A., E.O. Cristallini and D.J. Pérez. 2002. The Pampean Flat-Slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. 15: 59-78.
- Ribeiro Júnior, P.J. 1995. Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- Robles, J.A., A. Introcaso, S. Miranda, M. Gimenez, M.P. Martinez, F. Ruiz, F. Guspi, J. Sisterna y D. Richarte. 1995. Carta de Anomalías de Bouguer de la Provincia de San Juan, 1994. Publicación Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi.



## INFLUENCIA DE LA EXCITACION HIDROLOGICA EN LA VARIACION ANUAL AL MOVIMIENTO DEL POLO

*Laura I. Fernández y Claudia A. Brunini*

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Univ. Nac. de La Plata. (FCAGLP-UNLP).

Paseo del Bosque s/n, B1900FWA, La Plata, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

[lauraf@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:lauraf@fcaglp.unlp.edu.ar), [claudio@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:claudio@fcaglp.unlp.edu.ar)

### RESUMEN

Es sabido que los cambios de la redistribución de masas en la Tierra provocan variaciones en el tensor de inercia terrestre, causano al mismo tiempo fluctuaciones en su campo gravitatorio. Además, la dinámica de los procesos geofísicos internos que redistribuyen masa globalmente es también responsable del cambio en la orientación de nuestro planeta en el espacio. Un gran número de procesos geofísicos a escala global causan variaciones a la rotación de la Tierra evidenciadas a través de los cambios en los parámetros de la rotación terrestre (Earth Rotation Parameters, ERP). Según el mecanismo de excitación involucrado, estos procesos suelen distinguirse como efectos (o términos) de movimiento (vientos y corrientes oceánicas) y efectos de masa (diferencias en los valores de presión sobre el lecho de los océanos o cambios en la presión atmosférica). Este trabajo se enfoca en la redistribución global de aguas subterráneas y en sus consecuencias como efecto excitatriz de las variaciones observadas del movimiento del polo.

Los resultados de esta investigación se dividen en tres partes: Primero se evaluaron las funciones de excitación hidrológicas al movimiento del polo usyo el modelo LaD. A continuación, se comparó la respuesta anual de este modelo con respecto a varias contribuciones anteriores. Luego, se analizó y comparó la efectividad de tres modelos hidrológicos (NCEP, LDAS, LaD) en el cierre del balance al movimiento del polo para el periodo anual y para ambas componentes, prógrada y retrógrada, respectivamente. Para ello se consideraron la contribuciones atmosférica y oceánica teniendo en cuenta los modelos y series de datos recomendados por el Global Geophysical Fluids Center (GGFC) dependiente del International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS).

**Palabras clave:** parámetros de la rotación terrestre-variaciones a la rotación terrestre-excitación hidrológica.

### ABSTRACT

It is known that the Earth mass redistribution changes provoke variations in the terrestrial inertia tensor, causing thus fluctuations in its gravitational field. In addition, the dynamics of the geophysical internal processes that redistribute mass globally is also responsible for the change in the orientation of our planet in the space. A great number of geophysical global processes cause variations to the rotation of the Earth showed as changes in the Earth Rotation Parameters (ERP). According to the mechanism of excitation involved, these processes are known as motion terms (winds y oceanic currents) y mass terms (differences in pressure values at the ocean bottom or atmospheric pressure changes). In this work we focus in the global continental water redistribution y in its consequences as excitation of observed polar motion. The results of this investigation were divided in three parts: First, we evaluated the hydrological excitation functions of polar motion by using the Ly Dynamic Model (LaD). Second, we compared the annual response of this model with respect to several previous contributions. Then, we analyzed y compared the efficiency of three hydrological models (NCEP, LDAS, LaD) in closing the polar motion budget for the annual period y for both components: prograde y retrograde, respectively.

It was taken into account the annual atmospheric and oceanic contributions but considering the models and data series recommended by the Global Geophysical Fluids Center (GGFC) dependent on the International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS).

**Keywords:** Earth rotation parameters (ERP)-Earth rotation variations-hydrological excitation.

## INTRODUCCION

La rotación de la Tierra sólida no es estable sino por el contrario, exhibe cambios tanto en la velocidad angular, o lo que es lo mismo: cambios en la longitud del día, así como en la orientación del eje de rotación dentro de la Tierra sólida, dando origen al efecto conocido como movimiento del polo. Estos cambios afectan la rotación del planeta en una amplia escala de frecuencias y están generados principalmente por redistribuciones globales de masas y corrientes; tanto atmosféricas como oceánicas inducidas por mareas (Eubanks, 1993).

Quizás, la interpretación de las variaciones rotacionales sea la más interdisciplinaria de las Ciencias de la Tierra. Como ya hemos visto, su estudio se vincula con la dinámica del sistema Tierra-Luna; pero también con procesos dinámicos en el núcleo líquido, la corteza, el manto, la atmósfera, la hidrosfera y los océanos.

El objetivo del presente trabajo consiste en el testeo de la influencia de la excitación hidrológica según el modelo Land Dynamic Model (LaD) (Milly y Shmakin, 2002) sobre las variaciones temporales del movimiento del polo. En particular los cambios en las componentes ecuatoriales de la excitación hidrológica anual según el modelo LaD durante el periodo enero 1980 a mayo 2004.

## DINAMICA DE LA ROTACION TERRESTRE: FUNCION DE EXCITACION HIDROLOGICA

Los estudios de las fluctuaciones en la rotación terrestre se basan en la aplicación matemática de las ecuaciones dinámicas de Euler a la respuesta de la Tierra como un sólido

ligeramente deformable frente a una gran variedad de procesos internos y superficiales. Planteando la conservación del momento angular total con respecto a un sistema inercial de referencia materializado por las estrellas lejanas y considerando que el observador en la superficie terrestre se halla en un sistema rotante, se obtienen las ecuaciones linealizadas de Euler-Liouville (Munk y McDonald, 1960; Lambeck, 1980).

Luego separamos las contribuciones debidas a los diferentes procesos geofísicos que modifican la rotación terrestre, en términos de movimiento, que afectan los momentos angulares relativos y términos de masa, que modifican el tensor de inercia terrestre. En particular, dado que sólo estamos interesados en las funciones de excitación por términos de masa al movimiento del polo, las componentes no axiales de las funciones de excitación ( $\Psi = \Psi_x + i\Psi_y$ ) en función de los coeficientes de Stokes de segundo orden ( $C_{21}(t)$ ,  $S_{21}(t)$ ) del campo gravítico terrestre en notación compleja serán como se indica en la ecuación (1) (Wahr *et al.*, 1998), donde el vector momento angular relativo  $\vec{h}(t)$  se asume nulo,  $\Omega_0 = 7.292115 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  es la velocidad angular media de rotación terrestre, C y A son los momentos principales de inercia de la Tierra, M y R refieren a masa y radio medio de la Tierra respectivamente.

La solución de esta ecuación a través de su expresión en función de las componentes variables del tensor de inercia para cualquier término de masa ha sido revistada extensivamente por Fernández *et al.* (2005, 2006). En particular, calculamos las fluctuaciones en las capas de hielo y el almacenamiento de aguas continentales tal como lo describe el modelo LaD World (LaD) versión Danubio (Milly y Shmakin, 2002).

Los datos de distribución de densidad de aguas subterráneas han sido generados en una grilla global de 1° x 1° por el Continental Water, Climate, and Earth-System Dynamics Project (P.C. Milly, comunicación personal; 2004). Los datos están disponibles en intervalos mensuales para el período enero de 1980 a mayo de 2004. Los valores numéricos se refieren al primer día de cada mes. Los datos representan la masa del agua por cada celda de grilla dada en unidades de [Kg/m<sup>2</sup>]. Las celdas congeladas se asumen como permanentes y se consideran los efectos de fusión global de hielo y sublimación.

El almacenamiento de agua dentro de una celda no helada (*W*) esta compuesto por: nieve (*w<sub>s</sub>*), agua líquida almacenada en la zona raíz (*w<sub>r</sub>*), y aguas subterráneas almacenadas (*w<sub>g</sub>*). Las celdas heladas consisten en un paquete compacto de nieve y el almacenamiento de hielo glaciar (*w<sub>l</sub>*). Así, en general vale la ecuación (2), donde por lo menos una de estas contribuciones puede ser siempre nula.

Según Wahr *et al.* (1998), las series temporales de variaciones a los coeficientes de Stokes ( $\Delta C_{21}$  y  $\Delta S_{21}$ ) debidas a las redistribuciones en el almacenamiento de aguas continentales en función de la co-latitud ( $\phi'$ ) serán como se indica en la ecuación (3), donde  $\phi' = 90^\circ - \phi$ , siendo  $\phi$  la latitud,  $\lambda$  es la longitud,  $k_2' = -0.301$  es el número de Love de cargas de grado 2 y  $\Delta W(\phi', \lambda)$  representa las variaciones en el almacenamiento de aguas continentales en unidades de [Kg/m<sup>2</sup>].

Esta integral fue evaluada numéricamente. En cada cómputo consideramos un bloque de la grilla de 4°x4° y realizamos una interpolación bidimensional tanto en latitud como en longitud, cuyo polinomio es de grado 3.

Es importante aclarar que las integrales fueron resueltas para toda la grilla (latitudes desde 90° S hasta 90° N), aún cuyo los efectos de las cargas por hielo en las zonas de Groenlandia y la Antártida no han sido correctamente resueltas por el modelo LaD (P.C. Milly, comunicación personal; 2005). Una vez obtenidas las series temporales de los parámetros de Stokes, las reemplazamos en la ecuación (1) obteniéndose así las series temporales para las componentes ecuatoriales de las funciones de excitación hidrológica.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

Analizaremos los efectos en las variaciones anuales al movimiento del polo a partir de varios modelos hidrológicos y los compararemos con las contribuciones calculadas para el modelo LaD.

Las excitaciones estacionales al movimiento del polo pueden caracterizarse como un juego de 12 funciones sinusoidales con frecuencias de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 ciclos por año (cycles per year, cpy). De todas ellas, solo consideraremos la excitación anual como una senoide pura, esto es, una línea discreta en el espectro de las frecuencias.

$$(\Psi_x(t) + i\Psi_y(t))^{masa} = \frac{1.61}{(C-A)} \sqrt{\frac{5}{3}} MR^2 (C_{21}(t) + iS_{21}(t)) \quad (1)$$

$$W = w_s + w_r + w_g + w_l \quad (2)$$

$$\left. \begin{matrix} \Delta C_{21} \\ \Delta S_{21} \end{matrix} \right\} = \sqrt{\frac{3}{5}} \frac{R^2 (1+k_2')}{M} \int_0^{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \Delta W(\phi', \lambda) \cos \phi' \sin^2 \phi' \begin{Bmatrix} \cos \lambda \\ \sin \lambda \end{Bmatrix} d\phi' d\lambda \quad (3)$$

$$\Psi = \Psi^+ e^{i(\nu t + \lambda^+)} + \Psi^- e^{-i(\nu t + \lambda^-)} \quad (4)$$

Gráficamente, la excitación anual es como una elipse que el polo instantáneo de rotación describe en torno al polo norte convencional. Lo anterior admite ser escrito matemáticamente como la suma de dos componentes circulares: prógrada ( $\psi^+$ , oeste a este) y retrógrada ( $\psi^-$ ) cómo se ve en la ecuación (4), donde  $\nu$  es la frecuencia de 1 cpy para la componente anual,  $t$  es el tiempo y  $\lambda$  refiere al corrimiento de fases.

Estimamos la contribución hidrológica anual al movimiento del polo según el modelo LaD efectuando un ajuste de cuadrados mínimos. La Tabla 1 nos muestra los resultados obtenidos con respecto a las componentes anuales de las funciones de excitación hidrológica al movimiento del polo, según otros modelos previamente publicados.

En particular, tomamos para la comparación los modelos de Chao y O'Connor (1988) [CHOC], Hinnov y Wilson (1987) [HW], Kuehne y Wilson (1991) [KW] y Jochmann (1999) [J]. Entre los modelos mas recientes, destacamos los valores del Nacional Center for Environmental Prediction (NCEP) y los resultados del modelo Land Data Assimilation System (LDAS) descriptas en Chen y Wilson (2005).

Chao y O'Connor (1988) modelaron el ciclo anual en el almacenamiento de aguas

continentales usando un juego de datos globales de lluvia y nieve y restringiendo el modelo por evapotranspiración. Luego reemplazaron los datos medidos de nieve por datos deducidos a partir del LAsER GEODynamics Satellite (LAGEOS).

Kuehne y Wilson (1991) compararon datos de movimiento del polo para el periodo 1900 a 1985 usando valores meteorológicos e hidrológicos globales. Su objetivo era determinar que proporción del movimiento del polo observado podía explicarse con la combinación de los términos de movimiento por causas atmosféricas (redistribución global de vientos) y la variación temporal en el almacenamiento de aguas continentales. Aunque los resultados obtenidos son bastante diferentes a los del trabajo previo de Hinnov y Wilson (1987), los autores concluyeron que estas dos fuentes de excitación eran insuficientes o bien, estaban incorrectamente estimados como para explicar las variaciones observadas al movimiento del polo.

Jochmann (1999) asume que la excitación anual del movimiento del polo corregida por su respectiva excitación atmosférica, representa las variaciones a las aguas almacenadas. Cabe aclarar que por aguas almacenadas el autor interpretó al balance entre precipitación y evapotranspiración mas desbordes.

Los datos de excitación hidrológica del NCEP provienen de re-análisis de valores de agua almacenada y nieve. La cantidad de agua acumulada en fracción volumétrica se calcula como la suma de agua mas nieve según un modelo de dos capas que abarca desde la superficie hasta los 2 metros de profundidad (Kalnay *et al.*, 1996). Las estimaciones mensuales sobre una grilla global se realizan sin observaciones in situ, por lo cual se prevén sistematismos en determinadas regiones (por ejemplo, la Antártida adonde se asume el espesor de nieve como una constante. Chen *et al.*, 2000).

**Tabla 1.** Excitación anual al movimiento del polo debido al almacenamiento de aguas continentales. Las unidades para las amplitudes son milésimos de segundo de arco [mas] y grados para las fases. La fecha de referencia para las fases es 1° de Enero a 0hs. de TU en el inicio de cada serie temporal.

		Prógrado	Retrógrado
Chao et al.; snow	CH	(4.9, -109°)	(4.8, -28°)
Chao & O'Connor	CHOC	(1.9, -74°)	(3.3, 29°)
Hinnov & Wilson	HW	(7.27, 55°)	(6.33, 85°)
Kuehne & Wilson	KW	(1.79, -22°)	(6.84, 175°)
Jochmann	J	(11.2, -1°)	(12.4, 156°)
NCEP/NCAR*	NCEP	(12.6, -115°)	(8.72, -30°)
LDAS*	LDAS	(5.11, -9°)	(7.39, 166°)
LaD	LaD	(2.98, -8°)	(7.46, -45°)

\* valores de Chen y Wilson (2005)



El LDAS es un modelo global de promedios mensuales que brinda datos de agua almacenada sobre una grilla de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  y fue desarrollado por el National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climate Prediction Center (CPC). Este modelo está restringido por datos de precipitación, vientos, humedad, presión atmosférica y de radiación solar. Los valores de salida son temperatura y humedad del suelo en 4 capas desde la superficie e incluyen las cargas por acumulación de nieve (Chen y Wilson, 2005).

Todos los autores descriptos en la Tabla 1, consideran la nieve acumulada en cada celda de la grilla junto con el contenido de agua líquida, con excepción de Chao *et al.*, (1987) [CH]. Este último trabajo sólo estudia el efecto de la acumulación de nieve en la variación del potencial terrestre y en el movimiento del polo.

La Figura 1 nos muestra el diagrama vectorial de las componentes anuales prógrada y retrógrada, deducidas a partir de los diferentes modelos descriptos en párrafos anteriores y resumidos en la Tabla 1. Nótese que las amplitudes son muy diferentes dependiendo del modelo para la componente prógrada, aunque los valores de fase se ubican mayormente en el cuarto cuadrante. Enfocándonos en las estima-

ciones más recientes, LaD aparece muy próxima a la estimación LDAS tanto en amplitud como en fase. Mientras que NCEP probablemente sobreestime la componente prógrada anual. En contraste, las estimaciones interanuales NCEP se caracterizan por amplitudes muy pequeñas en comparación con las observaciones (Chen y Wilson, 2005; Fernández *et al.*, 2006).

En el caso de la componente anual retrógrada el panorama es completamente heterogéneo. Claramente puede observarse una gran dispersión para las distintas estimaciones de las fases aunque el valor de las amplitudes es similar para varias de ellas. En particular LaD está próxima en amplitud y fase a la estimación NCEP.

Finalmente, nos enfocaremos en los tres modelos más recientes (LaD, NCEP y LDAS) para analizar la influencia hidrológica en el “cierre” del movimiento del polo usando diagramas fasoriales. Con este fin consideramos diferentes series temporales de datos para el periodo enero 1980 a mayo 2004.

En primer lugar se consideraron las series temporales del movimiento del polo a partir de los datos ERP IERS C04. Esta es una serie combinada multi-técnica a valores diarios provista por el EOP-PC (Earth Orientation Para-

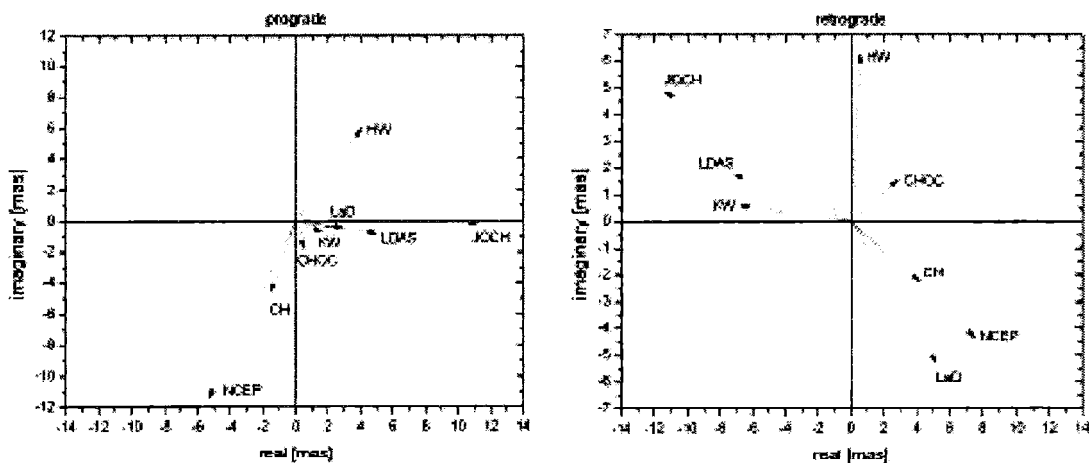


Figura 1. Diagramas fasoriales para la comparación de las componentes anuales, a la excitación hidrológica al movimiento del polo según diferentes modelos en la Tabla 1.

meters - Product Center) con sede en el Observatorio de Paris, dependiente del IERS (<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>). No se aplicó ningún tipo de filtrado sobre los datos, sin embargo se ajustó una regresión lineal con el objetivo de eliminar variaciones seculares o de muy largo periodo. Luego tomamos las dos series temporales de momento angular atmosférico (AAM, atmospheric angular momentum) y oceánico (OAM, oceanic angular momentum). Estos datos son provistos por el Global Geophysical Fluids Center (GGFC) coordinado por varias instituciones científicas internacionales y dependiente del IERS (<http://www.ecgs.lu/ggfc/>).

La serie AAM consiste en la integración de datos grillados de vientos y presión atmosférica superficial discriminados según contribuciones para el hemisferio norte y sur respectivamente (Salstein *et al.*, 1993). Los datos se proveen cada 6 horas y la extensión de las series temporales abarca enero de 1980 hasta mayo 2004. En el caso del OAM, la serie temporal elegida para este estudio fue calculada desde una integración no restringida al modelo de circulación oceánica global ECCO (Estimating the Circulation and the Climate of the Ocean) (Gross *et al.*, 2003).

Los datos son provistos diariamente y la extensión temporal es consistente con las demás series temporales (AAM, movimiento del polo, hidrológicas).

Una vez obtenidas todas las series de datos necesarias para nuestro cálculo, procedimos al ajuste por cuadrados mínimos de una función similar a la descrita en la ecuación 3. En los ajustes realizados no sólo se tuvo en cuenta la contribución anual, sino que también se ajustaron los términos semi-anales (2 cpy) y ter-anales (3 cpy) en sus componentes prógradas y retrógradas, respectivamente. Para el caso de los datos geodésicos (movimiento del polo) también fue necesario ajustar la oscilación de Chandler. Para ello se consideró un periodo de 433 días y un factor Q de 175.

Finalmente se propagaron los errores de los respectivos ajustes. Los resultados se presentan en la Tabla 2 sólo para los términos anuales.

La Figura 2a nos muestra los diagramas fasoriales para las componentes prógrada (izquierda) y retrógrada (derecha) de las funciones de excitación anuales al movimiento del polo (geod), atmósfera (atm), océanos (ocn) y nuestra estimación hidrológica en base al modelo LaD (hyd). La Figura 2b presenta los

**Tabla 2.** Balance de la excitación anual al movimiento del polo debido a redistribuciones globales de masa. Las unidades para las amplitudes son milésimos de segundo de arco [mas] y grados para las fases. La fecha de referencia para las fases es 1° de Enero de 1990 0hs. TUC.

	Prógrado (mas; grados)	Retrógrado (mas; grados)
<b>Series Geodésicas (IERS04)<sup>†</sup></b>	(22.12 ± 4.90; -76.49° ± 3.80°)	(6.19 ± 0.13; -142.92° ± 1.10°)
Presión Atmosférica	(15.31 ± 0.29; -103.66° ± 2.11°)	(14.86 ± 0.53; 104.12° ± 2.18°)
Vientos Atmosféricos	(3.24 ± 0.10; -47.39° ± 6.00°)	(1.82 ± 0.25; 39.22° ± 10.60°)
<b>Atmósfera total (AAM)</b>	(20.10 ± 2.93; -90.28° ± 2.41°)	(16.6 ± 2.47; 98.83° ± 2.92°)
Presión lecho oceánico	(3.45 ± 0.11; 63.18° ± 1.87°)	(3.42 ± 0.11; 110.24° ± 1.89°)
Corrientes oceánicas	(2.31 ± 0.09; 39.72° ± 2.13°)	(2.11 ± 0.09; 50.70° ± 2.33°)
<b>Océano total (OAM)<sup>‡</sup></b>	(5.64 ± 0.16; 53.81° ± 1.61°)	(4.84 ± 0.16; 88.22° ± 1.87°)
<b>Agua Continental almacenada LaD</b>	(2.98 ± 1.40; -8.21° ± 2.62°)	(7.46 ± 1.40; -45.47° ± 1.04°)
<b>Agua Continental almacenada NCEP<sup>‡</sup></b>	(12.60; -115.00°)	(8.72; -30.00°)
<b>Agua Continental almacenada LDAS<sup>‡</sup></b>	(5.11; -9.00°)	(7.39; 116.00°)

† Componente Chyler calculada (29.24 ± 4.49; -150.15° ± 2.04°)  
‡ valores de Gross et al., (2003)  
? Valores de Chen y Wilson, (2005)

respectivos diagramas fasoriales para las resultantes de las sumas vectoriales de las funciones de excitación atmosférica y oceánica (AO) mas los diferentes modelos hidrológicos a testear (LaD, NCEP y LDAS). Con el objeto de realizar las comparaciones, en el mismo grafico se presenta la excitación geodésica observada para cada caso. Como antes, se graficaron las componentes anuales prógradas a la izquierda y las retrógradas a la derecha. Los ajustes se realizan sólo para los términos de masa. Las unidades empleadas son las milésimas de segundo de arco. La fecha de referencia para las fases es 1° de Enero de 1990 a 0 horas de Tiempo Universal Coordinado (TUC).

De la Figura 2 puede verse que la contribución prógrada anual según el modelo LaD es muy próxima en fases a la respectiva estimación LDAS. Además, los vectores resultantes de la suma entre la excitación atmosférica, oceánica e hidrológica estimada por el modelo LaD aproximan mejor en magnitud a las variaciones observadas del movimiento del polo (geod) para ambas componentes.

## CONCLUSIONES

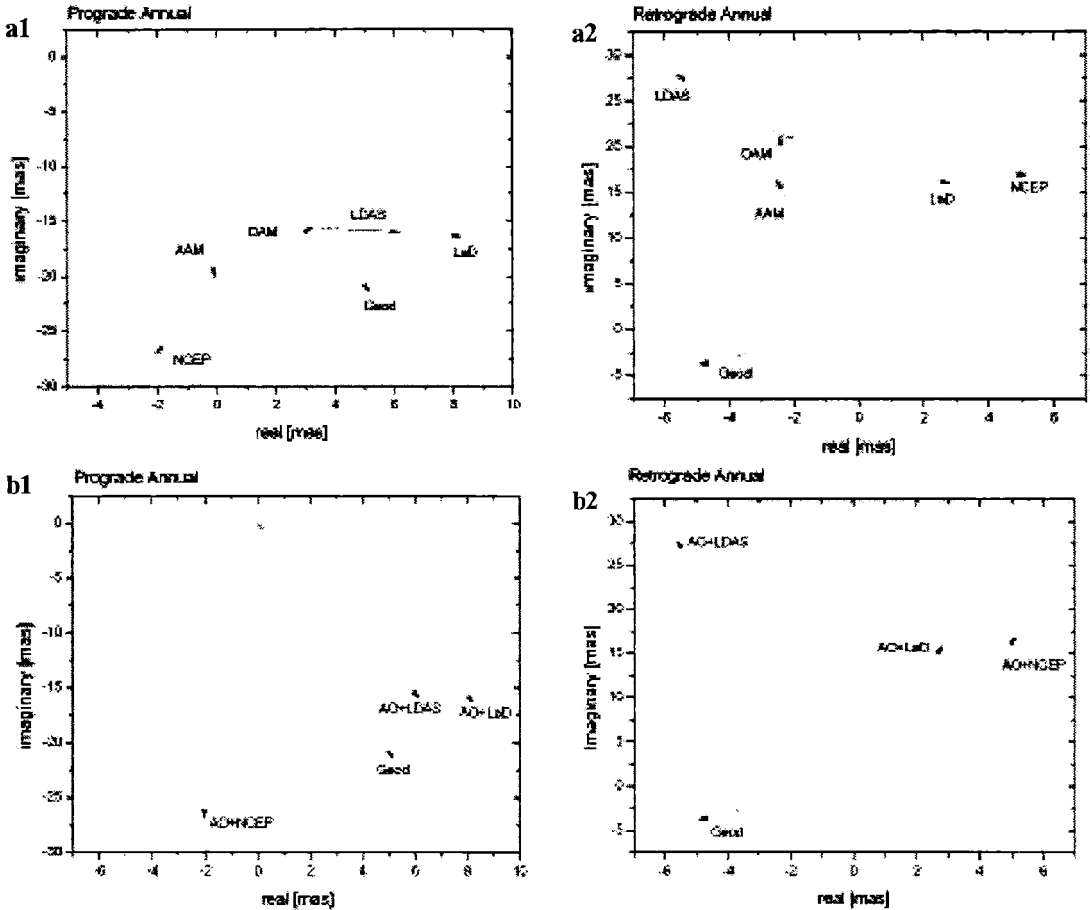
Desde el presente trabajo podemos arribar puntualmente a las siguientes conclusiones: Cuando comparamos LaD con otros modelos hidrológicos previos y sólo para las componentes anuales, LaD parece sobreestimar las componentes retrógradas. Si en cambio, evaluamos la bondad del modelo LaD en el cierre del balance al movimiento del polo para las componentes anuales y comparando su performance respecto de los modelos NCEP y LDAS, LaD resulta próximo a los valores de fase LDAS para la componente prógrada. Además, la contribución LaD aproxima mejor a las observaciones de movimiento del polo en magnitud aunque en general, las diferencias de fase entre las observaciones y la resultante

de la suma total de las funciones de excitación siguen siendo importantes.

**Agradecimientos:** Agradecemos al USGS Continental Water, Climate, and Earth-System Dynamics project por los datos del modelo LaDWorld-Danube. L. Fernández agradece al Advisory Board of the Descartes Prize “Pinpoint positioning in a wobbly world” por la beca post-doctoral que le permitió investigar estos temas en el Institute of Geodesy and Geophysics (IGG) de la Universidad Tecnológica de Viena. (TU Wien).

## REFERENCIAS

- Chao B.F., W.P. O’Connor, A.T.C. Chang, D.K.Hall and J.L.Foster. 1987. Snow load effect on the Earth’s rotation and gravitational field, 1979-1985. *J. Geophys. Res.* 92 B9, 9415-9422.
- Chao B.F. and W.P. O’Connor. 1988. Global surface-water-induced seasonal variations in the Earth’s rotation and gravitational field. *Geophysical Journal* 94, 263-270.
- Chen, M.K., C.R. Wilson, B.F. Chao, C.K. Shum and Tapley B.D. 2000. Hydrological and oceanic excitations to polar motions and length-of-day variation. *Geophys. J. Int.* 141, 149-156.
- Chen, M.K. and C.R. Wilson. 2005. Hydrological excitations of polar motion, 1993-2002. *Geophys. J. Int.* 160, 833-839.
- Eubanks, T.M. 1993. Variations in the orientation of the Earth Contributions of Space Geodesy to Geodynamics. In: Smith, D., Turcotte, D. (Eds), Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Earth Dynamics. Geodynamics Series A.G.U. (24), 1-54.
- The Earth Orientation Center at Paris Observatory, (<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>).
- Fernández L., H. Schuh y C. Brunini. 2005. Obtención de series temporales de los parámetros de Stokes a partir de modelos geofísicos globales y su relación con las variaciones en los ERP. *Geoacta*, 30, 93-102.
- Fernández L.I., H. Schuh, M. Schmidt and Seitz F. 2006. Effects of inter-annual water storage variations on polar motion. Aceptado en *Geophysical Journal Internacional* (en prensa).



**Figura 2. a)** Diagramas fasoriales para las componentes prógrada (izquierda) y retrógrada (derecha) de las funciones de excitación anuales al movimiento del polo (geod), atmósfera (atm), océanos (ocn) y nuestra estimación hidrológica en base al modelo LaD (hyd). **b)** Diagramas fasoriales para las componentes anuales prógrada (izquierda) y retrógrada (derecha), respectivamente. Aquí se presentan las sumas vectoriales de las funciones de excitación atmosférica y oceánica (AO) + los diferentes modelos hidrológicos en comparación con la excitación geodésica observada. Los ajustes se realizan solo para los términos de masa. Las unidades son milésimas de segundo de arco. La fecha de referencia para las fases es 1° de Enero de 1990 a 0 horas de Tiempo Universal Coordinado (TUC).

The Global Geophysical Fluids Center, GGFC (<http://www.ecgs.lu/ggfc/>).

Gross R.S., I. Fukumori and D. Menemenlis D. 2003. Atmospheric and Oceanic Excitation of the Earth's Wobbles During 1980-2000. *J. Geophys. Res.*, 108 (B8), doi: 10.1029/2002JB002143, 20031992.

Hinnov, L. y Wilson C.R. 1987 An estimate of the water storage contribution to the excitation polar motion. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 88, 437-459.

Jochmann, H. 1999. The influence of continental water storage on the annual wobble of polar motion estimated by inverse solution. *Journal of Geodyn.* 27, 147-160.

Kuehne J. and C.R. Wilson. 1991 Terrestrial Water Storage y Polar Motion. *J. Geophys. Res.*, 96, B3, 4337-4345.

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C.

*Influencia de la excitación hidrológica en la variación anual al movimiento del polo.*

- Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- Lambeck K. 1980 *The Earth's variable rotation: geophysical causes and consequences*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Milly P.C.D. and A.B. Shmakin. 2002. Global Modeling of Land Water and Energy Balances. Part I: The Land Dynamics (LaD) Model. *Journal of Hydrometeorology*. Vol. 3, 283-299.
- Munk, W.H. and G.J.F. MacDonald. 1960. *The rotation of the Earth: a geophysical discussion*. Cambridge University Press. England.
- Salstein D.A., D.M. Kann, J.A. Miller and R.D. Rosen. 1993. The Sub-Bureau for Atmospheric Angular Momentum of the International Earth Rotation Service: A meteorological data center with geodetic applications. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 74, 67-80.
- Wahr, J.M., M. Molenaar and F. Bryan. 1998. Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. *Journal of Geophys. Res.* V 103 (B12), 30205-30229



## DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE CAMPO PARA LA ADQUISICION 3D DE DATOS SISMICOS

*Patricia M. Gauzellino<sup>1</sup>, Ángel F. Queizán<sup>2</sup>, Jose Herskovits<sup>3</sup> y Federico G. E. Späth<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Depto. de Geofísica Aplicada, Fac. de Cs. Astro. y Geofísicas, UNLP. gauze@fcaglp.unlp.edu.ar

<sup>2</sup>Fac. de Ingeniería, UNLP y UTN Reg. La Plata. aqueizan@frlp.utn.edu.ar

<sup>3</sup>Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil. jose@optimize.ufrj.br

<sup>4</sup>Fac. de Cs. Astro. y Geofísicas, UNLP. fedes@carina.fcaglp.unlp.edu.ar

### RESUMEN

Las etapas de adquisición, procesamiento e interpretación de los datos sísmicos en la exploración de hidrocarburos están estrechamente relacionadas. Los errores cometidos en la determinación de los parámetros de campo para la registración de los datos, difícilmente puedan ser subsanados por el procesamiento y por lo tanto, terminan condicionando a la interpretación. Dado que la mejor elección de los parámetros del tendido sísmico es la que logra el propósito de la exploración geofísica minimizando costos y tiempo en la captura y procesamiento de los datos, el presente trabajo aborda esta problemática como un proceso de optimización. La idea es hallar el mínimo de una función objetivo que representa los costos de un relevamiento terrestre 3D para un tendido ortogonal, sujeta a restricciones operacionales (movimientos de fuentes y receptores) y requerimientos geofísicos (suma o fold, offset y azimutes). Los resultados se obtienen mediante la aplicación del algoritmo: FAIPA (Feasible Arc Interior Point Algorithm), pudiendo comparar esta técnica con otros procedimientos similares ya publicados.

**Palabras clave:** sísmica-adquisición-parámetros de campo-optimización.

### ABSTRACT

3D seismic survey design in hydrocarbon exploration is related to processing and interpretation. In this paper, we invite to recommend survey design parameters, based on an optimization method such as the FAIPA (Feasible Arc Interior Point Algorithm). The seismic data has to achieve the geophysical objective and satisfy geophysical and operational constraints (fold, offset, azimuths, shots and receivers moved/day, etc.) while minimizing the cost and time of acquisition and processing. 3D design examples illustrate the implementation of iterative algorithm and allows compare with another published optimization methods.

**Keywords:** seismic-acquisition-field parameters-optimisation.

### INTRODUCCION

Un relevamiento sísmico de reflexión permite obtener características estructurales y/o estratigráficas del subsuelo. Las ondas sísmicas se generan a partir de una fuente, viajan por el subsuelo, se reflejan en interfaces con diferentes impedancias acústicas (impe-

dancia = densidad x velocidad del medio) y arriban a los receptores, importando los tiempos de llegada de los distintos eventos reflejados. Se trabaja ordenando la información de los registros sísmicos de manera de agrupar sus trazas en CMP-gathers, que tienen en común el mismo punto medio entre una fuente y un receptor (Common Mid-Point) y que corres-

ponde a la ubicación en superficie del punto común profundo de reflexión (Common Depth Point) para un modelo del subsuelo con reflectores horizontales o casi horizontales. Se espera que la suma de todas las trazas que integran el CMP-gather conformen una traza de la sección sísmica ("stack") donde las reflexiones se refuercen y los ruidos se atenúen. Se llama "fold" o "suma" al número de trazas que tienen el mismo CMP. Descripción y desarrollo de estas técnicas sísmicas de prospección pueden encontrarse en Yilmaz (2001) y Anstey (1990).

Puesto que los errores cometidos en la determinación de los parámetros de campo para la registración de los datos difícilmente puedan ser subsanados por el procesamiento y terminan condicionando a la interpretación, el objetivo de este estudio es analizar el diseño de adquisición 3D como un problema de optimización, es decir, minimizar costos y tiempo en la captura y procesamiento de los datos y lograr el blanco geofísico de la prospección cumpliendo restricciones operacionales (movimientos de fuentes y receptores) y requerimientos geofísicos (suma o fold, offset y azimut). La optimización pretende ser una herramienta matemática y de fácil implementación computacional que ayude al geofísico en la recomendación de parámetros de diseño de adquisición y bajo ningún concepto modificará su experiencia como especialista en el tema, ver Hornman y Vermeer (2000).

El artículo se organiza presentando la terminología básica relacionada con tendidos de adquisición 3D, luego se propone la función objetivo que representa el costo total del relevamiento indicando restricciones geofísicas y operacionales. Paso seguido se describe el algoritmo de optimización para finalizar con la aplicación del mismo a algunos ejemplos concretos y comparación con resultados ya publicados.

## CONCEPTOS BASICOS EN RELEVAMIENTO 3D

En el presente trabajo, los parámetros de campo se determinaran para una geometría de adquisición ortogonal, es decir, las líneas de receptores (paralelas entre sí) y formando ángulo recto con las líneas de fuentes (también paralelas entre sí). La Figura 1 muestra los principales elementos de una registración 3D donde "ILF" e "ILR" son las distancias entre líneas de fuentes y líneas de receptores, respectivamente. En estas líneas (siguiendo un camino o abriendo una picada) los receptores y las fuentes se disponen regularmente, siendo "IR" e "IF" estas distancias constantes. ILF junto con IF determinan cuantas fuentes puntuales hay por kilómetro cuadrado que se indica "NF". El "patch" se refiere al rectángulo que contiene al conjunto de receptores (varias líneas paralelas de receptores) que reciben la señal desde una fuente puntual. Varias fuentes pueden tener el mismo patch y éste se va desplazando sobre el área del relevamiento según las ubicaciones de las fuentes. En particular, las estaciones receptoras activas y los puntos de fuente asociados, determinan la "template". En la Figura 2 puede verse en detalle los parámetros involucrados en una celda unidad o "box", que es el área delimitada por dos líneas de receptores adyacentes y dos líneas de fuentes adyacentes. En geometría ortogonal, el "CMP bin" o "bin" es una pequeña área que está en el centro del box recibiendo contribución de muchos pares fuente-receptor. Todas las trazas que pertenecen a un bin tendrán el mismo CMP y serán sumadas contribuyendo al "fold". Generalmente, se especifica un fold promedio, ya que varía de bin a bin y para diferentes distancias fuente-receptor ("offset"). Para determinación de velocidades, cálculo de estáticas residuales, atenuación de múltiples y ruidos, se puede trabajar con un grupo de CMP bins vecinos, llamado "Super



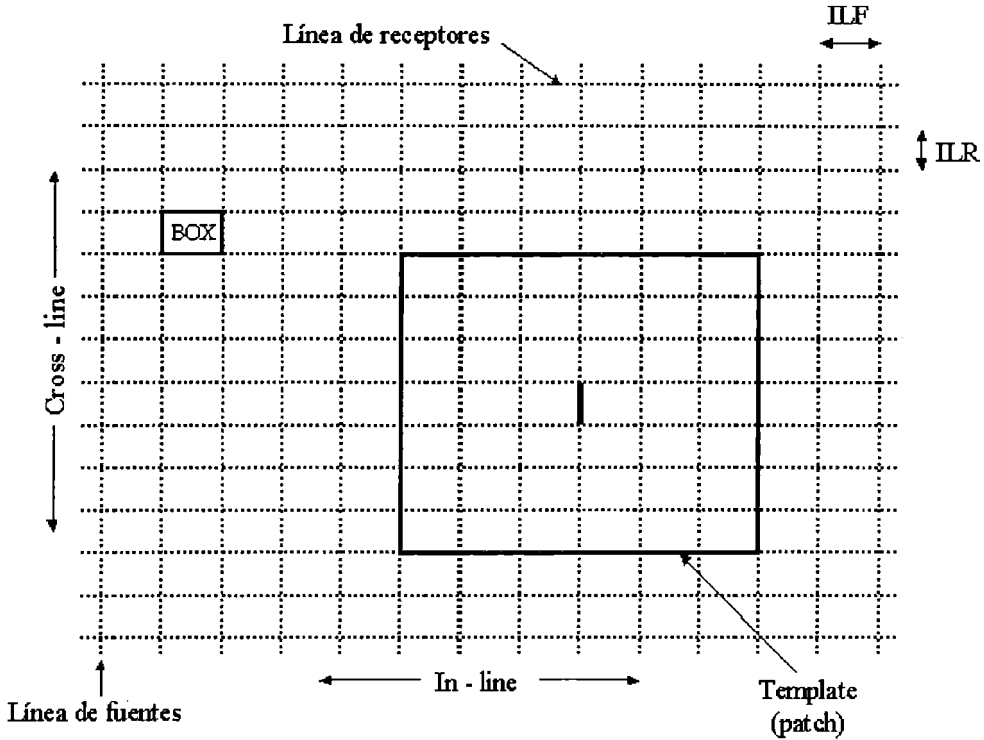


Figura 1. Terminología de un tendido 3D

Bin". La Figura 2, mostrando fuentes, receptores y bins en un box se completa con el offset mínimo mayor, " $X_{min}$ ". Para registrar reflexiones someras es necesario contar con  $X_{min}$  pequeños mientras que para alcanzar

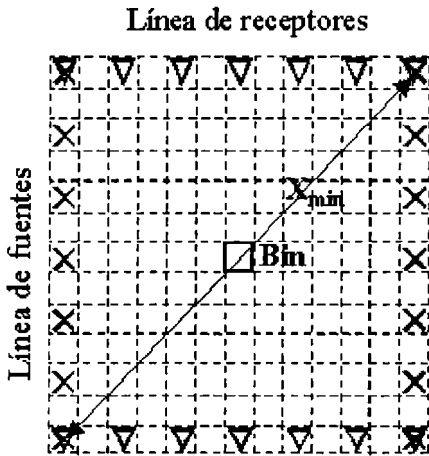


Figura 2. Definición de  $X_{min}$

reflectores profundos se debe determinar " $X_{máx}$ ", que es el offset máximo registrado relacionado con las dimensiones del patch y la forma de activar las fuentes. Los libros de Stone (1994), Cordsen *et al.* (2000) y Vermeer (2002) pueden ser considerados una referencia obligatoria en esta temática.

Para una mejor comprensión del trabajo, en la Tabla 1 se presenta seguidamente la nomenclatura utilizada, donde la primer columna contiene las variables de diseño, la segunda columna los parámetros que intervienen como datos del problema y la tercer columna los costos y la función objetivo.

### PROBLEMA DE OPTIMIZACION

**La función objetivo: costo del relevamiento.**

La función objetivo representa el costo total de la adquisición/km<sup>2</sup>. Siguiendo la formulación

**Tabla 1.** Nomenclatura utilizada en el trabajo.

ILF = distancia (intervalo) entre líneas de fuentes	CRmax = n° máximo de recept. disponibles	C1 = costo administrativo y de permisos
ILR = distancia (intervalo) entre líneas de receptores	Rmax = n° máximo de recept. movidos/día	C2 = costo por fuente
IR = intervalo entre receptores	Fmax = n° máximo de fuentes/día	C3 = costo por estaca receptora
IF = intervalo entre fuentes	F = fold o suma en el CMP gather	C4 = costo de limpieza por ILF
NR = número (n°) de receptores	Bin = tamaño del bin in-line	C5 = costo de limpieza por ILR
NLR = n° de líneas de receptores	Bcross = tamaño del bin cross-line	C6 = costo de perforación
NF = n° de fuentes/ km <sup>2</sup>	Xmin = offset mínimo más grande	C7 = costo de personal/día
NFD = n° de fuentes movidas/día	Xmax = offset máximo	C8 = costo de equipos/día
NRD = n° de recept. movidos/día	Xin = offset máximo in-line	C9 = costo de procesamiento
NFE = n° de fuentes entre ILR	Xcross = offset máximo cross-line	f = costo total/ km <sup>2</sup>
NRE = n° de recept. Entre ILF		
NRL = n° de recept. por línea		
MLR = ½ NLR (tendido simétrico)		

propuesta por Morrice *et al.* (2001), se expresa:

$$f = C_1 + f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$$

donde C<sub>1</sub> representa el costo administrativo y de permisos por km<sup>2</sup> que pueden necesitarse para ingresar en un área determinada. Los restantes sumandos indican:

- Costo debido al número de fuentes y estacas de estaciones receptoras siendo C<sub>2</sub> el costo por fuente y C3 el costo por estaca de recepción,

$$f_1 = \frac{C_2}{IF \cdot ILF} + \frac{C_3}{IR \cdot ILR}$$

- Costo de limpieza del terreno donde C<sub>4</sub> y C<sub>5</sub> son los gastos por km para las líneas de fuentes y de receptores, respectivamente,

$$f_2 = \frac{C_4}{ILF} + \frac{C_5}{ILR}$$

- Costo de perforación por Km<sup>2</sup>, C<sub>6</sub>, si la fuente es un explosivo,

$$f_3 = \frac{C_6}{IF \cdot ILF}$$

- Costo de personal siendo C<sub>7</sub> el gasto promedio por día y costo de equipos con C<sub>8</sub> representando el gasto de equipos por canal receptor y por día. NFD representa el número de disparos por día y NR el número de receptores activos,

$$f_4 = \frac{(C_7 + C_8 \cdot 1.5 \cdot NR) \cdot NF}{NFD}$$

- Costo de procesamiento, determinado por C<sub>9</sub> que estima dicho costo por traza, el fold, F y las dimensiones del bin "in-line", Bin y del bin "cross-line", Bcross.

$$f_5 = \frac{F \cdot C_9}{B_{in} \cdot B_{cross}}$$

**Restricciones debidas a la geometría**

Al asumir un tendido partido y simétrico se deben cumplir las siguientes relaciones:

$$BIN = B_{in} \cdot B_{cross} = \frac{IF}{2} \cdot \frac{IR}{2}$$

$$MLR = \frac{NLR}{2}$$

**Determinación de los parámetros de campo para la adquisición 3D de datos sísmicos.**

que hará la cantidad de líneas de receptores par en el tendido partido,

$$ILR = NFE \cdot IF$$

que establece la distancia entre líneas de receptores como un múltiplo del intervalo entre las fuentes siendo NFE el número de posiciones de disparos entre las líneas de receptores,

$$ILF = NRE \cdot IR$$

análoga a la anterior donde NRE es el número de estacas de recepción entre las líneas de fuentes y finalmente, una restricción en igualdad verificando la misma cantidad de canales por línea activas de receptores,

$$NR = NLR \cdot NRL$$

donde NRL indica los canales activos por línea de receptores activos.

**Restricciones geofísicas**

Observando la Figura 2 se obtiene

$$X_{min}^2 \geq ILF^2 + ILR^2$$

donde el signo indica que de todas las distancias fuente-receptor de un box, debe considerarse la mayor de todas ellas, esto es el offset mínimo más grande.

El número de disparos por km<sup>2</sup> puede ser estimado en función del fold deseado para el bin, las dimensiones del bin y el número de receptores vivos, como

$$NF = \frac{F}{NR \cdot B_{in} \cdot B_{cross}}$$

Offsets máximos en ambas direcciones, “X<sub>in</sub>” y “X<sub>cross</sub>”, permiten restringir azimutes mediante:

$$X_{in} \leq \frac{NR \cdot IR}{NLR \cdot 2} - \frac{IR}{2}$$

y

$$X_{cross} \leq \frac{NLR \cdot ILR}{2} - \frac{IF}{2}$$

Además, el tendido de la Figura 3, de Stone (1994), permite expresar el offset máximo, X<sub>máx</sub>, como

$$X_{max}^2 \leq \left( \frac{NLR \cdot ILR}{2} - \frac{IF}{2} \right)^2 + \left( \frac{NR \cdot IR}{NLR \cdot 2} - \frac{IR}{2} \right)^2$$

**Restricciones operacionales**

Si se llama “F<sub>máx</sub>” al número máximo de disparos por día y “R<sub>máx</sub>” al número máximo de canales receptores movidos por día, entonces deberá cumplirse:

$$NFD \leq F_{max}$$

$$NRD \leq R_{max}$$

Además, si “CR<sub>máx</sub>” es la cantidad de canales receptores disponibles, será

$$1.5 \cdot NR \leq CR_{max}$$

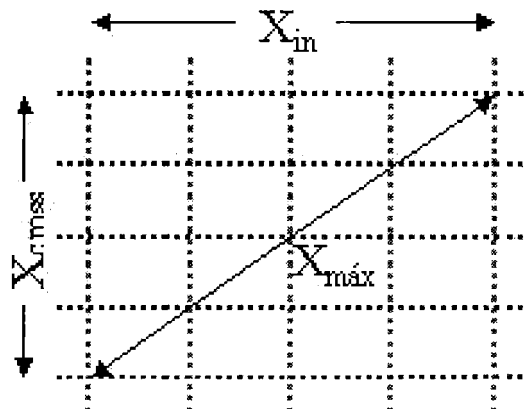


Figura 3. Definición de Xmax

indicando que la cantidad total de canales es una vez y media la cantidad necesaria de canales para cubrir el patch activo o vivo (ver expresión para  $f_4$ ).

Por último, puede escribirse el número de canales receptores que debe moverse en relación al número de disparos por día como:

$$\frac{NRD \cdot ILR \cdot IR}{NFD \cdot ILF \cdot IF} = 1$$

**ALGORITMO DE OPTIMIZACION**

Nuestro problema está dentro del contexto de un problema de programación no lineal, los cuales tienen la forma

$$\begin{aligned} & \text{Min}_x \{f(x)\} \\ & \text{subjeto a } g(x) \leq 0 \\ & \text{y } h(x) = 0 \end{aligned}$$

donde  $x \in \mathbb{R}^n$ ,  $f$  es la función objetivo  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $g$  es el conjunto de las inecuaciones  $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$  y  $h$  es el conjunto de ecuaciones  $h: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^p$ . Se asume que  $f$ ,  $g$  y  $h$  son continuas y sus derivadas también.

El algoritmo FAIPA, ver Herskovits *et al.* (2005):

Parámetros definidos:  $\varphi > 0, \alpha \in (0,1)$  y

$r > 0, r \in \mathbb{R}^p$  siendo  $\delta$  constante arbitraria,  $\alpha$  factor de avance y  $r$  vector de penalización.

Datos iniciales:  $\lambda > 0$  y  $B \in \mathbb{R}^{n \times n}$  simétrica y definida positiva.

$\underline{x} \in \mathbb{R}^n$  es un punto factible.

**Paso 1)** Cálculo de la dirección  $d$

Se obtiene  $(d_0, \lambda_0, \mu_0)$  y  $(d_1, \lambda_1, \mu_1)$  por medio de la resolución de los sistemas lineales.

Siendo  $\bar{\epsilon} = \text{diag}(\bar{\epsilon})$ ,  $G(x) = \text{diag}(g_i(x))$  y  $\bar{\epsilon}, i$  los multiplicadores de Lagrange.

Si  $d_0 = 0$  stop.

Si  $r_i \leq \|\mu_{0i}\|$  se hace  $r_i > \|\mu_{0i}\|$   $i =$

1,2,...,p

Definimos la función

$$\phi(x,r) = f(x) + r^t \text{sgn}[h(x)]h(x)$$

Si  $d_1^t \nabla \phi(x,r) > 0$  entonces

$$\rho = \inf \left[ (\varphi) \|d_0\|^2; (\alpha-1) d_0^t \nabla \phi(x,r) / d_1^t \nabla \phi(x,r) \right]$$

Si no  $\rho = \varphi \|d_0\|^2$

Finalmente el cálculo de la dirección es

$$d = d_0 + \rho d_1$$

**Paso 2)** Cómputo de la dirección de descenso en arco.

Se define  $\tilde{w}_i^J = g_i(x+d) - g_i(x) - \nabla g_i^t d$  y

$$\tilde{w}_i^E = h_i(x+d) - h_i(x) - \nabla h_i^t d \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

y se calcula  $\tilde{d}$  y  $\tilde{\mu}$  mediante la resolución del sistema de ecuaciones lineales

$$\begin{cases} B\tilde{d} + \nabla g(x)\tilde{\lambda} + \nabla h(x)\tilde{\mu} = 0 \\ \Lambda \nabla g^t(x)\tilde{d} + G(x)\tilde{\lambda} = -\lambda \tilde{w}_i^J \\ \nabla h^t(x)\tilde{d} = -\mu \tilde{w}_i^E \end{cases}$$

**Paso 3)** Búsqueda a lo largo del arco.

Encontrar un paso  $t$  que satisfaga un criterio de búsqueda aplicado a  $\phi(x,r)$  tal que las restricciones cumplan

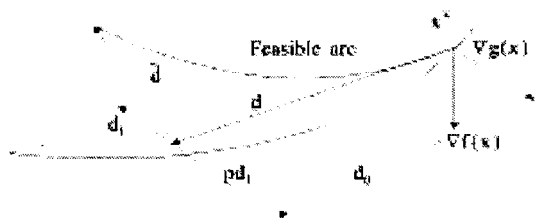


Figura 4. Arco de búsqueda en FAIPA

**Determinación de los parámetros de campo para la adquisición 3D de datos sísmicos.**

$$g_i(x+td+t^2\bar{d}) < 0 \text{ if } \bar{\lambda}_i \geq 0 \text{ o}$$

$$g_i(x+td+t^2\bar{d}) < g_i(x)$$

**Paso 4)** Se actualiza

$x=x+td+t^2\bar{d}$  y se definen los nuevos valores

$\lambda > 0, \mu > 0$  y la matriz  $\underline{B}$  simétrica y definida positiva.

Se vuelve al paso 1).

El arco usado en el algoritmo está representado en Figura 4.

**RESULTADOS**

Los algoritmos se aplican para estimar determinados parámetros de adquisición usando explosivos como fuente de energía, de

**Tabla 2.** Datos del problema de optimización. Costos en U\$A y distancias en km.

$C_1 = 5000$	$B_{in} = 0.025$
$C_2 = 45$	$B_{cross} = 0.025$
$C_3 = 45$	$F = 30$
$C_4 = 55$	$X_{in} = 2$
$C_5 = 55$	$X_{cross} = 1.5$
$C_6 = 100$	$X_{m\acute{a}x} = 2$
$C_7 = 10000$	$X_{m\acute{i}n} = 0.6$
$C_8 = 3$	$F_{m\acute{a}x} = 160$
$C_9 = 0.01$	$R_{m\acute{a}x} = 300$
$f [U\$/km^2] = 19730$	$CR_{m\acute{a}x} = 2000$

**Tabla 3.** Variables de diseño iniciales y finales para diferentes algoritmos de optimización.

Variables de diseño iniciales	Morrice <i>et al.</i> (2001)	FAIPA (2006)
ILF = 0.4	ILF = 0.5	ILF = 0.5
ILR = 0.4	ILR = 0.3	ILR = 0.3
IR = 0.05	IR = 0.05	IR = 0.05
IF = 0.05	IF = 0.05	IF = 0.05
NR = 960	NR = 1200	NR = 1200
NLR = 10	NLR = 10	NLR = 12
NF = 50	NF = 40	NF = 40
NFD = 150	NFD = 160	NFD = 159
NRD = 200	NRD = 266	NRD = 265
NFE = 8	NFE = 6	NFE = 6
NRE = 8	NRE = 10	NRE = 10
NRL = 96	NRL = 120	NRL = 100
MLR = 5	MLR = 5	MLR = 6

manera que el valor de la función costo (U\$A/km<sup>2</sup>) sea mínimo y quede asegurado el objetivo geofísico motivo de la prospección mediante restricciones de diseño y de operaciones de campo. Los datos del problema se indican en la Tabla 2. Los valores iniciales, los resultados finales alcanzados por Morrice *et al.* (2001) y FAIPA de las variables de diseño, se muestran respectivamente en las columnas uno, dos y tres de la Tabla 3. Las longitudes se expresan en kilómetros. La función costo llega a un valor de  $f=18095.76$  U\$A/km<sup>2</sup> en 27 iteraciones, relevando 4 km<sup>2</sup> por día y a  $f=18447.55$  U\$A/km<sup>2</sup> para Morrice. Ambos dispositivos (patches) son viables y tienen idéntica distribución del fold, la diferencia está en la distribución de azimut y offsets. Actualmente se favorecen los tendidos que muestrean espacialmente el campo de manera más homogénea, es decir azimut y valores de offsets parecidos. La propuesta de FAIPA cumple mejor esto último, con un dispositivo “más cuadrado” y no privilegiando la dirección in-line como sugiere Morrice.

Una nueva corrida de FAIPA permitiendo 170 disparos por día redujo el valor de  $f$  a

**Tabla 4.** Variables de diseño finales para fuente superficial y tamaño del bin condicionado por velocidad, frecuencia y buzamiento.

Fuentes en superficie	Bin función de velocidad, frecuencia y buzamiento
ILF = 0.5	ILF = 0.5
ILR = 0.4	ILR = 0.3
IR = 0.05	IR = 0.06
IF = 0.05	IF = 0.06
NR = 1080	NR = 960
NLR = 10	NLR = 12
NF = 44	NF = 32
NFD = 160	NFD = 160
NRD = 180	NRD = 256
NFE = 8	NFE = 5
NRE = 9	NRE = 8
NRL = 108	NRL = 80
MLR = 5	MLR = 6
$f = 14076.30$	$f = 15240.20$

17872.70 U\$A/km<sup>2</sup>, aumentó “ $R_{\text{máx}}$ ” y no modificó sustancialmente el valor de las variables geofísicas como era esperado. Otros dos ejemplos con el mismo conjunto de valores iniciales suponen fuente superficial y tamaño del bin considerando velocidad de stacking (2500 m/s), frecuencia máxima (80 Hz) y pendiente máxima (30°) esperadas. Las variables de diseño se muestran en las columnas 1 y 2 de la Tabla 4.

La fuerte caída en la función de costo que se observa en la primer columna de Tabla 4, se debe a la eliminación de los costos de perforación. En la segunda columna de la Tabla, se ve un aumento en el tamaño del bin por lo que el costo disminuye y el tendido es capaz de conservar el fold con reflector buzante.

Se desea destacar que “no existe algoritmo de optimización universal”, Nocedal y Wright (1999). FAIPA forma parte del conjunto de algoritmos modernos de punto interior que presentan la ventaja de que los puntos factibles alcanzados en cada iteración son puntos de la región de diseño (aunque no óptimos), llegando al final del procedimiento a un punto óptimo. Es aplicable al diseño de dispositivos ya que encuentra una solución viable, responde a lo esperado en los distintos ejemplos presentados y el tiempo de cómputo es realmente muy corto.

**Agradecimientos:** Los autores desean expresar su agradecimiento a los geofísicos Daniel Lorenzo y Claudio Cardama por sus valiosos comentarios en el problema geofísico.

## REFERENCIAS

Anstey, N.A. 1990. The Reflection Process. GP203, Exploration Geophysics. IHRDC, Boston.  
Cordson, A., M. Galbraith and J. Peirce. 2000. Planning Land 3-D Seismic Surveys. Geophysical Developments N9, Soc. Expl. Geophys.  
Herskovits, J., P. Mappa, E. Goulart and C.M. Mota Soares. 2005. Mathematical programming

models and algorithms for engineering design optimization. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg, 194:3244-3268.  
Hornman, K. and G. Vermeer. 2000. Introduction to 3D design problem. 3D seismic survey design: a solution. First Break, 18(5):161-185.  
Stone, D.S., 1994. Designing seismic surveys in two and three dimensions. Geophysical References No 5, Soc. Expl. Geophys.  
Morrice, D., A. Kenyon and C. Beckett. 2001. Optimizing operations in 3-D land seismic surveys. Geophysics, 66:1818-1826.  
Nocedal, J. and S. Wright. 1999. Numerical optimization. Springer-Verlag, New York.  
Vermeer, G.J.O. 2002. 3-D seismic survey design. Soc. Expl. Geophys.  
Yilmaz, O. 2001. Seismic Data Analysis. Investigations in Geophysics N10, Soc. Expl. Geophys.

## REPRODUCTION OF AN EXTENDED LORENZ EQUATION IN A THERMAL CONVECTION LOOP: ANALYSIS OF TRANSITIONS AMONG STATIONARY ORBITS AND EQUILIBRIUM POINTS

*Mario Alberto Jordán<sup>1,2</sup>, Federico Murray<sup>2</sup> and María Cintia Piccolo<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET)*

*Florida 8000, Complejo CRIBABB, Edificio E1, B8000FWB, Bahía Blanca, ARGENTINA*

<sup>2</sup>*Universidad Nacional del Sur, Dto. de Ing. Eléctrica y de Computadoras (UNS, DIEC)  
Av. Alem 1253, 8000 Bahía Blanca, ARGENTINA*

### ABSTRACT

In this paper a study of dynamic behavior that resembles interacting earth-atmosphere systems is carried out on the basis of an extended Lorenz system. The whole analysis is oriented to the dynamics of convection loops. One lab prototype is under construction at the present time, in where qualitative changes among the states are observed in a simulacrum of these atmospheric phenomena. More precise results were aimed through numerical simulations, in where different techniques of the Bifurcation Theory were employed to detect and identify qualitative changes more sharply. The objective here was to present previous results in the prediction of qualitative behavior of an extended time-varying Lorenz system.

**Keywords:** Lorenz system-convection loop-bifurcation diagrams-basins-Qualitative-behavior prediction

### RESUMEN

En este trabajo se lleva a cabo un estudio de comportamiento dinámico de sistemas interactivos tierra-atmósfera sobre la base a un modelo de Lorenz extendido. El análisis completo se orienta a la dinámica de lazos de convección. Un prototipo en laboratorio es construido en la actualidad en donde se observan cambios cualitativos entre los estados simulados de estos fenómenos atmosféricos. Se presentan resultados más precisos a través de las simulaciones numéricas, en donde se emplearon diferentes técnicas de la Teoría de la Bifurcaciones para detectar e identificar cambios cualitativos con más precisión. El objetivo aquí se extiende sólo a los resultados de predicción de conducta cualitativa en un sistema de Lorenz extendido de variable en el tiempo.

**Palabras claves:** sistema de Lorenz-lazo de convección-diagramas de bifurcación-dominios de atracción-predicción de comportamiento cualitativo

### INTRODUCTION

Structural models of hydrospheric processes are being used nowadays in order to achieve more accurate estimations of weather conditions over relatively large periods. However, many types of turbulent flows in the atmosphere have been shown to possess

chaotic behavior, with a strange attractor occurring on a low-dimensional phase space (Li Xin and Gang, 2001).

One of the most simple and interesting global models is the Lorenz system (Lorenz, 1963; Kreuzer, 1995; Guckenheimer and Holmes, 1983, Jordán, 2005) which attempts to characterize the interaction between the

state variables like pressure, temperature, air humidity, wind and sea stream velocity. This dynamics has found interest in different areas such as those within the Nonlinear Dynamic Systems and Bifurcation Theory, because of the widely diverse qualitative behaviors. Certainly, the system is able to reproduce such a large diversity for values of parameters changing in small intervals. But also one of the most attractive points are the influence in the dynamics of the well-characterized physical parameters known as Rayleigh and Prandtl numbers among other variables in the Lorenz model.

Generally speaking, equilibrium points of a bifurcation diagram should be associated with good weather conditions, while, on the opposite, chaotic states could be interpreted as storms or hurricanes. Quite more interesting than a prognosis of the weather conditions is the diagnosis of probable scenarios upon measurements and/or behavior interpretation (Li Xin and Gang, 2001). So the hypothesis held in this paper is that tendencies drawn out from tracking of parameter trajectories of a weather model over a bifurcation diagram may contain a great amount of valuable information for qualitative predictions.

The task of analyzing and quantifying chaotic behavior in nonlinear dynamical systems has become an important topic in many scientific areas. Here we consider the analysis of a convection loop with the help of the so-called spectrum of Lyapunov exponents, which can provide provided a forthright and effective method for studying properties of strange attractors in phase space. Basically, Lyapunov exponents are the average exponential rates of divergence or convergence of nearby orbits in phase space. So, by a chaotic dynamics, nearby orbits will evidence exponential orbital divergence. This feature points out the difficulty of prediction of the system behavior on the basis of initial conditions far away from the measurement point. Any system containing at least one positive

Lyapunov exponent is defined to be chaotic, with the magnitude of the exponent reflecting the time scale on which system dynamics become unpredictable. Also negative exponential Lyapunov indicate the presence of stable orbits or equilibria, and finally, null exponents reveal bifurcation points (Kreuzer *et al.*, 2000).

One practical way to visualize Lorenz system dynamics upon reproducible experimental data is obtained with the employment of convection loops in lab scale. The underlying physics of a convection loop resembles the dynamics of irregular but deterministic behaviors and anomalies in atmospheric systems expressed in the simple form of strange Lorenz attractors. A simple construction of a convection loop consists in a vertical toroid with liquid subject to a heat point on the bottom and a cooling point on the top of the toroid. So, the fluid particles undergo a motion in form of a circular flow in the toroid with particular characteristics according to the settings of the design parameters of the apparatus. Thus, the flow can reflect similar state behavior like the atmosphere under analogous perturbations of heat, vertical and horizontal temperature gradients, humidity and wind.

In this paper a study of dynamic behavior that resembles interacting earth-atmosphere systems is carried out on the basis of an extended Lorenz system. The whole analysis is oriented to the dynamics of convection loops. One lab prototype is under construction at the present time, in where qualitative changes among the states are however observed in a simulacrum of these atmospheric phenomena. More precise results are aimed through numerical simulations, in where different techniques of the Bifurcation Theory are employed to detect and identify qualitative changes more sharply. The objective here is to present previous results in the prediction of qualitative behavior of an extended time-varying Lorenz system.



**THERMAL CONVECTION LOOP**

In order to stage Lorenz-system behaviors in lab, we design a special set-up containing a thermal convection loop with controls for making up desired experimental conditions as shown in Figure 1. The convection loop consists of a viscous fluid contained in a sealed circular pipe (toroid) of radius  $R$ , standing in a vertical plane. From a working viewpoint, the motion of a low-inertia bead inside the torus will be subject, under circumstances, to forces that eventually induce a motion that may be either regular or erratic. The circumstances that promote this motion and its features depend primarily on the amount of heat generated on the bottom of the torus and the rate of heat evacuated at the top of the torus. These quantities influence all system variables referred to as states of the dynamics.

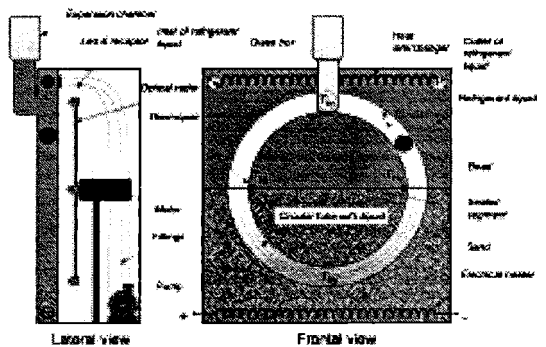
Experiments show that when the difference in temperature between the top and the bottom of the loop is large enough, the fluid exhibits unstable motion which may turn into an erratic behavior (chaotic). These experiments emulate approximately the dynamics of hydrospheric interaction between the atmosphere and ocean, i.e., the flow in atmospheric boundary-layer due to turbulence. The emulated interaction involves temperature gradients between points situated  $d$  at both sides of the boundary-layer, points situated up and down the boundary-layer and the flow rate of particles among these points, in addition the heat balance between electrical heater and heat interchanger, respectively.

The boundary-layer of an earth-atmosphere system is represented in the covering box by a sealed segment of sand and cooling liquid (Fig. 1). In order to protect the seals of the torus by increasing fluid pressure and temperature, an expansion chamber is developed ad-hoc and embedded at the top of the loop. There is practically no heat transfer between both sides along the sealed segment

other than that being done through the liquid in the tube. Also different sensors are conceived for measuring and detecting changes of all state variables like temperature gradients due to thermocouples, heat generation with measurement of the electric current of the heater, heat evacuation by means of a flow sensing and the bead velocity through an optic radar that recognizes the position of the bead in the circular tube using electric opto-coupling techniques.

On being heated the fluid density  $\tilde{n}$  decreases due to change in temperature and so there originates a positive/negative buoyancy force that causes the bead to rise/fall and circulate with the flow. Also there exists a drag force on the bead that puts up resistance to the body motion, however this is in general proportional to the bead velocity and so it is always smaller than the buoyancy.

The moving fluid particles in the loop are tracked by means of the bead which has a density being approximately equal or slightly below the density of the fluid in the toroid at every temperature. Positions of the bead are measured using the angle  $\delta$ , whose magnitude is taken counter-clockwise from the horizontal by means of the optical radar-based system. The portion of the loop  $0 \leq \delta < \delta$  is cooled (upper pipe) and the portion  $\delta \leq \delta < 2\delta$  is heated (lower pipe).



**Figure 1.** Pilot apparatus of a thermal convection loop to stage academically earth/atmosphere-similar phenomena at IADO

Typically, at a low heating rate the bead remains in a non-circular motion in steady state. Increasing the heating rate a circular motion takes place in either a clockwise or counter-clockwise direction, which is not predictable due to the symmetry existing in the heating/cooling system. Further increment of the heating rate will result in an oscillatory or eventually in a chaotic motion of the fluid (Yuen and Bau, 1999).

One particularity of the system is that the heat rate  $Q$  over the entire loop is zero. In fact

$$Q = \pi R \int_0^{2\pi} h d [T_w(\theta) - T_a] d\theta = 0, \quad (1)$$

where  $T_w(\theta)$  is the wall temperature,  $T_a$  is the temperature outside the box and  $h$  is the convective heat transfer coefficient between the fluid and wall (assumed constant). The quantity of interest is, however,  $Q(t)$  which is the heat transferred from the heated wall of the loop to the fluid or, equivalently, from the fluid to the cooled wall. This can be calculated as

$$Q = \pi R \int_0^\pi h d [T_w(\theta) - T_a] d\theta = \frac{\pi R h d [T_w(0) - T_w(\pi)]}{1 + b^2}, \quad (2)$$

with

$$b = \frac{2hL}{\pi d \rho c u}, \quad (3)$$

where  $c$  is the specific heat at constant pressure in the tube and  $u$  is the mean velocity of the fluid which is assumed to be the velocity of the low-mass bead. In this calculation only the vertical heat transfer is computed. The heat flow through the glass walls outside is symmetric and transversal to the toroid. This heat portion is lost and not involved in the convection loop.

Regarding the information in Figure 1 let the state vector be  $\mathbf{x}=(x,y,z)^T$  with the meaning according to the Table 1.

Thus the proposed equations for the dynamics of an extended Lorenz system are:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sigma(-x + y) \\ \dot{y} &= \beta x - \alpha_y y - \gamma_h x z \\ \dot{z} &= -\alpha_z z + \gamma_v x y - r, \end{aligned} \quad (4)$$

where the coefficients and their meaning are cleared in the following Table 2.

For  $\delta$  being positive and  $0 < r < 1$  the system has one globally attracting equilibrium  $(0, 0, -r)^T$  that corresponds to the no-motion state of the thermal convection. For  $r=1$  two equilibria appear that represent the states of the steady convection. They are respectively:  $x''=y''=\pm r(r-1)$ ,  $z''=-1$ . At  $r=\delta(\delta+4)/(\delta-2)$  the equilibria lose their stability and appear a Hopf bifurcation, and for greater values of  $r$  the system has no more equilibrium points. The rest of the coefficients in the Lorenz equations are  $\hat{\alpha}_y$ ,  $\hat{\alpha}_z$ ,  $\gamma_v$ ,  $\gamma_h$  and  $\hat{\alpha}$ . The  $\hat{\alpha}_y$  and  $\hat{\alpha}_z$  are rates that account for the dynamics of the temperature gradients horizontally and vertically, respectively. The  $\gamma_v$  and  $\gamma_h$  regulate

**Table 1.** State variables in the convection loop.

State variable = physical variable	Meaning
$x = u$	Wind velocity
$y = T_w(0) - T_w(\pi) = T_{H1} - T_{H2}$	Horizontal temperature gradient
$z = T_w(\pi) - T_w(3\pi/2) = T_{V1} - T_{V2}$	Vertical temperature gradient

**Table 2.** Parameters of the convection loop

the degree of nonlinear interaction between wind velocity and temperature gradients in horizontal and vertical directions, respectively. Finally, the coefficient  $\hat{a}$  defines the linear interaction of the wind over the temperature gradient horizontally. In many approaches the gains are considered  $\gamma_v = \gamma_h = \hat{a}_y = 1$  while  $\hat{a}$  and  $\hat{a}_z$  are more changeable with weather conditions within large ranges.

It is noticing in (4) that the dynamical nonlinearities basically are of one common category, namely a bilinearity contained in the product between the wind velocity and one temperature gradient. These nonlinearities appear in the basic differential equation of Lorenz with related parameters  $\gamma_h$  and  $\gamma_v$  as constants. On the contrary, in the extended model these parameters are supposed potential control parameters for bifurcation analysis.

**PREDICTION OF QUALITATIVE BEHAVIOR TRANSITION**

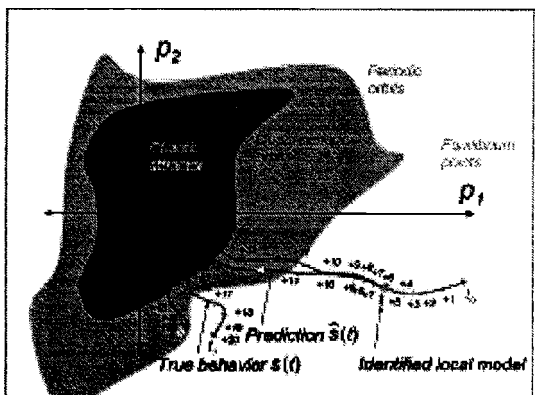
The future goal of our investigation is to be able to predict behavior of Lorenz-like dynamics on the basis of distributed measurement data and an identified system model with the structure of (4) but with slowly time-varying parameters. So we can roughly speak about transitions from one behavior to other one with diversity, i.e., each one corresponding to different limit sets in the parameter space.

Since behaviors may be of chaotic nature, then, from the point of view of accuracy, these predictions are expected to be rather of qualitative kind, however precise enough in the sense that possible identified behaviors can be associated to periods of duration which are calculated with relatively high precision. Based on the assumption that many local weather phenomena can be well described by the dynamics of a slowly time-varying model like

$$\begin{aligned} \hat{\dot{x}} &= \hat{\sigma}(t)(-x + y) \\ \hat{\dot{y}} &= \hat{\beta}(t)x - \hat{\alpha}_y y - \hat{\gamma}_h(t) xz \\ \hat{\dot{z}} &= -\hat{\alpha}_z(t)z + \hat{\gamma}_v(t)xy - \hat{r}(t), \end{aligned} \quad (5)$$

we can then represent their features of behavior diversity by means of the so-called Lyapunov spectra calculated from the evolution of the model (4) for different set of parameters. Hence, using a grid in this parameter space, the maximal Lyapunov exponent of the spectra can be plotted in advance to an application to serve as support of a basin containing regions of equal limit sets (Fig. 2). The resulting basin is then employed as background for mapping a trajectory of the real weather system built up from collected data. Also, this path can be continued approximately using a model-based prediction in order to detect future transitions of the system behavior when the trajectory crosses contours of different limit sets. By parameterizing the future path in time, an assignation of the successive events along the path will also indicate their duration roughly.

In compliance with the illustration of Figure 2, a prediction scenario involves an identifier



**Figure 2.** Prediction of qualitative behavior based on prediction/identification over a limit-set basin of the stationary behavior

and a predictor. At some starting point  $t_o$ , an algorithm to on-line identification is run in order to provide a set of estimates  $\{\hat{\theta}_i\}$  that are involved in model (5). This occurs after a certain period, in which the convergence of  $\hat{\theta}_i$  have taken place, say at “ $t=t_o+\delta$ ”. At this time  $t$  other algorithm carries out a prediction and reconstruction of the future path over the basin in the parameter space  $p_1$  and  $p_2$ . The approach ends with the identification of particular limit sets such as “periodic orbits”, “quasi-periodic orbits” and “chaotic behavior” with the respective duration of them in units of time  $\Delta t$  termed in the picture as “ $t_o+n\Delta t$ ” with  $n$  being the number of time units after  $t_o$ .

**PREDICTOR AND ON-LINE IDENTIFICATOR**

In (Jordán, 2005) two methods for on-line identification of time-varying models for the extended Lorenz system were presented. Accordingly, a model can be estimated on line upon real data of the recent past behavior of the system. A necessary condition for attaining acceptable estimates of the model parameters implies the meeting of good persistent excitation of the system, which in turn means that the system state be in any state other than an equilibrium point. Any other state, especially chaotic ones will provide optimal conditions for identification.

Under convergence, the estimates are employed as inputs for a predictor of the type

$$(6)$$

with  $\hat{p}_i \in \{\hat{\sigma}, \hat{\beta}, \hat{\alpha}_y, \hat{\gamma}_v, \hat{\gamma}_h, \hat{\alpha}_z, \hat{r}\}$  and

$O(c_{p_i})$  is an error function.

Here it was assumed that the time-varying model (5) behaves with parameters

$$(7)$$

where all derivatives fulfill:

$$\frac{d^j p_i(t)}{dt^j} \Big|_{t=0} = constant$$

and the  $O(c_{p_i})$  's mean more precisely order-of-magnitude residual functions (OoM residual function) for:

and  $c_{p_i}$  are such

that

$$\left\| p_i(t) - \sum_{j=0}^n \frac{d^j p_i(t)}{dt^j} t^j \right\|_{t=0} \leq c_{p_i} = constant \quad (8)$$

in  $[0, \infty]$ , i.e., all residue  $O(c_{p_i})$  are Lebesgue-measurable.

In this way, the prediction of the trajectory up to  $t$  is made on the basis of (6). The approach is repeated from time to time with a larger rate  $T$  such that  $t_{Ti} = t + iT$  are the time points for evaluating the model. Also at these points the model is reset and the estimates identified anew. On the contrary, the identification can be also supervised asynchronously based on convergence, i.e., the time points for model evaluation are not uniformly distributed but subject to variable periods, at which a convergence tests were performed.

**BASINS OF LYAPUNOV SPECTRA**

Now we will describe one analytical method for characterizing qualitative behaviors and applying to extended Lorenz systems. This technique concerns mainly the Lyapunov spectrum, which is defined by

$$(9)$$

where  $i=1, \dots, n$ , with  $n$  being the order of the dynamic system and  $s_i$  the length of one of the  $n$  principal lengths of an ellipsoid at  $t$  in the  $n$ -dimensional phase space of the system, which has started as an infinitesimal  $n$ -sphere of radius  $s_i(0)$  and changed its form due to the locally deforming nature of the flow, i.e., in some main directions it contracts, in others it suffers no change and in the rest it expands. In (Wolf *et al.*, 1985) an algorithm for detecting main directions and ortho-normalization of them via the Grandt-Schmidt method is presented.

The signs of the Lyapunov exponents provide a quantitative scenario of the system dynamics and will be used in further analysis. In the context of extended Lorenz-like dynamical systems, a three-dimensional continuous dissipative system like this, is described by the Lyapunov spectrum composed by the following possible combination of exponent signs (Wolf *et al.*, 1985).

Besides the Lyapunov spectrum, there is another related indicator that quantifies chaotic behavior on the basis of information theoretic terms. These also are very relevant for our approach to behavioral prediction. This is a measure of the rate at which system processes create or destroy information that is useful for behavior prediction. So, the Lyapunov exponents can be expressed in bits of information per second or bits per orbit. Accordingly, for a chaotic Lorenz attractor with coefficients  $\sigma=16.0$ ,  $\beta=45.92$  and  $\alpha_2=4.0$ , and  $r=0$ , the maximal Lyapunov exponent results  $2.16$ , which means  $2.16$  (bits/sec). The interpretation is as following: if the initial behavior was established with an accuracy, for instance,

of about one part per million, i.e.,  $1/2^{20}$  (bits); so the next evolution could be not predicted with so a precision after  $20$  (bits) /  $2.16$  (bits/s) =  $9$  (s). After this time, there is an inability to predict the behavior except to say that the orbit stays somewhere on the strange attractor.

### SIMULATIONS AND EXPERIMENTAL RESULTS

In order to illustrate the results of the analysis, two different ways were explored. On one side, the experimental study via convection loop, and parallel, the verification of the methodology through numerical simulations and posterior analysis of data by means of Lyapunov spectra and basins.

At the present, the convection loop of Figure 1 is not yet fully constructed as far as the sensors is concerned. Even when quantitative relations involving the four temperature points, flow velocity and heat are not completely available yet, it is nevertheless possible, up to the present time, to visualize qualitative behaviors on the system. These scenarios are characterized by the motion of the bead with different patterns under different heat-settings, which confirm roughly, not only the appearance of convection phenomena of interest, but also the feasibility of such construction and the adequacy of the design proportions and materials to reproduce them with diversity under desired controlled conditions.

The second way, which comprehends numerical simulations, is the main matter of this paper. To the end of classifying limit sets based on the model structure (4), we will analyze first the Lyapunov spectra of the extended Lorenz system.

We employ the algorithm of (Wolf *et al.*, 1985) on the system (4) with initial condition  $x(0)=(1, 1, 1)^T$  and particular fixed values and a set of control parameters.

In Table 4 are summarized all Lyapunov exponents  $\lambda_i$  of the spectra after 500 (s) of

**Table 3.** Identification of limit sets

Lyapunov exponent signs ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ )	Type of limit set
(+, 0, -)	Strange attractor
(0, 0, -)	Two-torus
(0, -, -)	Limit cycle
(-, -, -)	Fixed point

simulation for  $\dot{\alpha}_y = \gamma_v = \gamma_h = 1$ ,  $\dot{\alpha}_z = 8/3$  and  $\sigma = 10$ , and the control space parameter is conformed by the gain  $\beta$  for wind velocity and the Rayleigh number  $r$ .

It is noticing that, according to Table 3, there exist a great diversity of behaviors ranging from fixed point up to strange attractors. Due to numerical discretization in the subdivision of the control space, some stable orbits corresponding to the pattern (0,-,-) remains masked. Therefore a more careful scanning of the space is done in the following.

In Figures 3 up to 8, different subdivisions of the space are made. Additionally, while Figure 3 shows the region conformed by the Prandtl coefficient  $\sigma$  versus the Rayleigh number  $r$ , the rest depicts the control space parameter conformed by the gain  $\beta$  for wind

velocity and the Rayleigh number  $r$ . Clearly, the richness in behavioral diversity seen in the region  $\beta$  vs.  $r$  is quite superior to that obtained in the subspace  $\sigma$  vs.  $r$ . Moreover, in local vicinities of  $\beta$  vs.  $r$ , several limit cycles are obtained, included PPN and NNP orbits.

In Figure 9 the maximal Lyapunov exponent for the conditions of the table 4 is depicted. Basically, this indicator is employed as building-brick to construct the basin of our approach. Clearly, the diversity is detected with the sign of this indicator, so that the domain  $\beta$  vs.  $r$  is divided into sub-regions, in where the system maintains its features of limit set. It is noticing that the limit sets corresponding to limit cycles are confined to a segment without area that is characterized by the Lyapunov exponent equal to zero for  $\beta = 4.5$  approximately.

**Table 4.** Lyapunov exponents for Lorenz systems ( $t_c$  (s): time of simulation)

Control parameters	$t_c$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$
<b>R=1</b>				
$\beta=1$	500 (s)	-1.212631	Not defined	N/D
$\beta=50$	500 (s)	1.289078	N/D	N/D
$\beta=100$	500 (s)	0.057869	N/D	N/D
$\beta=150$	500 (s)	0.003433	N/D	N/D
$\beta=200$	500 (s)	1.364552	N/D	N/D
<b>R=2</b>				
$\beta=1$	500 (s)	-1.228130	-1.267766	-11.170771
$\beta=50$	500 (s)	1.280844	-0.005254	-14.942256
$\beta=100$	500 (s)	0.117831	-0.457135	-13.327362
$\beta=150$	500 (s)	0.006449	-1.392612	-12.280503
$\beta=200$	500 (s)	1.389619	0.001363	-15.057649
<b>R=3</b>				
$\beta=1$	500 (s)	-1.189294	-1.224222	-11.253150
$\beta=50$	500 (s)	1.317156	-0.004672	-14.979151
$\beta=100$	500 (s)	1.373176	-0.001618	-15.038225
$\beta=150$	500 (s)	0.006075	-2.359515	-11.313227
$\beta=200$	500 (s)	1.390707	0.001166	-15.058540
<b>R=4</b>				
$\beta=1$	500 (s)	-1.150858	-1.178542	-11.337267
$\beta=50$	500 (s)	1.308777	-0.005783	-14.969661
$\beta=100$	500 (s)	1.507764	-0.001178	-15.173253
$\beta=150$	500 (s)	0.003330	-2.213859	-11.456137
$\beta=200$	500 (s)	1.375010	0.000806	-15.042483
<b>R=5</b>				
$\beta=1$	500 (s)	-1.114480	-1.136739	-11.415448
$\beta=50$	500 (s)	1.307453	-0.007260	-14.966860
$\beta=100$	500 (s)	1.613902	-0.001252	-15.279317
$\beta=150$	500 (s)	0.001262	-1.365936	-12.301993
$\beta=200$	500 (s)	1.353355	0.001811	-15.021833

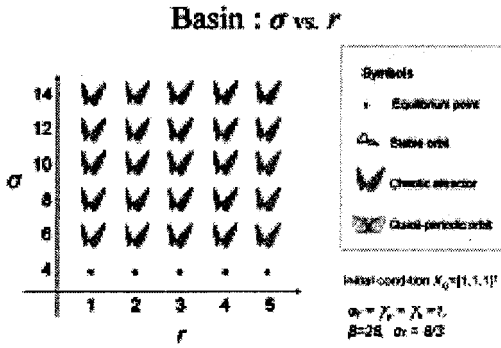


Figure 3. Qualitative behavior in the region conformed by the Prandtl coefficient  $\sigma$  Rayleigh number  $r$

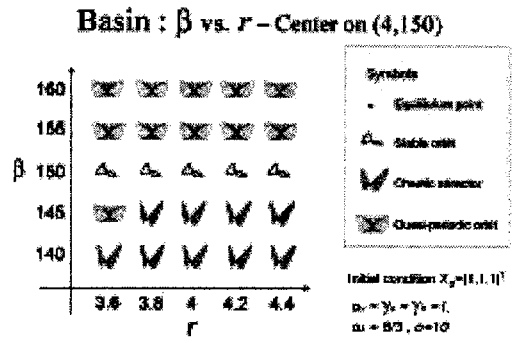


Figure 6. Qualitative behavior in the region conformed by the Prandtl coefficient Rayleigh

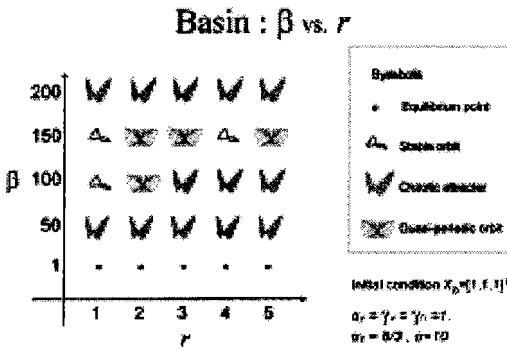


Figure 4. Qualitative behavior in the region conformed by the gain  $\beta$  for wind velocity and Rayleigh number  $r$

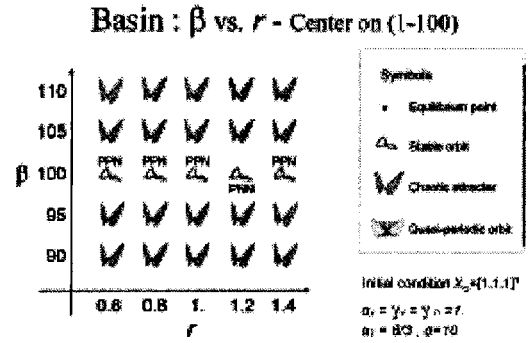


Figure 7. Qualitative behavior in the region conformed by the Prandtl coefficient Rayleigh

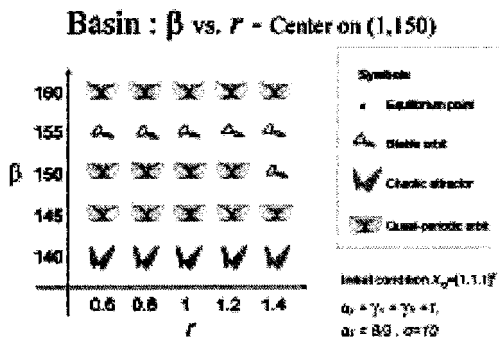


Figure 5. Qualitative behavior in the region conformed by the Prandtl coefficient Rayleigh number  $r$

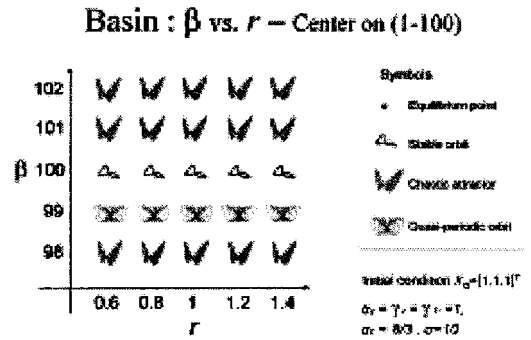


Figure 8. Qualitative behavior in the region conformed by the Prandtl coefficient Rayleigh number  $r$

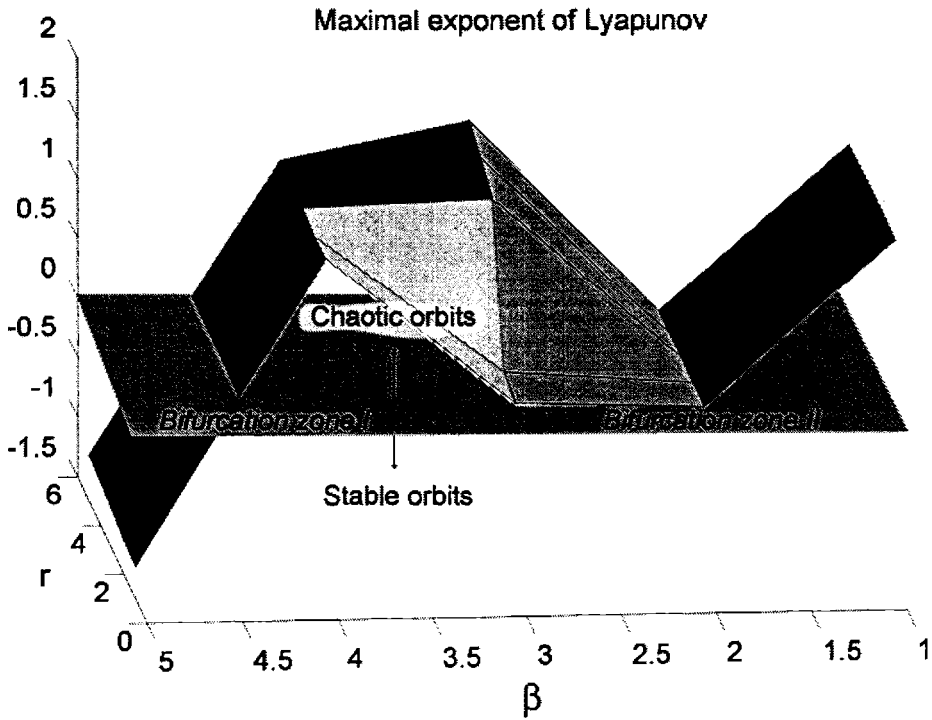


Figure 9. Plot of the maximal Lyapunov exponent in the region  $(r, \beta)$

Now, we will illustrate the approach of weather prediction based on simulations with control parameter  $\beta$ . Towards this goal, let us define the following set-up. Consider the time-varying Lorenz system with coefficients  $\delta=10$ ,  $\hat{a}_y=1$ ,  $\hat{a}_v=1$ ,  $\hat{a}_z=8/3$ ,  $\hat{a}_h=1$ ,  $r=0$  and  $\hat{a}(t)=1+\cos(\delta/200 t)$ , and with initial conditions:  $x(0)=14, y(0)=27$  and  $z(0)=78$ . It can be shown that the system dynamics starts from an equilibrium point at  $\hat{a}(0)=1$  and transits a series of equilibria with a short transitory till  $\hat{a}(12.68)=24.74$  where a Hopf bifurcations and consequently a strange attractor is formed for the asymptotic behavior. This chaotic pattern remains in time induced by a series of strange attractors up to the arrival to stable orbits with period doubling and inserted from time to time in the path; for instance for  $\hat{a}=99.65$  a PPNPPN-orbit and for  $\hat{a}=100.5$  a PPN-orbit. Up to  $t=100$  the coefficient  $\hat{a}(t)$  begins to decrease along the time, passing through the

same limit sets and showing the same qualitative behaviors. At  $t=187.32$  the asymptotic dynamics enters the path through a series of equilibrium points up to the end of the simulation.

The only time-varying parameter is  $\hat{a}$  and this is assumed to have the second-degree law  $\hat{a}(t)=\hat{a} \bullet + \hat{a} \bullet t + \hat{a} \bullet t^2$ . The rest of parameters is assumed to be constant but unknown. So the parameter vector of the identifier is

$$\hat{\Theta} = [\hat{\sigma}, \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\gamma}_h, \hat{\gamma}_v, \hat{\alpha}_y, \hat{\alpha}_z, \hat{r}]^T \quad (10)$$

In Figures 10 and 11 the evolution of the time-varying system is reproduced both with the true and the estimated parameters. It is clearly seen that the estimation of the state variables preserves qualitatively the patterns of the paths during chaotic behaviors.



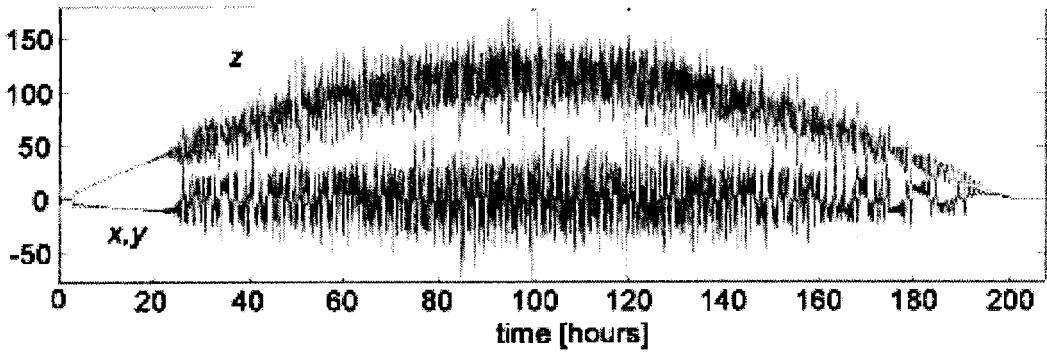


Figure 10. Evolution of the Lorenz system dynamics

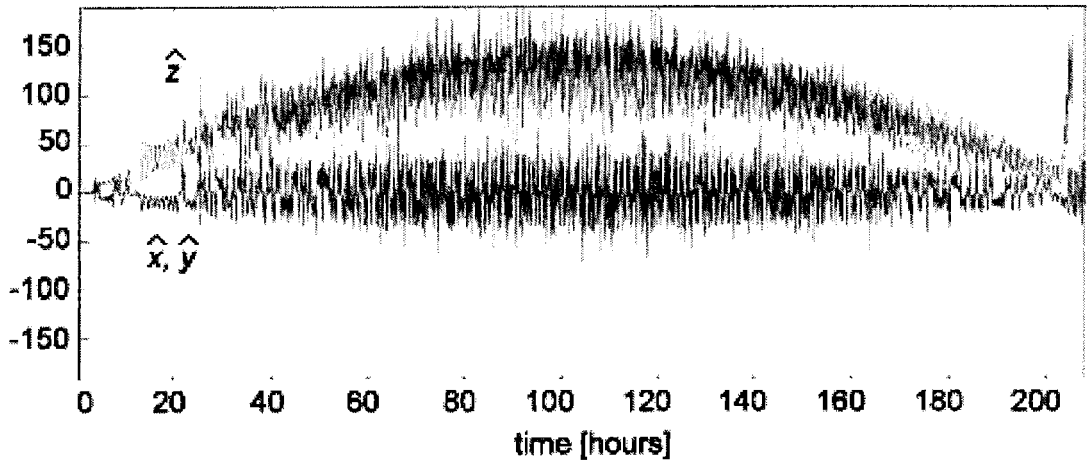


Figure 11. Estimated evolution of the Lorenz system dynamics with the identified model

Moreover, as predicted by the theory, the presence of stable equilibrium points cause lack of persistency of excitation in the intervals  $[0, 12.68]$  [hours] and  $[187.32, 220]$  [hours], i.e., when the dynamics transits through a series of limiting sets composed by equilibrium points the convergence fails. Especially on this last interval ( $t > 200$  (s)), the divergence of the parameters is more marked as predicted.

It is worth noticing that a qualitative prediction of the evolution in the changing coefficient  $\hat{a}$  can be made as early as at  $t = 30$  [hours] and it is valid with high precision till  $t = 200$  [hours]. Therefore the return of the system to the equilibrium point at  $t = 200$  (s) can be predicted with large anticipation, namely up to  $t = 30$  [hours].

## CONCLUSIONS

In this work an approach for behavior prediction based on the physics of convection loops is presented. The approach is based on prediction and estimation of time-varying coefficients of Lorenz-like systems. The main application is aimed to the prediction of weather scenarios based on Lyapunov spectra and basins in a control parameter space. Although applications with experimental data would require more complex models than the academic one shown here, this paper pretends to illustrate a model-based approach with the simple but important Lorenz model.

We have stressed our experiments in the search space composed by changing gain for

wind velocity and changing Rayleigh number because just here there was found a large diversity of behaviors. Additionally, both coefficients are physical parameters that can be influenced in set-ups in the convection loop easily. At the present, simulation results have shown through several examples a good compliance with the hypothesis illustrated in Figure 2, i.e., that the approach based on an identified time-varying model presented here is able to achieve good qualitative predictions in relative large periods of behavior and an acceptable quantitative assignation of periods for the duration of these events. A necessary condition for this agreement is the meeting of good persistent excitation of the system, which is accomplished by chaotic or stable/quasi-stable behaviors. Future research is focused on experimental data on the convection loop.

## REFERENCES

- Guckenheimer, J. and P. Holmes. 1983. Nonlinear oscillations, dynamical systems, and bifurcations of vector fields. Applied Mathematical Sciences 42, Springer Verlag.
- Ioannou, P. and J. Sun. 1995. Robust Adaptive Control. Prentice Hall.
- Kreuzer, E. 1995. Chaostheorie - nützlich oder vergänglich? Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft, 1995.
- Jordán., M.A. 2005. Qualitative Prediction of Chaotic Behaviors in Time-Varying Lorenz Systems through On-Line Parameter Identification. Proc. 6th Argentine Symposium On Computing Technology, Rosario, Argentina.
- Li Xin, H.F. and L. Gang. 2001. Characteristics of chaotic attractors in atmospheric boundary-layer turbulence. Boundary-Layer Meteorology, 99, 335-345.
- Lorenz, E.N. 1963. Deterministic nonperiodic flow, Journal Of Atmospheric Science, 20, 130-141.
- Wolf, A., H.F. Swift, H.L. Swinney and J.A. Vastano. 1985. Determining Lyapunov Exponents from a Time Series. Physica 16D, 285-317.
- Yuen P.K. and H.H. Bau. 1999. Optimal and Adaptive Control of Chaotic Convection - Theory and Experiments, Physics of Fluids, 11(6), 1435-1448.

## ATENUACION SISMICA DE CORTO PERIODO EN LA REGION DE NUEVO CUYO

Gabriela A. Badi <sup>1</sup>, Jesús M. Ibañez Godoy <sup>2</sup> y Nora C. Sabbione <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. Avenida Centenario s/n, Paseo del Bosque, B1900FWA La Plata, Argentina. e-mail: gbadi@fcaglp.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, España.

### RESUMEN

A partir de una selección de aproximadamente 400 sismos con profundidades focales entre 0 y 300 km y distancias epicentrales de hasta 400 km se realiza un estudio comparativo de atenuación sísmica en el intervalo 1-12 Hz en la región limitada por 26.5°S - 35.5°S y 63.5°W - 74°W. Utilizando el método del Ensanchamiento del Primer Pulso para ondas P, el método de Normalización de la Coda para ondas S y el modelo de *Back-scattering* Simple para ondas coda se determinan valores del factor de calidad  $Q_p$ ,  $Q_d$  y  $Q_c$  respectivamente. Se presenta una separación preliminar de la atenuación intrínseca ( $Q_i$ ) y de *scattering* ( $Q_s$ ) a partir de los valores obtenidos de  $Q_d$  y  $Q_c$ .

Ajustando una ley de potencia,  $Q=Q_o f^n$ , a los valores promedio de  $Q_c$  se obtienen  $22 \leq Q_o \leq 106$ ,  $0.9 \leq n \leq 1.4$  para profundidades focales de hasta 50 km y  $33 \leq Q_o \leq 167$ ,  $0.7 \leq n \leq 1.2$  para focos por debajo de 50 km, variando según el lapso de tiempo de coda analizado. El valor medio de  $Q_d$  depende claramente de la profundidad focal y la frecuencia, con  $Q_o$  igual a 90 o 160 para focos superficiales o intermedios respectivamente y un  $n$  cercano a 0.7 en ambos casos. La relación  $Q_p^{-1}/Q_d^{-1}$  varía entre 0.6 y 1.9 en las frecuencias centrales del intervalo estudiado.

Los resultados obtenidos indican que la Región de Nuevo Cuyo tiene una atenuación sísmica mayor a la determinada por estudios previos, corroborando que debido a su intensa actividad tectónica, se incluye entre las zonas de alta peligrosidad sísmica del mundo.

**Palabras clave:** atenuación, ondas P, ondas S, ondas coda, Nuevo Cuyo.

### ABSTRACT

From a selection of about 400 earthquakes with focal depths between 0 and 300 km and up to 400 km of epicentral distance, a comparative attenuation study is performed for frequencies between 1 and 12 Hz in the region that extends from 26.5° S to 35.5° S and from 63.5° W to 74° W. Applying the Broadening of the First Pulse method for P-waves, Coda Normalization method for S-waves and Single Back-Scattering model for coda-waves, quality factors  $Q_p$ ,  $Q_d$  and  $Q_c$  are obtained respectively. A preliminary separation of intrinsic ( $Q_i$ ) and scattering ( $Q_s$ ) attenuation is presented from  $Q_d$  and  $Q_c$  values.

Fitting a power law,  $Q=Q_o f^n$ , to  $Q_c$  mean values, they were found to be  $22 \leq Q_o \leq 106$ ,  $0.9 \leq n \leq 1.4$  for focal depths above 50 km and  $33 \leq Q_o \leq 167$ ,  $0.7 \leq n \leq 1.2$  for focal depths below 50 km, varying with the considered coda lapse-time.  $Q_d$  mean value clearly depends on focal depths and frequency, with  $Q_o$  equal to 90 or 160 for surface or intermediate focal depths respectively and  $n$  around 0.7 in both cases. The  $Q_p^{-1}/Q_d^{-1}$  ratio varies between 0.6 and 1.9 at the center of the studied frequency range.

Obtained results point out greater attenuation than previously determined in Nuevo Cuyo Region, corroborating that due to its intense tectonic activity it is among the high seismic hazard zones of the world.

**Keywords:** attenuation, P waves, S waves, coda waves, Nuevo Cuyo.

## INTRODUCCION

La atenuación sísmica es uno de los fenómenos principales que afectan la forma de un sismograma. Se la puede representar por el factor de calidad del medio,  $Q$ , que expresa el efecto de las pérdidas de energía por heterogeneidades en el medio y por la absorción anelástica del mismo. En el primer caso hablamos de un efecto de *scattering* ( $Q_s$ ) y en el segundo caso, de atenuación intrínseca ( $Q_i$ ).

Aki y Chouet (1975) definieron a las ondas coda como la parte final del sismograma luego del arribo de las máximas amplitudes y hasta donde la señal se confunde con el ruido en el caso de un evento local o regional (distancias epicentrales menores que  $10^\circ$  según Kulhánek, 1990) (Fig. 2). En el modelo conocido como "Single Back-Scattering" (SBS) plantearon la coda como una superposición de frentes de ondas provenientes de diversas fuentes dispersoras presentes en el medio y distribuidas aleatoriamente. Este modelo, continúa utilizándose a pesar de la simplicidad de sus hipótesis dado que permite comparar resultados de diversos contextos tectónicos y es de muy fácil aplicación. Sato (1977) planteó un modelo para el caso de *scattering* simple e isótropo (SIS) donde la distancia fuente-receptor ya no es despreciable frente al camino libre medio de la onda.

Existen diversos métodos establecidos para el estudio de la atenuación en ondas de volumen. El método de "Normalización de la Coda" (NC) denominado así por Frankel *et al.* (1990) es el mismo que Aki (1980) definió como "método de una estación" para el estudio de ondas de corte. Este método fue derivado sobre la hipótesis de *scattering* simple de S a S y la propiedad que tiene la envolvente de las ondas coda de ser independiente de la fuente, la magnitud y la distancia (Aki y Chouet, 1975). En su trabajo de 1980, Aki concluyó que las ondas coda en terremotos locales o regionales de baja magnitud, están compuestas por ondas

S afectadas por *scattering*. El método del "Ensanchamiento del Primer Pulso de P" (Wu y Lees, 1996), es un método independiente de la frecuencia cuya base se asienta en la pérdida por atenuación de las altas frecuencias de una onda produciéndose una relación lineal entre el ancho del pulso de P y el tiempo de propagación.

Conocidos los valores de atenuación de ondas de corte y coda, aplicando la aproximación de Wennerberg (1993) a la expresión de  $Q_c$  en la interpretación del *scattering* múltiple de Zeng (1991) es fácil separar  $Q_i$  y  $Q_s$  dentro de la atenuación total y conocer la parte proporcional de anelasticidad y heterogeneidad del medio.

Los estudios de atenuación sísmica en el rango de altas frecuencias (1-20 Hz) son fundamentales para comprender las características sismotectónicas de una región dada. Entre los  $27^\circ$  S y los  $33^\circ$  S una importante actividad sísmica cortical y de profundidad intermedia (entre 100 y 200 km) se correlaciona con una compleja morfología y estructura superficial en la placa Sudamericana (Jordan *et al.*, 1983, Smalley y Isacks, 1987, Smalley *et al.*, 1993, Regnier *et al.*, 1994). El objetivo del presente trabajo es conocer los valores de atenuación sísmica para diferentes tipos de ondas propagándose en la región de Nuevo Cuyo, originadas por terremotos locales y regionales. Esta zona, calificada como la de más alta peligrosidad sísmica de nuestro país (Giardini *et al.*, 1999), cuenta en su historia reciente con sismos destructivos como los que tuvieron epicentro en San Juan (1944), Mendoza (1861) y Caucete (1977) y frecuentemente se ve afectada por eventos sísmicos sentidos (Castano *et al.*, 1999, INPRES, 2006) (Fig. 1). Incluso Córdoba (1934) y San Luis (1936) se vieron seriamente afectadas por terremotos superficiales, mostrando que la sismicidad intracontinental superficial se extiende hasta los 600 km de distancia de las mayores alturas de los Andes (Alvarado *et al.*, 2005).

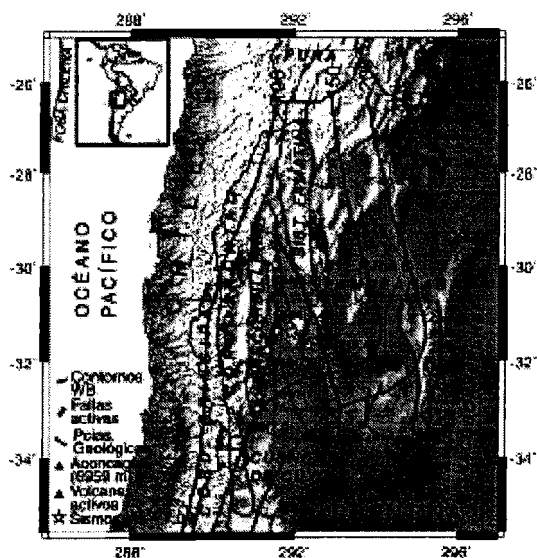


Figura 1. Región de Nuevo Cuyo. Provincias geológicas (Ramos, 1999<sup>a</sup>), principales fallas activas (Cortés et al., 1999; Costa, 1999), epicentros de sismos históricos con Magnitud ( $M_s$ )  $\geq 7.0$  (Alvarado et al., 2005; Costa, 1999) y contornos de Wadati-Benioff en km.

Estudios previos sobre atenuación sísmica en esta región, se centran en el análisis de datos analógicos aplicando el método de SBS sobre codas completas para el cálculo de  $Q_c$  ( $Q_c$  a 1 Hz) en la provincia de San Juan (Giroldi, 1990) y norte de Mendoza (Alvarado, 1992). En Badi *et al.* (2000) se muestran

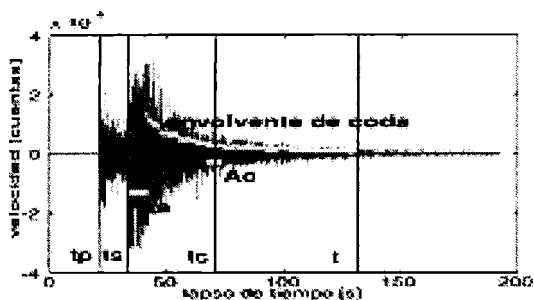


Figura 2. Ejemplo de registro con los tiempos de viaje y ventanas utilizadas en los distintos métodos. Las amplitudes de S (As), coda (Ac) y la envolvente de coda se calcularon como el valor cuadrático medio (RMS) de la señal en las ventanas seleccionadas.

resultados de la aplicación del modelo de SBS a un subconjunto de eventos seleccionados a partir de la misma base de datos de este trabajo y en Badi *et al.* (2005) pueden hallarse resultados preliminares de la aplicación del método de NC independientemente de la forma del decaimiento de la coda. El presente trabajo reúne y completa la aplicación de las técnicas mencionadas sobre ondas P, S y coda correspondientes a registros sísmicos de la Región de Nuevo Cuyo para el período 1996-1999.

## MARCO SISMOTECTONICO

El presente estudio se desarrolla en la región de mayor actividad sísmica de la República Argentina. Con una morfología y tectónica condicionadas por la subducción de la placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, la Región de Nuevo Cuyo (Fig. 1) presenta entre los 27° S y 33° S, un segmento de subducción subhorizontal (Jordan *et al.*, 1983, Smalley e Isacks, 1990, Pujol *et al.*, 1991) que contrasta con los casi 30° de la subducción normal al norte y sur de dicho segmento (Jordan *et al.*, 1983, Badi, 1991). La distribución de sismicidad en profundidad presenta un comportamiento bimodal. Smalley *et al.* (1993) estimaron una profundidad focal entre 5 y 35 km para los eventos superficiales en San Juan y alrededor de los 100 km para los eventos intermedios. La energía sísmica liberada es 2 a 6 veces mayor a la de la zona de subducción normal adyacente (Gutscher *et al.*, 2000).

Jordan *et al.* (1983) destacan la correlación espacio-temporal de las segmentaciones latitudinales y longitudinales de los rasgos en ambas placas. Según Ramos (1999a), los datos sismológicos y geológicos muestran que la segmentación latitudinal de la placa subducida ejerce un control tectónico de primer orden sobre las provincias geológicas argentinas. Jordan *et al.* (1983), Isacks (1988) y Smalley

*et al.* (1993) observan en la placa sudamericana, sobre la subducción plana, un ascenso sostenido de la topografía desde la costa del Pacífico hasta las mayores alturas de la Cordillera Principal (más de 6000 m); al este, un escasísimo magmatismo Neógeno-Cuaternario, una delgada faja de deformación epidérmica Neógena a Cuaternaria con migración oriental y por último, una ancha zona de elevación Plio-Pleistocena del basamento cristalino en fallas inversas. Numerosos autores han estimado un importante acortamiento cortical para esta región que alcanza los 160 km en los últimos 20 Ma (Regnier *et al.*, 1994, Ramos, 1999b, Ramos, 1999c).

La estructura cuaternaria de la Región de Nuevo Cuyo a la que se asocia la actividad sísmica cortical puede dividirse en tres segmentos longitudinales: un tramo norte entre los 28° y 32° de latitud donde la deformación se concentra preferentemente en la Precordillera, en el sector pedemontano adyacente y en las Sierras Pampeanas; un segmento central entre los 32° y 33° de latitud caracterizado por corrimientos e inversión tectónica positiva de la cuenca de Cuyo y otro al sur de los 33° donde desaparece la Precordillera en coincidencia con el aumento de la inclinación de la zona de Wadati-Benioff (ZWB) y en el que la deformación se localiza en el frente montañoso y en el extenso ambiente extracordillerano (Cortés *et al.*, 1999, Smalley e Isacks, 1990). Tanto en las zonas de subducción normal como plana el límite oriental de la ZWB y la sismicidad cortical coinciden (Smalley e Isacks, 1990; Smalley *et al.*, 1993).

En particular, en la provincia de San Juan, las principales fuentes sismogénicas son el sistema de retrocorrimientos de la Precordillera Oriental y los geolineamientos con direcciones N-NO, S-SO y O-NO y mecanismos inversos con componente de deslizamiento de rumbo de las Sierras Pampeanas Occidentales (Triep y de Cardinali, 1984, Smalley e Isacks, 1990,

Smalley *et al.*, 1993). En la provincia de Mendoza, el frente activo está definido por corrimientos de vergencia oriental en el pedemonte serrano cercano a la ciudad de Mendoza y otras poblaciones. El margen occidental precordillerano presenta una estructura cuaternaria compleja y variada, con fallas de desplazamiento de rumbo dextral y normal, corrimientos y retrocorrimientos longitudinales y fallas oblicuas de orientación noroeste.

## METODOLOGIA

### Atenuación de ondas coda

El método empleado es SBS de Aki y Chouet (1975) con la modificación propuesta por Sato (1977) para el caso en que la distancia fuente-receptor no es despreciable. La envolvente de la coda de un sismograma a una dada frecuencia ( $f$ ) y lapso de tiempo ( $t$ ) medido desde el origen del evento, puede representarse por la relación

$$A(f, t) = A_0(f)t^{-1}k(\alpha)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{\pi ft}{Q_c}} \quad (1)$$

donde  $A_0(f)$  es un factor que depende de la fuente, el efecto de sitio y la frecuencia;  $t^{-1}$  representa la expansión geométrica de las ondas coda supuestas como ondas internas;  $k(\alpha) = t/t_s \ln(t + t_s/t - t_s)$  es el factor de corrección por la distancia según Sato (1977) función a su vez de  $t_s$ , el tiempo de arribo de la onda S;  $Q_c$  es el factor de calidad del medio que da cuentas de la atenuación total. Calculada la envolvente en el dominio del tiempo de la coda para una dada frecuencia (Fig. 2), el ajuste de la exponencial se puede realizar por transformación logarítmica de la Ecuación 1 o por un ajuste no lineal (Gauss Newton). Este último garantiza los requisitos impuestos por el método de ajuste por mínimos cuadrados para la obtención del  $Q$  (Ibañez et

al, 1993) supuesta una distribución gaussiana de errores.

### Atenuación de ondas P

A partir de la dependencia observada entre el ancho del primer pulso de P, llamado  $\tau$ , y el tiempo de propagación de la onda,  $t_p$ , Wu y Lees (1996) establecieron la siguiente relación lineal (Fig. 2 y Fig. 5)

$$\tau = \tau_0 + ct_p/Q_p \quad (2)$$

Donde  $\tau_0$  es el ancho del pulso en la fuente,  $c$  una constante dependiente de los materiales atravesados y estimada por Gladwin y Stacey (1974) igual a 0.5. El valor de  $Q_p$  estimado a partir del ajuste por mínimos cuadrados de la Ecuación 2 a los datos, es independiente de la frecuencia. El método requiere que el ancho del pulso en la fuente sea similar para todos los eventos.

### Atenuación de ondas S

Según el método de Normalización de la Coda propuesto por Aki (1980), el valor del factor de calidad de ondas S,  $Q_s$ , puede obtenerse a partir de la relación

$$\langle \ln\{DA_i(f, D)/A_i^c(f, t_c)\} \rangle = a - bD \quad (3)$$

siendo  $a$  una constante, el factor de atenuación  $b = \pi f / Q_s v$ ,  $A_i(f, D)$  es la amplitud espectral de la onda S directa registrada (Fig. 2) correspondiente al  $i$ -ésimo evento en una dada estación,  $D$  es la distancia hipocentral,  $A_i^c(f, t_c)$  es la amplitud espectral de la coda registrada por el mismo instrumento a un lapso de tiempo  $t_c$  mayor que aproximadamente dos veces el tiempo de propagación de S,  $f$  y  $\bar{v}$  son respectivamente la frecuencia y la velocidad promedio de las ondas S.  $Q_s$  incluye los efectos de absorción y scattering. La Ecuación 3 al promediarse en distancia para diferentes direcciones de propagación elimina

los efectos del patrón de radiación y el efecto de sitio en la estación.

### Separación de la atenuación intrínseca y de scattering

Asumiendo que la atenuación total ( $Q_T$ ) es representada por los valores obtenidos de  $Q_d$  y puede expresarse en función de la atenuación de scattering ( $Q_s$ ) e intrínseca ( $Q_i$ ) mediante la conocida relación,

$$Q_T^{-1} = Q_s^{-1} + Q_i^{-1}, \text{ Wennerberg (1993)}$$

reinterpretó los valores medidos de  $Q_c$  en términos del scattering múltiple según la formulación dada por Zeng (1991). Obtuvo así, las siguientes expresiones que se utilizan como un sistema de ecuaciones para la estimación de  $Q_i$  y  $Q_s$

$$\begin{aligned} Q_d^{-1} &= Q_i^{-1} + Q_s^{-1} \\ Q_c^{-1} &= Q_i^{-1} + Q_s^{-1}(1 - 2\delta(\gamma)) \end{aligned} \quad (4)$$

donde  $1 - 2\delta(\gamma) = -1/(4.44 + 0.738\gamma)$

y  $\gamma = Q_s^{-1} 2\pi f t$

### DATOS

El presente trabajo se realiza sobre el mismo conjunto de eventos seleccionados para el trabajo de Badi *et al.* (2005) y registros de 23 estaciones verticales de corto periodo de la Red Sismológica Zonal Nuevo Cuyo perteneciente a la Red Nacional de Estaciones Sismológicas dependiente del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) para el período 1995-1999.

Las localizaciones se realizaron usando el programa Hypo71 y una estructura de velocidad determinada por el INPRES (Tabla 1), obteniéndose un error Rms promedio de los residuos temporales de 0.13 y errores estándar en la distancia epicentral y en la profundidad de 3 y 5 km respectivamente. Las magnitudes

varían de 3.4 a 4.5 (Md) y las distancias consideradas no superan los 400 km (Fig. 3). En principio, se agruparon los datos según profundidades focales superficiales ( $h < 50$  km) e intermedias ( $h > 50$  km), reconsiderándose esta división según fuese necesario en cada método. Se identificaron 4074 registros que verifican las condiciones para el método NC, 3520 para el método SBS y 1942 primeros pulsos de P claros.

### APLICACION Y RESULTADOS

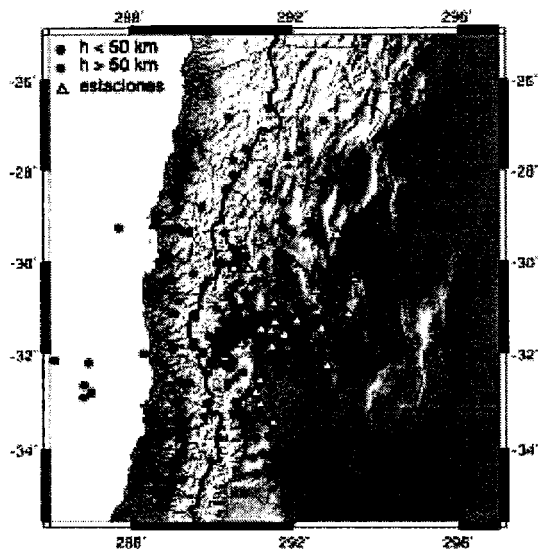
Para el análisis de ondas coda y de ondas de corte, se filtraron las trazas con filtros pasabandas tipo Butterworth de orden 5 y una octava de ancho centrados en 1.5, 3, 6 y 12 Hz si las frecuencias de muestreo y de corte del preamplificador lo permitían. El método del ensanchamiento del primer pulso de P no requiere filtrado previo.

#### Ondas coda

La envolvente suavizada de la coda puede estimarse aplicando filtros pasabanda y

**Tabla 1.** Estructura de velocidad de ondas P, ( $\alpha$ ), empleada y relación  $v_p/v_s$ . Fuente INPRES.

$\alpha$	Prof. [km]
	0
5	10
6.2	40
7.8	60.3
7.85	80.3
8.222	100.8
8.273	121.1
8.331	141.6
8.398	162
8.472	182.6
8.554	203.2
8.641	223.9
8.735	244.6
8.835	700
$\alpha = 1.65 \beta$	



**Figura 3.** Distribución de epicentros y estaciones de la Red Sismológica Zonal Nuevo Cuyo analizados en el presente estudio donde  $h$  indica profundidad focal

calculando el valor cuadrático medio (RMS) de la señal filtrada en el dominio del tiempo sobre ventanas móviles (Aki y Chouet, 1975). Siguiendo a Ibañez *et al.* (1991) se definió el inicio en forma visual coincidiendo con el punto donde la envolvente corregida de divergencia geométrica comienza a decaer de forma regular (Fig. 2). El final de la coda suele definirse a partir de la relación señal ruido, pero ésta puede variar de una estación a otra, por lo que se fijó el final de la coda en el punto donde la envolvente de la coda corregida de divergencia geométrica comienza a crecer luego de haber alcanzado un mínimo (Ibañez *et al.*, 1990).

Se calcularon los ajustes para longitudes de coda decrecientes y múltiplos de 10 s hasta un mínimo de 20 s. Las ventanas móviles elegidas fueron de 3 s para 1.5 Hz y 2 s para 3, 6 y 12 Hz con un solapamiento del 50%. Ambos métodos arrojaron resultados similares aunque el método lineal sobreestimó los valores de  $Q_c$  en un 86 % de los casos. Los promedios regionales de  $Q_c$  (Tabla 2) en función del lapso de tiempo y la frecuencia, se interpretaron en



términos de la ley  $Q_c = Q_o f^n$  con el lapso de tiempo como parámetro, obteniéndose los valores de  $Q_o$  y  $n$  que se muestran en la Figura 4.

**Ondas P**

Seguindo a Wu y Lees (1996) se definió la duración del pulso como el tiempo transcurrido sobre la línea de amplitud cero de la traza desde la intersección de la extrapolación lineal de la pendiente de subida del pulso a mitad de su amplitud máxima y el cruce real de la traza por aquella línea después de haber alcanzado su máximo (Fig. 5). Sólo se seleccionaron pulsos que tuvieran pendientes y máximos claros. El método debe aplicarse a ondas P con patrones de radiación similares y por lo tanto el

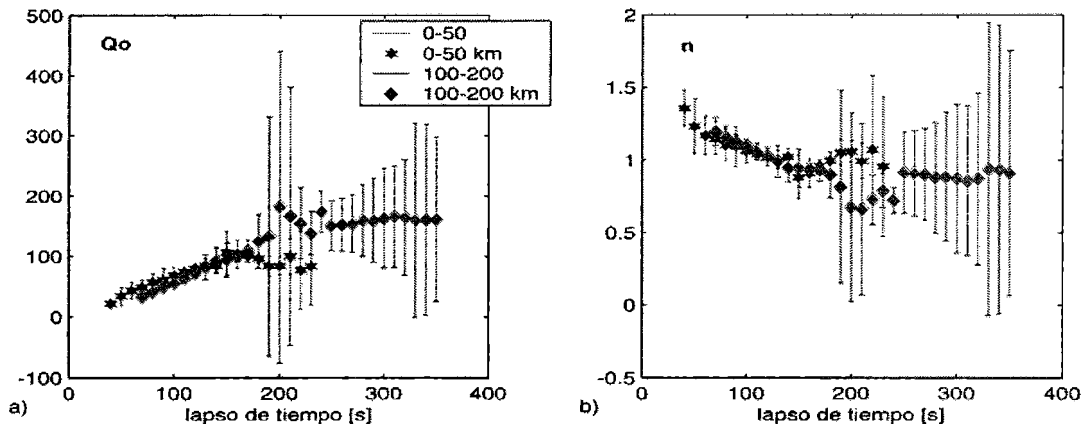
mismo ancho del pulso en la fuente. Al no conocerse los mecanismos focales, se seleccionan los datos a partir de la asociación espacial de sus focos y su no dependencia con la magnitud. Se restringen entonces las magnitudes al rango 3.5-4.5. A partir de la distribución espacial de eventos se obtuvieron dos grupos bien definidos en los intervalos de profundidades 0-43 km y 100-152 km con proyecciones en superficie en la región definida por 30°-33° S y 67°-71° W. La Figura 6 presenta los valores individuales del ancho del pulso y el ajuste de los valores medios según la Ecuación 2 en función del tiempo de viaje de P con su coeficiente de determinación ( $\rho^2$ ).

**Ondas S**

Se tomaron las amplitudes espectrales de S y coda sobre el RMS de los datos filtrados para las mismas bandas de frecuencia que el SBS. La longitud de la ventana de S y de coda fue de 10 s. La ventana de S ( $t_s$ ) se ubicó visualmente a partir del punto de máxima energía de la onda, mientras que la ventana de coda se centró a diferentes lapsos de tiempo ( $t_c = 70, 90, 110, 130$  s) dependiendo de las distancias epicentrales y profundidades. Utilizando las mismas lecturas del trabajo de

**Tabla 2.** Valores medios regionales de  $Q_c$  y errores estándar en función de la frecuencia (Frec.) para lapsos de tiempo ( $t_c$ ) y profundidades focales seleccionados.

Profundidad [km]	0-50			100-200		
Frec [Hz]	$t_c$ [s]	50	100	150	100	150
1.5		57 ± 17	98 ± 29	133 ± 34	90 ± 21	124 ± 46
3		117 ± 31	214 ± 54	277 ± 60	181 ± 46	281 ± 69
6		317 ± 71	462 ± 104	531 ± 118	387 ± 97	503 ± 108
12		717 ± 108	943 ± 202	939 ± 232	833 ± 185	980 ± 199



**Figura 4.** Distribución de  $Q_o$  (a) y  $n$  (b) obtenida ajustando  $Q_c = Q_o f^n$  a los promedios regionales. Los puntos oscuros corresponden a focos en el intervalo 0-50 km y los claros al intervalo 100-200 km. Las barras indican los límites de 95% de confianza.

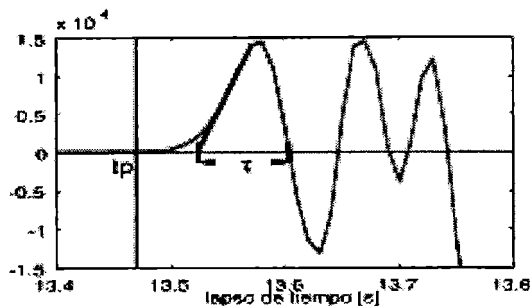


Figura 5. Ejemplo de determinación del ancho del pulso de P,  $\tau$ , donde  $t_p$  es el comienzo de P. Ver texto para más explicación.

Badi *et al.* (2005), se redujeron las amplitudes de coda a un tiempo uniforme ( $t_0=0$ ) incorporando esta vez la expresión  $P(f, t_0)/P(f, t_0)$  y los valores promedios de  $Q_c$  para las frecuencias y lapsos de tiempo correspondientes en dos rangos de profundidades focales, por encima y debajo de los 50 km. En la Figura 7 se presenta un ejemplo del proceso de ajuste mediante la Ecuación 3 para el caso de focos superficiales. La Tabla 3 muestra los valores obtenidos para las diferentes frecuencias de filtrado tomando la velocidad promedio de S,  $\bar{\delta}$ , igual a 4.16 km/s para focos entre 0-50 km y 4.81 km/s para focos entre 50-310 km.

### Separación de $Q_s$ y $Q_i$

Los valores de  $Q_d$  y  $Q_c$  previamente obtenidos se utilizaron en la resolución del sistema de ecuaciones de la Ec.4 obteniéndose los valores de  $Q_s$  y  $Q_i$  presentados en la Figura 8. La condición de que  $Q_d$  debe ser menor que  $Q_c$  limitó el rango de aplicabilidad del método a las profundidades focales superficiales para las bandas de frecuencia analizadas. En el caso de profundidades intermedias, sólo pudo evaluarse para 1.5 Hz.

### DISCUSION

$Q_c$  y  $Q_d$  presentan una fuerte dependencia con la frecuencia como puede verse en las

Tabla 3. Valores de  $Q_d$  obtenidos a partir del método de NC para las frecuencias estudiadas (Frec.) con errores dados por los límites del 95% confianza y  $\rho^2$  para intervalos de profundidad focal 0-50 km y 50-310 km.

Prof [km]	0 - 50		50-310	
Frec.[Hz]	$Q_d \pm \text{error}$	$\rho^2$	$Q_d \pm \text{error}$	$\rho^2$
1.5	$107 \pm 10$	0.86	$239 \pm 46$	0.76
3	$163 \pm 12$	0.91	$287 \pm 38$	0.74
6	$386 \pm 30$	0.90	$552 \pm 54$	0.80
12	$518 \pm 20$	0.98	$834 \pm 63$	0.88

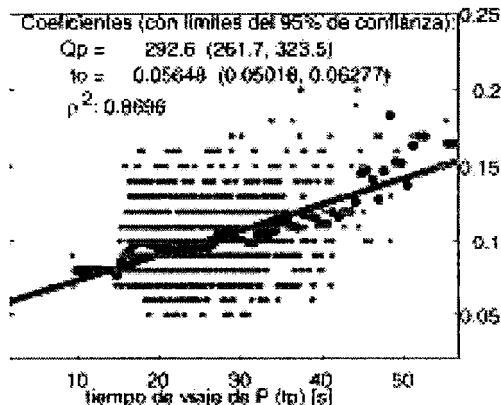
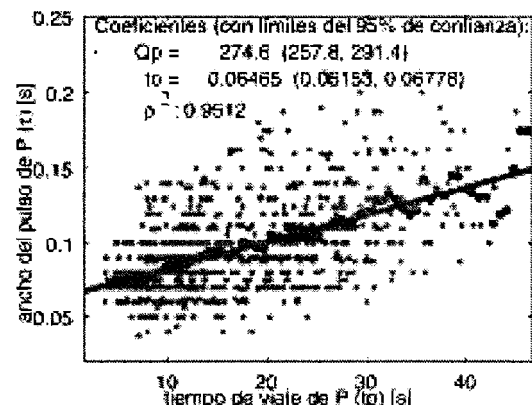


Figura 6. Ancho del pulso de P vs. tiempo de viaje para profundidades focales entre 0-43 km (izquierda) y 100-152 km (derecha). Puntos claros muestran valores individuales, oscuros indican valores promedio y líneas rectas muestran los ajustes mediante Ecuación 2.

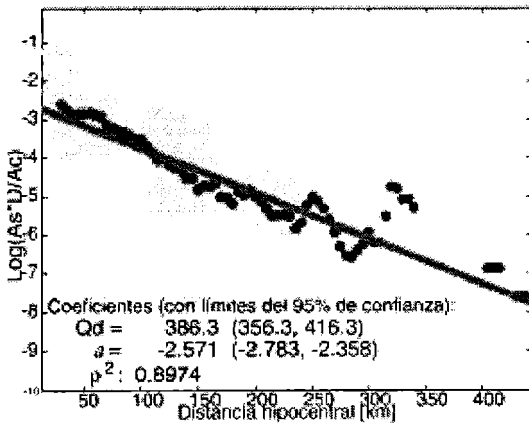


Figura 7. Un ejemplo de la aplicación del método de Normalización de la Coda para 6 Hz, para profundidades focales en los intervalos 0-50 km. Puntos claros muestran valores individuales del primer miembro de la Ecuación 3, puntos oscuros muestran valores promedios y línea recta muestra el ajuste.

Tablas 2 y 3. Ajustando una ley de potencia,  $Q = Q_o f^n$ , a los promedios regionales de  $Q_o$ , se observan en la Figura 4 intervalos de variación de  $Q_o$  y  $n$  según el lapso de tiempo de coda analizado:  $22 \leq Q_o \leq 106$ ,  $1.4 \geq n \geq 0.9$  para trayectorias desde focos superficiales y  $33 \leq Q_o \leq 167$ ,  $1.2 \geq n \geq 0.7$  para trayectorias correspondientes a focos intermedios. Estos valores son algo menores que los obtenidos por Girolidi (1990) y Alvarado (1992) quienes estimaron valores medios de  $Q_o$  iguales a 100 y 122 respectivamente. Del análisis de la variación con la profundidad, no se observa neta dependencia de la atenuación de ondas coda con la profundidad en esta zona, al menos para promedios regionales. Para el cálculo de  $Q_o$  se han tenido en cuenta todos los lapsos de tiempo observados. El 92 % de las codas tuvieron duraciones máximas de hasta 150 s y sólo un 1.3 % superaron los 200 s, esto justificaría los errores observados en los ajustes de la Figura 4 para lapsos de tiempo cercanos a 200 s, que pueden asociarse a una menor validez estadística de la muestra considerada.

El uso de la expresión matemática del decaimiento de coda en el método de NC, permitió una mejor estimación de la atenuación de ondas de corte que la obtenida en Badi *et al.* (2005), mostrando una clara dependencia de  $Q_d$  con la profundidad. La ley de potencia ajustada a  $Q_d$  arroja valores de  $Q_o$  iguales a 90 y 160 para focos superficiales e intermedios respectivamente y un  $n$  cercano a 0.7 en ambos casos. Como la atenuación es un efecto aditivo, puede analizarse la variación de la atenuación de ondas S con la profundidad y la frecuencia, mediante un modelo de capas de atenuación uniforme. Si  $E$  es el espesor total considerado y  $Q_p$  el factor estimado para las trayectorias que lo atraviesan, la expresión  $E/Q_d = \sum_i E_i/Q_{di}$ , donde  $i$  indica las diferentes capas, permite separar el efecto de la atenuación cortical de aquel de la litósfera continental asísmica más la placa de Nazca subducida. Eliminando el efecto de los primeros 50 km sobre la atenuación total, se obtienen  $Q_o = 196$  y  $n = 0.6$  para la capa entre 50 y 310 km. Si se consideran las velocidades promedio de S, se obtiene una relación de atenuación ( $b_{0-50}/b_{50-310}$  ver Ec. 3) igual a 2.5.

Los valores de  $Q_d$  obtenidos son grandes si se comparan con  $Q_o$ , ésto se debe al método utilizado que, por definición, refleja la atenuación del camino sísmico promedio cancelando el efecto de las heterogeneidades más superficiales sobre las ondas de corte directas (Martínez Arévalo *et al.*, 2003).

Si bien el método de obtención de  $Q_p$  es independiente de la frecuencia, dado que la duración media de los primeros pulsos de P fue de 0.1 s, los valores pueden asociarse a una frecuencia de 5 Hz.  $Q_p$  resulta ser igual a 275 para la corteza y 293 para la litósfera oceánica y manto superior. Haberland y Rietbrock (2001) y Schurr *et al.* (2003), empleando métodos espectrales para realizar una tomografía de  $Q_p$  en los Andes alrededor de los 23°S, hallaron valores superiores a 1000 en el

antearco y la placa subducida, mientras que la corteza y el manto bajo el arco magmático arrojaron valores inferiores a 100 asociados a material fundido.

Comparando los factores de calidad de ondas P y S, se observa que  $Q_p$  es mayor que  $Q_d$  alrededor de los 3 Hz pero es menor en los 6 Hz. La relación  $Q_p^{-1}/Q_d^{-1}$  obtenida para las frecuencias centrales del intervalo considerado, se halla entre 0.59 y 1.41 para profundidades superficiales y entre 0.98 y 1.89 para mayores profundidades. Las ondas S se ven, en general, más afectadas por la atenuación que las ondas P. Cabe considerar que tanto en el caso de  $Q_p$  como en el de  $Q_s$  los métodos empleados no analizan la totalidad del espectro de las ondas. En el caso de las ondas P, se observa el primer pulso que contiene las mayores frecuencias, mientras que para las ondas S se analiza la ventana más energética comparándola con la coda.

De la separación de la atenuación intrínseca y de *scattering* en la Figura 8 puede observarse que los valores de  $Q_s$  son muy altos para codas menores a 100-150 s en casi todas las frecuencias, sugiriendo que las trayectorias más cortas no se ven afectadas por el efecto de *scattering*. Para longitudes de coda cortas,  $Q_i$  se mantiene cercano a  $Q_c$ , mientras que

para longitudes de coda mayores, el *scattering* domina la coda según  $Q_s$ , se aproxima a  $Q_c$ , como ya se menciona en Ibañez *et al.* (1993) y en Frankel y Wennerberg (1987).

### CONCLUSIONES

Se han estimado valores medios de la atenuación para la Región de Nuevo Cuyo, Argentina, utilizando diversas técnicas aplicadas a ondas P, S y coda en el intervalo de frecuencias 1.5–12 Hz.

La determinación de  $Q_c$  mediante el método de SBS, usando un ajuste no lineal, teniendo en cuenta variaciones con la frecuencia y el lapso de tiempo considerado, mejora la bondad de los ajustes de la coda, resultando valores de  $Q_c$  algo inferiores a los obtenidos por otros trabajos. En esta oportunidad se ha completado la aplicación del método de NC que se presentara en Badi *et al.* (2005), encontrándose que los valores de  $Q_d$  muestran un importante aumento con la profundidad. La corteza continental atenúa 2.5 veces más que el conjunto formado por la litósfera oceánica y la litósfera continental asísmica. Se han obtenido valores de  $Q_p$  por un método independiente de la frecuencia. La relación estimada se halla entre 0.6 y 1.9,

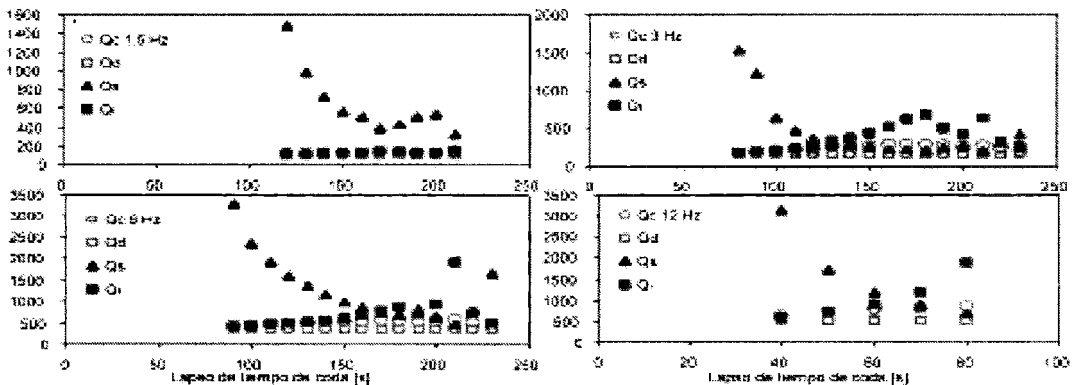


Figura 8. Comparación de  $Q_c$  y  $Q_d$  con valores preliminares de  $Q_i$  y  $Q_s$  en función del lapso de tiempo de coda para las frecuencias estudiadas y profundidades focales entre 0 y 50 km. La interpretación de Wennerberg (1993) (Ec. 5) es válida sólo si  $Q_d$  es menor que  $Q_c$ .

acorde con los valores litosféricos obtenidos para diversas regiones del mundo (Sato y Fehler, 1998). Comparando los resultados con los hallados por Haberland y Rietbrock (2001) y Schurr *et al.* (2003) para la Puna, éstos son notablemente inferiores para profundidades intermedias y son algo superiores en la corteza. Esto se debe a la diferente configuración de la subducción y la ausencia de volcanes activos en la región considerada en este trabajo. La aplicación de técnicas espectrales permitirá refinar la determinación de la atenuación de ondas de P y S. Se ha hallado que, para longitudes de coda cortas el *scattering* simple de coda ( $Q_c$ ) se aproxima a la atenuación intrínseca ( $Q_i$ ) del medio (Ibáñez *et al.*, 1993, Frankel y Wennerberg, 1987), mientras que la parte final de la coda es dominada por procesos de *scattering* múltiple ( $Q_s$ ) (Zeng *et al.*, 1991).

Este trabajo presenta la primera determinación de atenuación de ondas de volumen en esta región. Además, se han analizado trayectorias de sismos de profundidad intermedia aplicando técnicas antes no utilizadas para otras regiones del mundo. Los criterios de aplicación han debido ajustarse a la naturaleza de los datos, por lo que es deseable proseguir con la aplicación de otros métodos para obtener una completa comprensión de la atenuación en esta región y su comparación con otras de similar actividad. Los valores medios regionales de  $Q$  obtenidos para la Región de Nuevo Cuyo indican un efecto de atenuación de ondas sísmicas mayor al conocido previamente y por lo tanto refuerzan su clasificación como zona de alta peligrosidad sísmica debido a la intensa actividad tectónica que manifiesta.

**Agradecimientos:** Los datos han sido provistos por INPRES. Los autores agradecen especialmente a M. Araujo por su asistencia y a E. Del Pezzo, quien aportó valiosas sugerencias y parte de la implementación de algoritmos. Los mapas han sido realizados con

GMT (General Mapping Tools) GMT 4.0. (Wessel y Smith, 1998, 2004).

## REFERENCIAS

- Aki, K. and B. Chouet. 1975. Origin of Coda Waves: Source, attenuation and scattering effects. *J. Geophys. Res.*, 80, 23, 3322-3342.
- Aki, K. 1980. Attenuation of shear-waves in the lithosphere for frequencies from 0.05 to 25 Hz. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 21, 50-60.
- Alvarado, P.M. 1992. Atenuación sísmica en el norte de Mendoza. Trabajo final de Licenciatura en Geofísica. Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan.
- Alvarado, P.M., S. Beck, G. Zandt, M. Araujo and E. Triep. 2005. Crustal deformation in the south-central Andes backarc terranes as viewed from regional broad-band seismic waveform modelling. *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1111/j.1365-246X.2005.02759.x
- Badi, G. 1991. Relación de la sismicidad y tectónica en América del Sur entre los 22° y 32° S con la subducción de la Placa de Nazca. Práctica de la Especialidad de la carrera de Geofísica. Facultad de Cs. Astron. y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. 76 pp
- Badi, G., J. Ibáñez y N. Sabbione. 2000. Determinación de  $Q$  coda en la región centro-oeste de la Rep. Argentina con datos digitales. Actas de la XX. Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. En CD.
- Badi, G., J. Ibáñez y N. Sabbione. 2005. Atenuación de ondas de corte en la región de Nuevo Cuyo. Actas de la XXII. Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. En CD.
- Castano, J. C., M. A. Araujo, M. H. Millán, C. A. Navarro, M. V. Castano, 1999. Epicentros de los terremotos destructivos ocurridos en la República Argentina. INPRES, Secretaría de Minería e Industria. Subsecretaría de Minería. Mapa.
- Cortés, J.M., P. Vinciguerra, M. Yamín y M.M. Pasini. 1999. Tectónica cuaternaria de la región andina del Nuevo Cuyo (28°-38° LS). En: *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires. Anales 29 (24), 760-778.

- Frankel, A., A. McGarr, J. Bicknell, J. Mori, L. Seeber and E. Cranswick. 1990. Attenuation of high-frequency shear waves in the crust: Measurements from New York State, South Africa and Southern California. *Journal of Geophysical Research*, 95, 17441-17457.
- Frankel, A. and L. Wennerberg. 1987. Energy-flux model of seismic coda: separation of scattering and intrinsic attenuation. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 77, 1223-1251.
- Giardini, D., G. Grünthal, K. Shedlock and P. Zhang. 1999. The GSHAP Global Seismic Hazard Map. *Annali di Geofisica*, 42, 6, 1225-1230.
- Giroldi, L.G., 1990. Atenuación sísmica en San Juan. Trabajo final de Licenciatura en Geofísica. Facultad de Cs. Exactas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan.
- Gladwin, M.T. and F.D. Stacey. 1974. Anelastic degradation of acoustic pulses in rock. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 8, 332-336.
- Gutscher, M., Spakman, W. Bijwaard and E.R. Engdahl, 2000. Geodynamic of flat subduction: Seismicity and tomographic constraints from the Andean margin. *Tectonics*, 19, 5, 814-833.
- Haberland, C. and A. Rietbrock, 2001. Attenuation tomography in the western central Andes: a detailed insight into the structure of a magmatic arc. *Journal of Geophysical Research*, 106, B6, 11151-11167.
- Ibañez, J.M., E. del Pezzo, F. de Miguel, M. Herraiz, G. Alguacil and J. Morales. 1990. Depth-dependent seismic attenuation in the Granada zone (Southern Spain). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 5, 1232-1244.
- Ibañez, J.M., F. de Miguel, G. Alguacil, J. Morales, F. Vidal, E. Del Pezzo y A. M. Posadas. 1991. Análisis de Q coda en las Béticas Centrales con datos digitales. *Rev. de Geofísica*, 47, 59-74.
- Ibañez, J.M., E. del Pezzo, M. Martín, D. Patané, F. de Miguel, F. Vidal and J. Morales. 1993. Estimates of Coda-Q using a non-linear regression. *J. Phys. Earth.*, 41, 203-219.
- INPRES. 2006. Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Secretaría de Obras Públicas, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. <http://www.inpres.gov.ar/seismology/linkppal.htm>
- Isacks, B.L. 1988. Uplift of the Central Andean Plateau and Bending of the Bolivian Orocline. *Journal of Geophysical Research*, 93, B4, pp.3211-3231.
- Jordan, T.E., B.L. Isacks, R.W. Allmendinger, J.A. Brewer, V.A. Ramos and C.J. Ando. 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Gel. Soc. Of America Bulletin*, 94, 341-361.
- Kulhánek O. 1990. Anatomy of Seismograms. *Develop. Solid Earth Geophysics*. 18 Elsevier, 178 pp.
- Martínez-Arévalo, C., F. Bianco, J. Ibañez and E. Del Pezzo. 2003. Shallow seismic attenuation and shear-wave splitting in the short period range of Deception Island volcano (Antarctica). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2685, 1-25.
- Pujol, J., J.M. Chiu, R. Smalley Jr., M. Regnier, B. Isacks, J.L. Chatelain, J. Vlasity, J. Castano and N. Puebla. 1991. Lateral velocity variations in the andean foreland in Argentina determined with the JHD method. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81, 6, 2441-2457.
- Ramos, V.A. 1999a. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires. *Anales* 29(3), 41-96.
- Ramos, V.A. 1999b. Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. *Episodes*, 22, 3, 183-190.
- Ramos, V.A. 1999c. Evolución Tectónica de la Argentina. En: *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires. *Anales* 29 (24), 714-759.
- Sato, H. 1977. Energy propagation including scattering effects-single isotropic scattering approximation. *J. Phys. Earth*, 25, 27-41.
- Sato, H and M.C. Fehler. 1998. Seismic wave propagation and scattering in heterogeneous earth. Springer, New York, 308 pp.
- Schurr, B., G. Asch, A. Rietbrock, R. Trumbull and C. Haberland, 2003. Complex patterns of fluid and melt transport in the central Andean subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 215, 1-2, 105-119.
- Smalley, R.F. Jr. and B.L. Isacks. 1987. A high-resolution local network study of the Nazca Plate Wadati-Benioff Zone under western Argentina. *Journal of Geophysical Research*, 92, B13, 13903-13912.
- Smalley, R.F.Jr. and B.L. Isacks. 1990. Seismotectonics of Thin-and-Thick-Skinned Deformation in the Andean Foreland from Local

- Network Data: Evidence for a Seismogenic Lower Crust. *Journal of Geophysical Research*, 95, B8, 12487-12498.
- Smalley, R.F.Jr., J. Pujol, M. Regnier, J. Chiu, J. Chatelain, B. Isacks, M. Araujo and N. Puebla. 1993. Basement seismicity beneath the Andean Precordillera thin-skinned thrust belt and implications for crustal and lithospheric behaviour. *Tectonics*, 12, 1, 63-76.
- Triep, E. y C.B. de Cardinali. 1984. Mecanismos de sismos en las Sierras Pampeanas Occidentales. *Actas del Noveno Congreso Geológico Argentino*, III, 61-80.
- Wennerberg, L. 1993. Multiple-scattering interpretations of coda- $Q$  measurements. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 1, 279-290.
- Wessel, P. and W.H.F. Smith. 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, 79, 579.
- Wessel, P. and W.H.F. Smith. 2004. *The Generic Mapping Tools Technical Reference and Cookbook*, Version 4.0, pp. 132.
- Wu, H. and J.M. Lees. 1996. Attenuation structure of Coso geothermal area, California, from wave pulse widths. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 5, 1574-1590.
- Zeng, Y. 1991. Compact solutions for multiple scattered wave energy in time domain. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81, 3, 1022-1029.





**NOTA TECNICA****AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE MEMORIA EN LOS  
MAGNETOMETROS DE PRECESION PROTONICA**

*Ricardo Ezequiel García<sup>1</sup>, Julio César Gianibelli<sup>2</sup>, José Hernán Solans<sup>1</sup>  
y Nicolás Quaglino<sup>2</sup>.*

<sup>1</sup>Departamento de Electrónica de la Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP.

<sup>2</sup>Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía de la Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP.  
regarcia@fcaglp.unlp.edu.ar - geofisicogianibelli@yahoo.com.ar - hsolans@fcaglp.unlp.edu.ar

**RESUMEN**

La utilización de Magnetómetros de Precesión Protónica en Estaciones Magnéticas Semipermanentes y Observatorios Magnéticos Permanentes es de utilidad tanto para el conocimiento de las variaciones diurnas de la Intensidad Total del Campo Magnético Terrestre así como en la determinación de los valores absolutos de otros elementos geomagnéticos registrados, tales como la Componente Vertical, Componente Horizontal, Declinación e Inclinación. La ampliación de memoria en los magnetómetros de precesión protónica permite registros con una densidad mayor de valores de muestreo, por ejemplo cada 1 minuto o menor, durante intervalos de más de un mes en forma ininterrumpida.

El presente trabajo presenta los resultados de las ampliaciones realizadas a los magnetómetros Geometrics G856 y sus correspondientes registros digitales de alta resolución realizados en el Observatorio Magnético de Las Acacias (LAS, Lat.: -35°.0; Long.: 302°.3). Se comparan los resultados con los Observatorios de Trelew (TRW, Lat.: -43°.3; Long.: 294°.7) y Vassouras, en Brasil (VSS, Lat.: -22°.4; Long.: 316°.65). Se presentan asimismo los diagramas en bloque del sistema y su utilidad como estación semipermanente de registro digital. Los resultados luego de 2 años de registro muestran que el sistema utilizado en Las Acacias es apropiado para conocer en detalle las variaciones temporales y comparar la evolución del foco de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur.

**Palabras clave:** geomagnetismo-magnetómetros de precesión protónica-observatorios magnéticos-memoria SIMM-adquisidor digital de datos.

**ABSTRACT**

The use of Protonic Precession Magnetometers at Permanent Magnetic Observatories and Semipermanent Magnetic Stations is useful in the knowledge of the diurnal variations of the Earth's Magnetic Field Total Intensity, as well as in the determination of others geomagnetic element's absolute values, such as Horizontal Component, Vertical Component, Declination and Inclination. A memory enlargement in these magnetometers allows to obtain records with a greater density of sample values, for example, each 1 minute or less than 1 minute, in an uninterrupted manner over time intervals greater than 1 month.

This work presents the obtained results by means of the memory enlargement in the Geometrics G856 Magnetometers and their corresponding high resolution digital records in Las Acacias Magnetic Observatory (LAS, Lat.: -35°.0; Long.: 302°.3). The results are compared with the digital records of the Trelew Magnetic Observatory (TRW, Lat.: -43°.3; Long.: 294°.7) and Vassouras Magnetic Observatory, in Brasil, (VSS, Lat.: -22°.4; Long.: 316°.65). Also we present the block diagrams of the implemented system and their usefulness as semipermanent station of digital recording. After 2 years of recording, the obtained results shows that the system used in Las Acacias is appropriate to knowledge with detail the temporal variations and to compare the evolution of the center of the South Atlantic Magnetic Anomaly.

**Keywords:** geomagnetism-protonic precession magnetometers-magnetic observatories-SIMM memories-digital data adquisition.

## INTRODUCCION

En el Observatorio Magnético de "Las Acacias" (35°.0; 302°.3) a cargo del Departamento de Geomagnetismo de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata, como parte del instrumental, se utilizan magnetómetros de precesión protónica marca Geometrics modelos G856. En forma original dichos instrumentos presentan una memoria de registro de 32 kilobytes la cual se torna insuficiente para bajos periodos de muestreo. Además estos instrumentos poseen una comunicación serie en baja velocidad para la descarga de datos a una computadora, demorándose alrededor de 40 minutos para la descarga total de dicha memoria, con el consecuente problema de pérdida de adquisición durante ese lapso. La alimentación original de los mencionados instrumentos es con 8 pilas alcalinas tipo D las cuales con bajo periodos de muestreo se agotan con facilidad provocando que el sistema se torne obsoleto y antieconómico. Con la finalidad de solucionar los problemas mencionados se decidió acoplar un nuevo sistema de registro que posibilite aumentar la capacidad de memoria y lograr una bajada rápida de datos.

## DESARROLLO

Para el desarrollo de la unidad de registro se decidió la utilización de memorias dinámicas tipo SIMM (Single In-line Memory Modules)

de 4 megabytes, las cuales cumplen con las necesidades planteadas de velocidad en su lectura, además de poseerlas por el descarte de ellas en las PC. Con dicha capacidad de memoria el sistema, con una muestra por minuto, pasaría a tener una capacidad de registro mayor al año, valor más que suficiente.

En una primer etapa se estudió la electrónica del magnetómetro, determinándose que la forma óptima de tomar los datos para las memorias era conectándose a los buses de datos y de control del mismo, estudiándose las señales que en ellos se desarrollaban (anchos de pulsos, etc.), señales que se pueden apreciar en el diagrama de tiempo que se muestra en la Figura 1.

Cada valor de campo adquirido es procesado por el magnetómetro generando 5 dígitos más el punto decimal, por ejemplo 23321,4, los cuales son grabados y enviados al bus con formato BCD (Código Binario Decimal). En el diagrama de tiempo de la Figura 1 se observa una línea de datos (DATA N) de las cuatros que se necesitan para completar un número en formato BCD, la línea DAV (DATA VALID) indica que cuando su estado es bajo, el dato de la línea anterior es válido. La línea EOD (End Off Data) se utiliza para indicar que se ha transmitido un dato, es decir 6 nibles (unidad de información de 4 bits, que tiene la longitud de medio byte). La última señal DAC (Dato Aceptado), debe ser recibida por el magnetómetro o lo que equivalente a ser enviada por el sistema adquiredor de

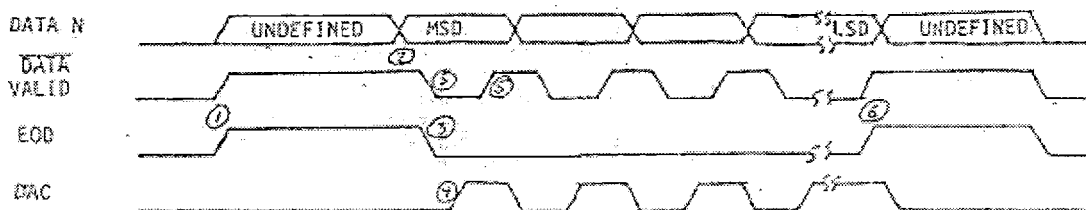


Figura 1. Diagrama de tiempos de las señales de los buses de datos y control utilizadas por el sistema adquiredor.

datos desarrollado para este caso, para que el magnetómetro pueda enviar el próximo bit, de lo contrario la transmisión se interrumpe.

Luego se procedió al diseño de la lógica de control de las memorias SIMM, construyéndose un prototipo sobre el cual se fueron realizando los distintos ajustes de retardos y anchos de pulso tan críticos en estas memorias para lograr el refresco, escritura y lectura de las mismas. La implementación de dicha lógica se realizó utilizando compuertas de la familia HCT debido a los requerimientos de alta velocidad y mínimo ancho de pulso. Luego vía el puerto paralelo de la PC junto con un programa desarrollado en C, se simularon los buses del magnetómetro, comenzando con las primeras pruebas del sistema. Se realizaron durante días escritura y comprobación de datos, trabajando a distintas velocidades de acceso, para luego de comprobar su funcionamiento optimo proceder a conectarlo al magnetómetro.

Para la administración del sistema se desarrolló un programa en C, el cual posibilita la bajada de datos y el borrado de la memoria, generando los archivos diarios para ser procesados en una planilla de cálculo. A continuación mostramos en la Figura 2 como se observa la imagen del menú principal de dicho programa en C.

Con todo el conjunto se comenzó con la adquisición de datos en forma experimental, realizándose contrastes entre los datos de la memoria propia del magnetómetro y los datos

registrados en el banco, esto posibilito realizar ajustes en la interfase obteniéndose tras diferentes pruebas resultados satisfactorios.

En este punto del desarrollo apareció un problema importante a resolver, si bien el banco de memoria copiaba satisfactoriamente las adquisiciones, una vez que el magnetómetro llegaba a su capacidad máxima de memoria interna, deshabilitaba sus buses internos, dejando al sistema acoplado sin información. Para resolver este problema se hacia necesario modificar el programa interno del magnetómetro. Para ello se procedió a leer la memoria ROM de programa y realizar el desensamblado de la información. Esto ultimo se logro estudiando el microprocesador del equipo y realizando un programa en C que realice dicho desensamblado. Realizados los cambios necesarios al programa interno se procedió a grabar una nueva memoria ROM e instalarla en el magnetómetro obteniéndose tras distintas pruebas un programa que dejaba activos los buses del magnetómetro independientemente de la capacidad de su memoria interna. El sistema completo puede observarse en el esquema de la Figura 3.

Todo el sistema fue instalado en el Observatorio Geomagnético Las Acacias alimentado por una batería de 12V 70AH junto con un cargador de baterías, realizándose registros cada un minuto. En la Figura 4 se muestra el sistema instalado. La batería permite una autonomia de funcionamiento del sistema ante eventuales cortes prolongados y/o fallas en el suministro de la red eléctrica del orden de 7 días para adquisiciones cada 1 minuto.

Con la finalidad de recabar datos y controlar el buen funcionamiento, se asistió periódicamente a dicho observatorio, observándose luego de analizar los datos que aleatoriamente algunos días aparecían con ruido, el cual no se tenia en claro si era propio del sistema o perturbación externa. Para su determinación se procedió a instalar un mag-

CONTROL DE SISTEMA DE REGISTRO DE 360K DATOS

F.C.A.G.L.P.

OPRIMA D PARA DESCARGAR DATOS  
OPRIMA P PARA PROCESAR DATOS  
OPRIMA B PARA BORRAR DATOS Y COMENZAR REGISTRO  
OPRIMA S PARA SALIR

**Figura 2.** Imagen del menú principal del programa de gestión.

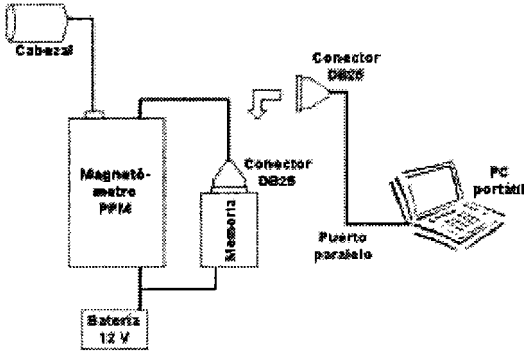


Figura 3. diagrama de bloque del sistema de adquisición.

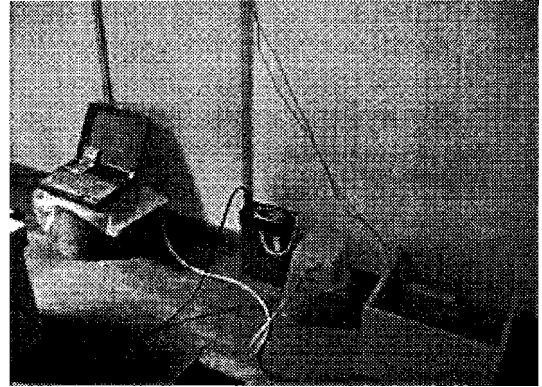


Figura 4. Sistema instalado en Las Acacias junto con la notebook conectada para la lectura de los datos adquiridos.

netómetro a una distancia de 15 m para luego contrastar los resultados obtenidos.

El resultado fue observar que el problema era propio del sistema ya que el magnetómetro instalado no presentaba dichos ruidos. Tras distintas pruebas se determinó que el causante de dicho ruido era el cargador de baterías el cual era del tipo on - off y no de carga flotante. Se procedió a la construcción de un nuevo cargador de baterías mas acorde a las necesidades luego de lo cual fue instalado a distancia del sistema de adquisición, lográndose solucionar los problemas antedichos.

## RESULTADOS

Actualmente se esta asistiendo en forma mensual al observatorio, independientemente que el sistema permite hasta mas de un año de registro cada un minuto. Dichos datos pasan a formar parte de la base de datos del Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, son procesados y acomodados en archivos mensuales y archivos diarios de la Intensidad Total del Campo Geomagnético cada 1 minuto. En la Figura 5 se muestra un magnetograma mensual de dichos datos. La información es recogida en menos de 5 minutos, siendo prácticamente nula la falta de registro debida a la lectura de la memoria. Puede observarse en este magnetograma per-

turbaciones magnéticas producidas por el efecto de una eyección de masa coronal solar así como también las variaciones diurnas regulares, que tienen las mismas características que las registradas en los Observatorios Magnéticos de Trelew (TRW, Lat.: -43°.3; Long.: 294°.7), en la Provincia de Chubut, Argentina, y de Vassouras (VSS, Lat.: -22°.4; Long.: 316°.65), en Brasil, como se muestra en las Figuras 6 y 7 respectivamente, confirmando el excelente funcionamiento del sistema.

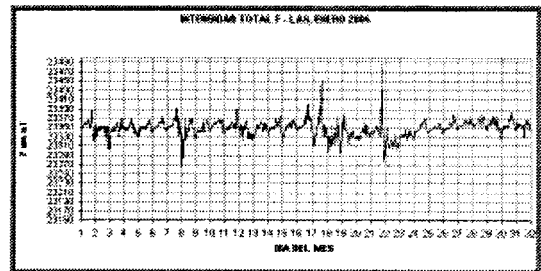
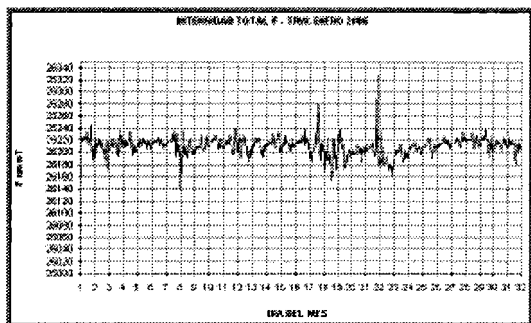
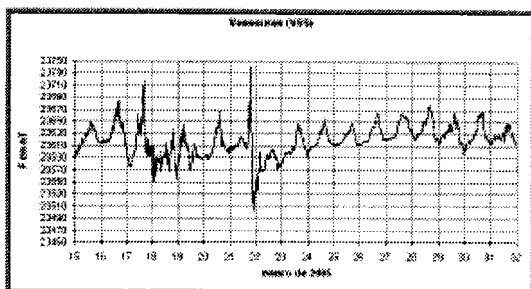


Figura 5. Magnetograma mensual de la Intensidad Total del Campo Geomagnético en Las Acacias, correspondiente al mes de enero del año 2005, donde se muestran los datos adquiridos con el sistema implementado. En el día 21 de enero se aprecia el efecto sobre superficie de una eyección de masa coronal solar.



**Figura 6.** Magnetograma mensual de la Intensidad Total del Campo Geomagnético en Trelew, correspondiente al mes de enero del año 2005, donde se muestran los datos adquiridos con su sistema digital con la misma resolución temporal. Se puede ver también en este registro de Trelew en el día 21 de enero el efecto sobre superficie de la misma eyección de masa coronal solar citada anteriormente.



**Figura 7.** Magnetograma de la Intensidad Total del Campo Geomagnético en el Observatorio Magnético de Vassouras, correspondiente a la segunda mitad del mes de enero del año 2005, con la misma resolución temporal de datos. Se puede ver también en este registro en el día 21 de enero el efecto sobre superficie de la eyección de masa coronal antes citada.

## CONCLUSIONES

El sistema implementado cumple con las metas propuestas, alta capacidad de registro (mas de un año con adquisiciones cada minuto), alta velocidad de lectura (aproximadamente 5 minutos para el total de la memoria) además de un uso sencillo y la posibilidad de ser instalado en estaciones semipermanentes. Esta información registrada en Las Acacias contribuye al estudio de la evolución de la Anomalia del Atlántico Sur, cuyo mínimo se sitúa en la región del Río de La Plata. Cabe reflexionar que, con un equipo de tecnología ya superada, es posible recuperarlo, reacondicionarlo electrónicamente y adaptarle la capacidad de registro digital a las necesidades científicas y tecnológicas actuales, con muy bajo costo y con un mantenimiento mínimo.

## REFERENCIAS

- EG&G Geometrics. 1984. G-856 Memory-Mag Proton Precession Magnetometer Schematic & Drawing Set. 1-65.
- EG&G Geometrics. 1984. Proton Precession Magnetometer Model GS-856 Opeation's Manual. 1-63.
- National Semiconductor Corporation. 1984. Logic Databook. I, 4-113.
- Peacock C. 1998. Página de internet: "Interfacing parallel ports", <http://www.beyondlogic.org/spp/parallel.pdf>. 1-17.
- Primdahl F. 2000. Magnetic Sensors and Magnetometers. Pavel Ripka Editor. 267-304.
- RCA Corporation. 1977. User Manual for the CDP1802 COSMAC Microprocessor. 3-117.
- Texas Instruments. 1991. MOS Memory Data Book Commercial and Military Specifications. 1-1 y 14-32.



**NOTA TECNICA**  
**INFRAESTRUCTURA Y MONUMENTACION DE LA ESTACION  
PERMANENTE GPS EN EL CERRO ACONCAGUA**

**Mauro H. Blanco<sup>1</sup>, Leonardo D. Euillades<sup>1</sup>, Gabriel A. Cabrera<sup>1,2</sup>,  
Luis E. Lenzano<sup>2</sup> y Jorge H. Barón<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup> Instituto CEDIAC. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

<sup>2</sup> IANIGLA. Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Mendoza.

<sup>2</sup> IGG. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

mblanco@cediac.uncu.edu.ar, leuillades@cediac.uncu.edu.ar, gcabrera@cediac.uncu.edu.ar,  
rh@cpsarg.com, llenzano@lab.cricyt.edu.ar, jbaron@cediac.uncu.edu.ar.

**RESUMEN**

En el siguiente trabajo se presentan las tareas realizadas en el diseño y construcción de la infraestructura necesaria y la monumentación para la instalación de una estación permanente GPS (Global Positioning System), denominada ACON, y una estación meteorológica en la cumbre del cerro Aconcagua (6962 m), Provincia de Mendoza.

**Palabras claves:** Aconcagua-GPS-metodología-monumentación-SIGMA

**ABSTRACT**

The different tasks for the design, construction and monumentation of a GPS (Global Positioning System) Permanent Station, denominated ACON, and a Weather Station in the summit of Mount Aconcagua (6962 mts) in Mendoza Province are presented in the following work.

**Keywords:** Aconcagua-GPS-methodology-monumentation-SIGMA

**INTRODUCCION**

La utilización de Estaciones Permanentes (EP) GPS para el análisis de los ambientes naturales, los estudios de la alta, media y baja atmósfera y los Marcos de Referencia Globales, han dado un salto cualitativo en los últimos años. Su avance ha permitido generar conocimientos superlativos en las más diversas disciplinas, como la Geodesia Satelital, la Glaciología, la Ionosfera, la Geodinámica y la Geología Estructural entre otras. La instalación de una EP GPS y una estación meteorológica (EM) en el Cerro Aconcagua es un paso fundamental correspondiente al Proyecto SIGMA (Sistema de Investigaciones GPS

Mauna Aconcagua). Esto permitirá poner en ejecución los siguientes objetivos primordiales: Contribuir a la determinación de un Marco de Referencia Regional basado en el Marco SIRGAS y por consiguiente en ITRF; y desarrollar una metodología para modelar la distribución global de densidad electrónica como una función dependiente de cuatro coordenadas (latitud, longitud, altura y tiempo), a partir de la ingestión de datos multitécnica en el modelo ionosférico climatológico NeQuick.

El presente trabajo aborda el problema del diseño, traslado e instalación de las estaciones a la cumbre del Cerro Aconcagua (6962 metros de altura) y las problemáticas vinculadas

con las características tanto geográficas como climatológicas del Cerro.

## DESCRIPCION DEL SISTEMA

Para realizar la instalación de la Estación Permanente (EP) GPS y la Estación Meteorológica (EM) se llevaron a cabo una serie de tareas vinculadas al diseño, construcción, verificación, ensayo de materiales y control de operación de los equipos. A continuación se detallan algunas de estas tareas. Se realizaron cálculos de potencia para determinar el número de baterías y paneles solares necesarios para alimentar al receptor GPS y al equipo de comunicaciones. Dos consideraciones definieron el tipo de baterías a utilizar, el peso de cada módulo y el tiempo de operación de los equipos sin recarga.

Todos los componentes del sistema fueron almacenados en la que se denominó caja de dispositivos. Esta se diseñó teniendo en cuenta las siguientes prioridades: capacidad interna, menor peso y diseño en módulos; buena aislación térmica; y sencillez en el montaje, instalación y anclaje. El interior de la caja presenta un diseño por capas. En la capa inferior se colocaron las baterías y los módulos de la estación meteorológica. En la capa superior se colocó la Placa Principal de Dispositivos (PPD). Esta contiene el receptor GPS, equipo de comunicaciones, borneras de

conexiones y reguladores de voltaje y carga de los paneles solares.

Se diseñaron dos tipos de dispositivo de anclaje para las antenas (Fig. 1). La antena GPS se monta sobre una placa circular cuya función es la de nivelar y facilitar la orientación de la antena hacia el Norte. La antena del equipo de comunicaciones se acopló sobre un soporte en forma de "C", esta forma permite el anclaje a la roca y la posibilidad de conexión del cable de señal con la antena.

Para las comunicaciones se estableció un enlace punto a punto entre la cumbre del Cerro Aconcagua y la localidad de Horcones (Fig. 2). Los equipos que se utilizaron son dos radios que pueden transferir datos a una velocidad de 153 Kbps por medio de su interface Ethernet 10BaseT.

Se utilizaron dos tipos de antena, una antena omnidireccional en la cumbre que permite una rápida instalación, y una antena direccional, que posee una ganancia mayor, para ser instalada en Horcones.

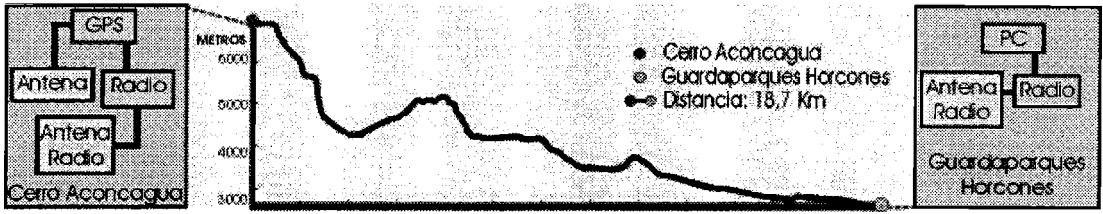
## PRUEBAS REALIZADAS Y CAPACITACION AL PERSONAL

Se realizaron dos tipos de pruebas, una tendiente a verificar el comportamiento de los materiales a bajas temperaturas y otra general tendiente a comprobar la operatividad de las estaciones. Se sometieron los materiales



Figura 1. Soporte de antena de comunicaciones (Izquierda), soporte antena GPS (Derecha). Fotografía de los soportes en la cumbre del Cerro Aconcagua (Central).





**Figura 2.** Esquema de equipamiento en los puntos de enlace. Perfil de alturas entre ambos puntos y la distancia total existente.

utilizados (cables de electricidad, cables de señales, conectores, etc) a pruebas de baja temperatura (-30 °C).

Se realizaron dos tipos de prueba de operación, una de comunicaciones para probar el alcance de los equipos. Para ello se colocaron los equipos de comunicaciones a una distancia mayor a 13 km y se procedió a la descarga de datos del receptor GPS para verificar el funcionamiento de los mismos. La otra prueba se realizó en una cámara de frío a 13 °C bajo cero, que permitió comprobar la capacidad de respuesta de las baterías, la operación del equipo GPS y evaluar los aspectos térmicos de la caja de dispositivos.

Para finalizar se capacitó al equipo de cumbre para el traslado, instalación y operación de los módulos de la estación. Las prácticas se realizaron en la ciudad de Mendoza y Plaza de Mulass (4300 msnm). Esto permitió redefinir los tiempos necesarios para la instalación y reorganizar el esquema de prioridades para que pueda ser implementado por los escaladores.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado los avances alcanzados para la instalación de una Estación Permanente GPS y una estación meteorológica en la cima del cerro Aconcagua. Se establecieron las características y las condiciones adversas presentes en la zona, tanto para el traslado, instalación y permanencia

de la estación en el lugar. En función de estas condiciones y de las características que deben cumplir ambas estaciones se realizaron una serie de tareas vinculadas a la solución de los desafíos que se presentaron. Estas tareas se pueden resumir en los siguientes puntos:

Se diseñó y construyó la Caja de Dispositivos, lo que permitió proteger los equipos, simplificar las conexiones y simplificar el traslado a la cumbre. Se diseñaron mejoras para aumentar la resistencia de los conectores a las bajas temperaturas.

Se diseñó un sistema de Puesta a Tierra mejorando las condiciones naturales de la cumbre. Se modificó el diseño original de la Estación Meteorológica para que soporte las condiciones ambientales.

Se realizaron estudios de disponibilidad de los componentes, que permitieron conocer las fallas y sus posibles causas. Esto permitió realizar algunas modificaciones y plantear las mejoras futuras a realizar.



**NOTA TECNICA**  
**GEORREFERENCIACION DE PUNTOS ALTIMETRICOS IGM PARA LA**  
**PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO.**

*Lucrecia Galván, Claudia Infante e Iber Goitea.*

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero.  
Av. Belgrano (S) 1912. lgalvan@unse.edu.ar

**RESUMEN**

Los avances importantes experimentados desde hace un par de décadas por la tecnología satelital y la informática hicieron posible que estudios tales como el modelado del geoide y la materialización de un sistema de referencia vertical único para el continente americano tengan la expectativa de concreción en un mediano plazo.

El uso sostenido del GPS para diferentes aplicaciones demanda la necesidad de disponer de modelos geoidales a fin de lograr un mejor aprovechamiento de los mismos. Las alturas con GPS si bien se logran con precisiones milimétricas en el presente, su aplicación es limitada cuando se requiere la materialización de superficies equipotenciales. Los desniveles que provienen de una nivelación clásica y los obtenidos con técnicas GPS no son idénticos, ni en sus consideraciones conceptuales ni numéricas.

Asimismo los lineamientos impuestos por los organismos internacionales de definir y materializar, en particular, un sistema de referencia vertical único para el continente, requiere, entre otras, la ejecución de algunas tareas tales como el cálculo de las cotas geopotenciales de las redes de nivelación de cada país, como así también la instalación de mareógrafos a lo largo de la costa continental con la finalidad de detectar y corregir movimientos en la corteza terrestre y las variaciones en el nivel medio de los océanos. Estas actividades están siendo desarrolladas por el Grupo de Trabajo III del Proyecto SIRGAS. En nuestro país diversos grupos de investigadores provenientes de diferentes universidades (La Plata, Rosario, entre otras) junto al IGM (Instituto Geográfico Militar) han abordado científicamente esta problemática. La suscripción de convenios internacionales permite la cooperación científica y la vinculación de las redes de nivelación nacional a las redes de nivelación de los países limítrofes, entre otros objetivos.

En todos los casos se impone la necesidad de la recopilación, revisión, homogeneización, georreferenciación y digitalización de la información altimétrica del país en general y en particular de las provincias que lo integran. En ese sentido se presenta en este trabajo la actividad desarrollada para georreferenciar los puntos altimétricos del IGM para la provincia de Santiago del Estero. Este grupo de trabajo ha recopilado la información cartográfica del IGM del territorio provincial y se encuentra recopilando la información altimétrica. Asimismo se están georreferenciando los puntos con la finalidad de conformar un banco digital y su representación en un mapa base de la provincia. Se muestran los resultados obtenidos hasta el presente, para la provincia. Se exponen las particularidades más sobresalientes de la información obtenida, como así también se establecen las expectativas futuras para la continuidad del trabajo y las posibles soluciones a la problemática planteada. Se espera que la concreción de los objetivos del proyecto sea una contribución a los estudios científicos del tema ya iniciados en el país.

**Palabras claves:** alturas-redes de nivelación-georreferenciación-GPS-geoide.

**ABSTRACT**

The important advances experimented by GPS and technology in the last two decades have allowed studies like geoid model and a unique vertical reference system for the continent which can be done in a short period of time.

The usage of GPS for different applications brings the need of getting geoid models to have better results. Heights are very precisely when using GPS, however its application is limited when materialization of surfaces is required. Different levels obtained using the classic measurements are not identical to the ones obtained using GPS, they are different on their conceptual and numerical considerations.

The regulations established by the international organizations to define and materialize a system of vertical reference, which will be unique for the continent, would require different tasks like the calculation of geopotential component of each country's leveling network and the installation of tide gauge tide along the continental coast to detect and correct the movements of the Earth's crust and the variations of the ocean's medium levels. The relationship among the countries leveling network is another issue connected with our topic ( or objective).

These tasks are being developed by Project SIRGAS Work Group III. In our country, different groups of investigators from different universities together with the IGM (Military Geographic Institute) have presented this issue.

International agreements allow scientific cooperation and the relationship of national networks with neighboring countries.

All this requires the need of reviewing, revising, homogenizing, georeferencing and digitalizing the information (of heights) of the country in general and in particular of the provinces (states) that exist in it. We would like to present this project and explain the methodology used for the georeferencing of benchmarks of IGM for Santiago del Estero. We have collected the cartographic information of IGM of the province's terrain and we are collecting the leveling information. We are also taking notes of the geographical points to be able to form a digital bank and its representation on a province's map. The results obtained to the present are showed to the province. We have highlighted the most important information, we have established the future expectations to continue with this project and we have given the possible solutions to the problem. We hope to have concrete results and that the project could be a contribution to the scientific studies already existing in our country.

**Keywords:** heights-leveling networks-geocentric coordinates-GPS-geoid.

## INTRODUCCION

La definición de un sistema vertical único de referencia y el modelado del geode son tareas que se vienen desarrollando por diferentes instituciones científicas y educativas a nivel nacional e internacional (Moirano *et al.*, 2002; Pacino *et al.*, 2000; Perdomo *et al.*, 2002; Zhan-ji and Yong-qi, 1999, Del Cogliano y Perdomo, 2001; Lauría *et al.*, 2003). A fin de contribuir con la continuidad de los estudios inherentes a esta problemática es que se considera prioritaria la revisión de las redes altimétricas existentes (Galván *et al.*, 2005). En nuestro país el Instituto Geográfico Militar es el organismo oficial encargado de la medición, materialización y conservación de las mismas (IGM, 1979; IGM, 1983). La red altimétrica de I Orden que cubre la totalidad del territorio nacional está completamente medida. Cabe

destacar los años de esfuerzo por parte del IGM para la concreción de estos trabajos. La red altimétrica de I Orden dispone de información planimétrica pero con exactitudes variables. Las tareas que involucran la identificación y ubicación de las marcas son difíciles de ejecutar sin esa información. El grupo de trabajo de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero en cooperación con el Instituto Geográfico Militar se encuentra elaborando un banco de datos digital altimétricos para la provincia. El objetivo final de este proyecto es la recopilación, revisión, evaluación del estado de conservación y la georreferenciación de los puntos fijos de la Red de I Orden para la provincia y su vinculación con la Red Geodésica Nacional. A fin de transitar hacia ese objetivo es que se ha elaborado una metodología para el reconocimiento

de los puntos y su consecuente georreferenciación en el ámbito del territorio provincial. En este trabajo se presenta la Red de I Orden para la provincia. Se analizan los resultados obtenidos hasta el presente y se evalúa la prosecución de las tareas.

**DESCRIPCION Y RESULTADOS**

La Red Altimétrica de I Orden Nacional está referida al nivel medio del mar. Está constituida por polígonos cerrados que cubren el territorio de la República Argentina y por polígonos periféricos sobre el litoral marítimo y límites internacionales. Estos polígonos son líneas de nivelación de alta precisión que tienen como puntos de inicio y cierre a los nodales. Estos puntos altimétricos de primera categoría (nodales) se encuentran materializados en las plazas de los pueblos y ciudades. Las redes están desarrolladas a lo largo de rutas y caminos. La condición de cierre impuesta por el IGM para estas líneas es de  $3 \text{ mm } \sqrt{l} [\text{km}]$ . Son 87529 km de nivelación de alta precisión y precisión y 72805 km de nivelación topográfica (IGM, 1979; IGM, 1983).

La provincia de Santiago del Estero se encuentra ubicada entre los extremos latitudinales del Norte: paralelo de  $25^{\circ} 39' \text{ S}$ , entre los meridianos de  $61^{\circ} 43' \text{ O}$  y  $63^{\circ} 25' \text{ O}$ ; al Sur: Punto al E de la Laguna de los Patos, Lat  $30^{\circ} 28' \text{ S}$ ; Long  $62^{\circ} 08' \text{ O}$ . Entre los extremos longitudinales del Este: Meridiano de  $61^{\circ} 43' \text{ O}$ , entre los paralelos de  $25^{\circ} 39' \text{ S}$  y  $28^{\circ} 00' \text{ S}$  y al Oeste: Punto al NO, de la localidad de San Pedro. Lat  $27^{\circ} 55' \text{ S}$ ; Long  $65^{\circ} 12' \text{ O}$ . Tiene una superficie de  $136351 \text{ km}^2$ . Tabla 1.

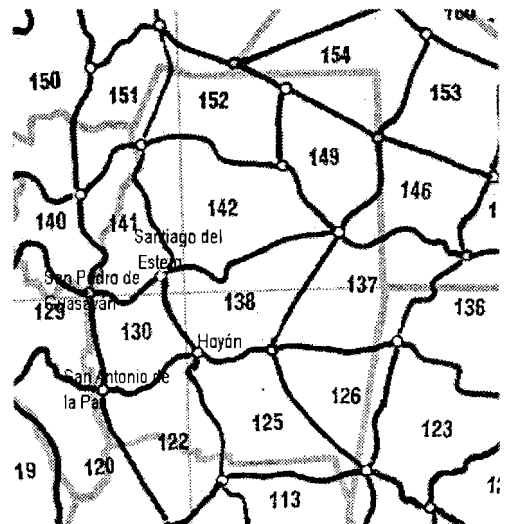
La provincia dispone de 9 Nodales de la Red Altimétrica de I Orden, tal como se muestra en la Figura 1. Los mismos se encuentran en las localidades de Monte Quemado, Quimilí, Santiago del Estero, Campo Gallo, Santos Lugares, Rapelli, San Pedro de Guasayán, Hoyón y Colonia Dora. Los

**Tabla 1.** Posición Geográfica y Superficie de Santiago del Estero.

Extremos Latitudinales y Longitudinales Santiago del Estero		Superficie de la Provincia
$\phi$	$\lambda$	
$25^{\circ} 39' \text{ S}$	$61^{\circ} 43' \text{ O}$	$136351 \text{ Km}^2$
$30^{\circ} 28' \text{ S}$	$65^{\circ} 12' \text{ O}$	

polígonos que se desarrollan en la provincia son el 122, 125, 126, 130, 138, 137, 141, 142, 149, y 152, partes del 151 y 154. Los itinerarios de los polígonos están trazados a lo largo de las rutas de mayor importancia de la provincia tales como la Ruta Nacional N9, la Ruta Nacional N34, la Ruta Nacional N16, entre otras.

La cantidad de puntos fijos (PF) de nivelación entre nodales es variable. Como ejemplo se muestra en particular el polígono 130. Los nodales de este polígono son el 171, 178, 183 y 184, pertenecientes a las localidades de San Antonio de la Paz, Hoyón, Santiago del Estero y San Pedro de Guasayán. Los puntos fijos altimétricos para la línea N(181) son 61, para la línea N(182) son 38, para la línea N(183) son 42 y para la línea N(189) son 36. Tabla 2.



**Figura 1.** Red de Nivelación de Alta Precisión de Santiago del Estero.

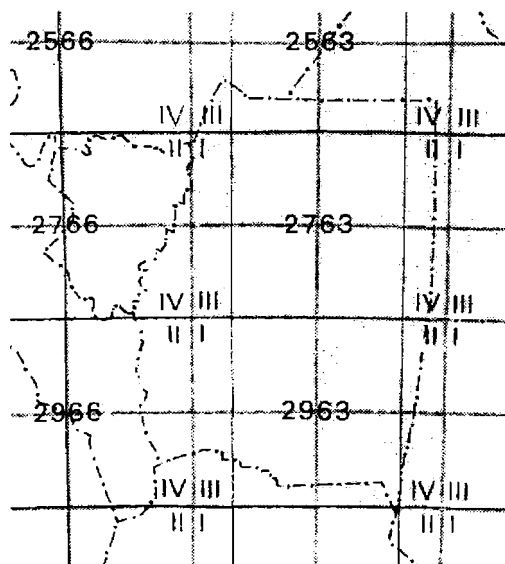
El total de puntos fijos para este polígono es de 177. Para la provincia se estima alrededor de 797 puntos fijos altimétricos.

En relación a la cartografía oficial para la provincia la misma dispone de cartas topográficas a escalas 1:500.000 y 1:250.000. Las cartas 2763 y 2963 a escala 1:500.000 cubren casi totalmente la superficie de la provincia. El resto se distribuye en partes de las cartas 2563, 2766 y 2966. La cartografía a escala 1:250.000 se distribuye principalmente en las cartas 2763-I, 2763-II, 2763-III, 2763-IV y 2963-I, 2963-II, 2963-III, 2963-IV. Las cartas 2563-III y 2563-IV cubren al norte de la provincia, la 2766-II y 2766-IV al NO de la provincia y las cartas 2966-II y 2966-IV hacia el SO. La cartografía a escala 1:250000 proporciona información altimétrica, en forma de curvas de nivel cada 25 m y puntos altimétricos con alturas expresadas al decímetro. Figura 2.

Se ha abordado el estudio de algunas líneas de nivelación en particular y se han extraído de las cartas 1:250.000 las coordenadas geodésicas Campo Inchauspe (CI) y las coordenadas geodésicas de los puntos altimétricos, esto es la latitud y longitud, elipsoide de referencia, Campo Inchauspe. Se han transformado esas coordenadas a geodésicas: latitud y longitud, elipsoide de referencia WGS'84. Esta última transformación se hace necesaria para que los puntos queden expresados en el sistema en el que los receptores GPS proporcionan sus coordenadas. Asimismo se hace necesaria la futura vinculación a la Red Geodésica Nacional expresada en este sistema.

**Tabla 2.** Nomenclatura de Nodales y Líneas de Nivelación para el Polígono 130.

Polígono	Nodales	Líneas de nivelación	Puntos fijos
130	171-178	N(181)	61
	178-184	N(182)	38
	184-183	N(183)	42
	183-171	N(189)	36
TOTAL			177



**Figura 2.** Cartografía Oficial para la provincia.

Un ejemplo de la aplicación implementada se observa en la Tabla 3 donde se muestran 8 puntos fijos de la línea 182 entre los nodales 184 a 172. Se muestran las coordenadas geodésicas Campo Inchauspe (CI) y las coordenadas geodésicas (WGS'84).

Las tareas de campaña ejecutadas hasta el presente han demandado la necesidad de disponer de un receptor GPS de código y una cámara digital fotográfica, a fin de georreferenciar los puntos fijos y documentar fotográficamente la existencia o el estado de conservación de los mismos.

En relación a la documentación técnica, la misma consiste de las coordenadas calculadas de acuerdo a la Tabla 3, los gráficos de las líneas de nivelación, itinerarios y las monografías de los puntos (IGM).

La información que proporcionan los gráficos de los itinerarios de nivelación, consiste en la orientación del itinerario, la denominación de los puntos fijos (numeración correlativa arábiga), el kilometraje desde el nodal de arranque hasta nodal destino. Asimismo muestra la denominación de las localidades de importancia por las que atraviesa el

**Tabla 3.** Transformación de coordenadas CI a WGS'84

Puntos Fijos IGM	Designación	Coordenadas Carta (CI)		Coordenadas WGS 84	
		Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	Santiago del Estero	-27° 47' 4",65	-64° 15' 14",45	-27° 47' 2",45	-64° 15' 17",16
2	Santa María	-27° 57' 45",61	-64° 12' 48",75	-27° 57' 43",42	-64° 12' 51",46
3	Est. Simbol	-28° 5' 43",64	-64° 12' 41",53	-28° 5' 41",46	-64° 12' 44",24
4	Ap. Km 120	-28° 9' 17",91	-64° 11' 55",38	-28° 9' 15",73	-64° 11' 58",09
5	Ap. Km 112	-28° 13' 46",69	-64° 11' 4",61	-28° 13' 44",52	-64° 11' 7",32
6	Est. Loreto	-28° 33' 7",33	-64° 10' 27",69	-28° 33' 5",18	-64° 10' 30",41
7	San Gregorio	-28° 23' 40",08	-64° 5' 27",69	-28° 23' 37",92	-64° 5' 30",40
8	Hoyón	-28° 24' 43",16	-63° 57' 20",10	-28° 24' 41",00	-63° 57' 22",79

mismo, la existencia de caminos, red ferroviaria, edificios que se destacan por su importancia edilicia y de servicio para la educación, salud, etc., tal como el caso de hospitales y escuelas.

En particular se ha relevado con esta metodología gran parte de la línea de nivelación 182. Son 101 km de nivelación. Inicialmente la red ha materializado 38 puntos fijos. En general se advierte el deterioro y en algunos puntos la inexistencia de los mismos. Se observan trabajos de limpieza y reconstrucción de las zonas de ruta. Por otro lado muchos puntos se encuentran sobre trazas antiguas de caminos. Asimismo se debe destacar que una gran cantidad de puntos se encuentran en las zonas cercanas a las vías del ferrocarril, que como consecuencia del estado de abandono y el total deterioro que se puede observar de las mismas, incluso el desmoronamiento de los taludes, hacen presumir la escasa posibilidad de su ubicación. La construcción de acequias es otro factor observado en este itinerario.

Otro punto importante para destacar son las características constructivas de los nodales y de los puntos fijos. Los nodales miden 1.20 m de lado. En general los nodales de la provincia se encuentran en buen estado de conservación. Los puntos fijos altimétricos miden 0.20 m de lado.

### CONCLUSIONES

Las tareas de georreferenciación de los nodales de la provincia, en lo que se refiere a su reconocimiento y posicionamiento no ha ofrecido dificultades, ya que su materialización es importante desde el punto de vista constructivo (1.20 m), como así también, por su ubicación, ya que se encuentran en localidades de importancia y son en la mayoría de los casos conocidos. Las actividades descritas en este trabajo conducen a lograr la ubicación y posicionamiento de los puntos fijos entre nodales. Los puntos fijos ofrecen mayor dificultad para su ubicación debido a varios factores: la escala de la cartografía disponible para la provincia proporciona entornos de búsqueda del punto en un radio de 250 m, la monumentación es de menor envergadura que los nodales (0.20 m), muchos de ellos han sido destruidos situación que entorpece la búsqueda del siguiente punto, ya que en los gráficos de los itinerarios, el kilometraje es otro de los controles que se practican a fin de ubicar el mismo. Se ha ordenado el estudio de las líneas de nivelación en orden de complejidad de acceso a los itinerarios. Se considera prioritario, en una primera etapa, el relevamiento de las líneas que tienen como origen el Nodal 184. La provincia

dispone de 797 puntos fijos de nivelación de la red originalmente medida por el IGM. La georreferenciación de la totalidad de los mismos es una tarea que demandará tiempo y esfuerzo. Toda la información se está volcando a un banco de datos digital de coordenadas de puntos fijos altimétricos para la provincia de Santiago del Estero.

**Agradecimientos:** El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación "Validación de alturas para la Provincia de Santiago del Estero tendiente a lograr un modelo de corrección", financiado por el Consejo de Investigación de Ciencia y Técnica (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Asimismo se desea agradecer la cooperación que proporciona el Instituto Geográfico Militar a este Proyecto, en el Marco del Convenio que se encuentran suscribiendo ambas instituciones. En particular al Tte. Cnel. Eduardo Lauría y Agrim. Rubén Ramos.

## REFERENCIAS

- Del Cogliano, D y R. Perdomo. 2001. Geodesia y GPS. Curso de Actualización. FCAYG. UNLP.
- Del Cogliano, D., E. Lauría, A. Hermosilla, E. D'Onofrio, R. Perdomo, R. Maturana, J.L.Hormacchea, W. Rubio, S. Cimbaro y L. Mendoza. 2002. Diferencias entre las redes altimétricas de Chile y Argentina. Actas XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Rosario. Argentina.
- Galván, L., C. Infante, I. Goitea, H. Laitán y L. Abregú. 2005. Análisis preliminar de la información altimétrica para Santiago del Estero. Actas 4 Jornadas de Ciencia y Técnica. Universidad Nacional de Santiago del Estero. D25-O.
- <http://www.geoargentina.com.ar/geodesia.asp>
- Instituto Geográfico Militar. 1983. Guía de la República Argentina para Investigaciones Geográficas. 119-120.
- Instituto Geográfico Militar. 1979. 100 Años en el Quehacer Cartográfico del País. pp 112.
- Lauría, E., F. Galbán, C. Brunini, G. Font, R. Rodríguez y C. Pacino. 2002. El Sistema de Referencia Vertical en la República Argentina. Informe IGM, UNLP, UNR. pp I-VI.
- Moirano, J., C. Brunini, G. Font, E. Lauría y R. Ramos. 2002. Hacia una nueva referencia vertical en Argentina. Actas XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Rosario. Argentina.
- Pacino, M.C., G. Font, C. Tocho y L. Blitzkow. 2000. Nuevos resultados en el modelo geoidal de Argentina. Actas. XX Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Mendoza. Argentina.
- Perdomo, R., D. Del Cogliano y L. Mendoza. 2002. Nuevos avances en la determinación de un modelo de transformación de alturas para la provincia de Buenos Aires. Actas XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Rosario. Argentina.
- Zhan-ji, Y. and C. Yong-qi. 1999. Determination of local geoid with geometric method: case study. Jour. of Surveying Engineering. 125,3.



## NOTA TECNICA

PLANIALTIMETRÍA DEL ARROYO NAPOSTA, ENTRE EL CAMINO DE  
CIRCUNVALACION BAHÍA BLANCA Y EL DERIVADOR DEL  
PARQUE DE MAYO

*Oswaldo Manuel Fernández<sup>1</sup>, Nélica Beatriz Aldalur<sup>1</sup>, Nora Liliana Plana<sup>2</sup>, María Irene Pintos<sup>2</sup>, Karina Neuman<sup>2</sup>, Claudia Bel<sup>3</sup> y Esteban Laffitte<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Profesor del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. osvaldof@uns.edu.ar

<sup>2</sup> Auxiliar de Docencia del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur.

<sup>3</sup> Alumno del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur

## RESUMEN

La idea de la investigación surgió en conjunto con el Departamento Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca, ante la escasa información planialtimétrica de la zona. El lugar se ha desarrollado notablemente, en los últimos años, a partir de la construcción de la avenida Sarmiento y el camino de Circunvalación Bahía Blanca, pasando a ser uno de los vectores de crecimiento de la ciudad. Se utilizaron técnicas de fotogrametría-digital con ayuda de métodos geodésicos. Se confeccionó un ortofotomapa, que reflejara la planimetría a escala y un DEM (Modelo Digital de Elevaciones), que hiciera lo propio, con la altimetría del arroyo Napostá.

**Palabras claves:** Inundación, Napostá, Ortofotocarta, GPS y EPBB.

## ABSTRACT

The idea of the investigation was provided by the Cadastre Department of the Municipality of Bahía Blanca, due to the lack of planimetric information of the zone. The place has been developed in the last years since Sarmiento avenue and Circumvallation Bahía Blanca way (road) have been built, passing to be one of the growth vectors of the city. Using photogrametric-digital techniques and geodesic methods it was confeccioned an orthophotomap that shows the planimetry in scale and a DEM (Digital Elevation Model) that gives the altimetry of the Napostá creek.

**Keywords:** Flooding, Napostá, orthophotochart, GPS y EPBB.

## INTRODUCCION

La zona de trabajo, acordada con el Departamento Catastro, dependiente de la Secretaría de Obras y Servicios Públicos de la Municipalidad de Bahía Blanca, surge ante la escasa información planialtimétrica del lugar. Los límites de la planimetría a desarrollar son, partiendo del canal derivador del Parque de Mayo, en sentido horario, siguiendo por el camino "La Carrindanga", ca-

mino de Circunvalación de Bahía Blanca y avenida Sarmiento, excluyendo el Barrio Parque Palihue (Fig. 1).

La zona ha sufrido un gran desarrollo en los últimos años, producto de las construcciones de la avenida Sarmiento y el camino de Circunvalación Bahía Blanca, erigiéndose en uno de los vectores de crecimiento de la ciudad. Allí se levantará el Campus de la Universidad Nacional del Sur. Sobre la avenida Sarmiento, la parte más elevada, se encuentran

la mayoría de las construcciones existentes, no así sobre el camino “La Carrindanga”, zona deprimida e inundable, debido a la presencia del arroyo “Napostá”.

El planteo de trabajo fue obtener la plani-altimetría del lugar, mediante una solución no fotogramétrica-digital, con el auxilio de la geodesia, buscando la complementación entre distintas disciplinas.

La solución fue la confección de un ortofotomapa, producto que le sigue al mapa, en cuanto a precisión, que reflejara la planimetría a escala del lugar, y un DEM (Modelo Digital de Elevaciones).

## METODOLOGIA DE TRABAJO

Sobre un plano de la ciudad, a escala 1:20.000, que abarca el proyecto, se plotearon los fotogramas necesarios para obtener los DEMs que cubrieran la zona de trabajo. Estos fotogramas (17), del 10 de mayo de 2000, a escala 1:5.000, corresponden a 5 líneas de vuelo: 4, 5, 6, 7, y 8. (Fig. 1) Los fotogramas fueron cedidos por la Municipalidad de Bahía Blanca.

Los fotogramas se escanearon a 1.000 dpi (puntos por pulgada), con un pixel (elemento pictórico) de 0,0254 mm y una resolución en el terreno de 0,127 m. Luego se disminuyó su resolución a 300 dpi, con un pixel de 0,0846666 m y una resolución en el terreno de 0,423333 m debido a limitaciones de memoria del software utilizado (DMS 4.1). Se describe el procedimiento para las líneas de vuelo 4 y 5, que son las terminadas en la actualidad.

En una primera etapa se procedió a realizar el reconocimiento general del terreno, comparándolo con las fotos y tratando de determinar los posibles lugares en los que se ubicarían los GCPs (Puntos de Apoyo de Campo). Estos puntos deben estar ubicados en la zona de triple superposición longitudinal, que es el 20% del lado del fotograma (Fig. 1), y

transversal, que es el 30% del lado del fotograma.

Para la línea de vuelo 4, están en el fotograma 56; para la 5, en el 93. En síntesis, los puntos de apoyo de campo estarán ubicados en las zonas amarillas, izquierda, central, y derecha, de los fotogramas mencionados y distribuidos dentro de las mismas, en las partes superior, central e inferior.

## Archivos GCPs

En campaña se trabajó con equipos GPS (Sistema de Posicionamiento Global) geodésicos Trimble 4800, los que permitieron obtener una máxima precisión dado que trabajan con doble frecuencia y sus archivos fueron procesados en forma diferencial con los archivos provistos, para la misma época e igual constelación por la EPBB (Estación Permanente Bahía Blanca), dicho procesamiento se realizó con el programa Trimble Geomatic. Las coordenadas geodésicas fueron luego transformadas a coordenadas planas Gauss-Krüger, a los efectos de utilizarlas para orientar los fotogramas.

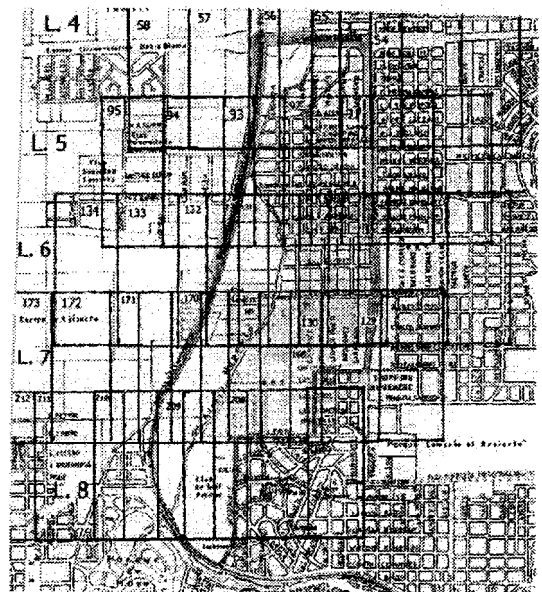


Figura 1. Zona de estudio

Como se sabe la altura merece un tratamiento especial, dado que con las observaciones realizadas se obtuvieron las alturas elipsóidicas ( $h$ ) y se necesitaban alturas geoidales ( $H$ ). Se utilizó el Modelo Geoidal de la Provincia de Buenos Aires, (Perdomo *et al.*, 2002), para obtener la ondulación geoidal ( $n$ ), tal Bahía Blanca que pudo obtenerse  $H = h + n$ . Se llevan medidos 48 puntos.

#### **Archivos CPs (Puntos de Control) de las líneas de vuelo 4 y 5**

Se crearon los archivos CPs para cada uno de los fotogramas (Fernández, 1999 y 2004). Estos archivos incluyen las marcas fiduciales (-1, -2, -3, -4) y los GCPs. Están expresados en coordenadas de la imagen, es decir, líneas y columnas.

Línea de vuelo 4, fotograma 57: 16 GCPs; fotograma 56: 34 GCPs; y fotograma 55: 25 GCPs. línea de vuelo 5, fotograma 94: 11 GCPs; fotograma 93: 30 GCPs; y fotograma 92: 25 GCPs.

#### **Cálculo de las orientaciones de las líneas de vuelo 4 y 5**

Previamente se calcula la orientación de cada fotograma (Fernández, 1999 y 2004) de la línea de vuelo 4. Luego, se transfieren los GCPs comunes, 19 puntos, de la corrida 4 a la 5, y se calcula la orientación de cada fotograma de la línea de vuelo 5. Esto es para conocer los errores de la orientación y para detectar algún punto dudoso que, debido a la magnitud de su error, deba ser corregido, o eventualmente, eliminado.

La orientación externa de cada fotograma vincula sus archivos .CP y .GCP, con la distancia focal (153,12 mm). El DMS 4.1 calcula la orientación, con su error en píxeles, y en el terreno. A continuación, las 3 soluciones de la línea de vuelo 4:

Fotograma 57, con 16 puntos en la solución, el error es de 0,87 pixel, y 0,40 m en el terreno.

Fotograma 56, con 34 puntos en la solución, el error es de 1,33 pixel, y 0,61 m en el terreno.

Fotograma 55, con 25 puntos en la solución, el error es de 0,98 pixel, y 0,45 m en el terreno.

En la línea de vuelo 5 se desecharon 7 GCPs.

Las 3 soluciones de la línea de vuelo 5:

Fotograma 94, con 11 puntos en la solución, el error es de 0,99 pixel, y 0,45 m en el terreno.

Fotograma 93, con 30 puntos en la solución, el error es de 1,89 pixel, y 0,86 m en el terreno.

Fotograma 92, con 25 puntos en la solución, el error es de 1,21 pixel, y 0,55 m en el terreno.

#### **Precisión**

Al graficar una carta, a escala del producto final, 1:10.000, el error gráfico que se comete es de 0,2 mm, que traducido a valores en el terreno, es 2 m. Esto permite afirmar, que aún con esta nueva resolución, 300 dpi, el error en el terreno, se mantiene dentro de los límites de la tolerancia, por no superar el metro.

#### **Creación de los modelos estéreos de las líneas de vuelo 4 y 5**

El DMS 4.1 relaciona la zona común a las imágenes 57 y 56, primer par de la línea de vuelo 4, creando el estéreomodelo (Fernández, 1999 y 2004), 57-56, que puede ser visualizado con anaglifos.

Primero rectifica la zona común de la foto 57. Luego rectifica la zona común de la foto 56. Al rectificar las fotos se eliminaron los errores de inclinación de la cámara, transformando el fotograma oblicuo, en uno vertical. Son imágenes sin paralajes transversales ( $y$ ). Los desplazamientos residuales se deben a las alturas, por ello la necesidad de trabajar con terrenos llanos. Se reitera el proce-

dimiento para el segundo par de la línea de vuelo 4: las imágenes 56 y 55, el estéreo modelo es 56-55.

Para la línea de vuelo 5, primer par, las imágenes son 94 y 93 y el estéreo modelo es 94-93. Se reitera el procedimiento para el segundo par de la corrida, las imágenes 93 y 92 y el nombre del estéreo modelo es 93-92.

### Creación de los DEMs de las líneas de vuelo 4 y 5

Se genera el DEM (Fernández, 1999 y 2004) del primer par de la corrida 4, 57-56, y su rango de elevación es de 35 m a 50 m. En nuestro caso, las cotas mínima y máxima de cada modelo, que se deben suministrar al programa antes de la estereocorrelación, fueron obtenidas de una carta topográfica, a escala 1:50.000, con una equidistancia, entre curvas de nivel, de 5 m. Para el par 57-56 la correlación exitosa fue del 98%. Reitérase el procedimiento para el segundo par de la línea de vuelo 4, 56-55, y su rango de elevación es de 35 m a 50 m. La correlación exitosa del par 56-55 es del 92%. Para el primer par de la línea de vuelo 5, 94-93, el rango de elevación es de 32 m a 45 m. La correlación exitosa fue del 90%. El segundo par de la línea de vuelo 5, 93-92, tiene un rango de elevación de 30 m. a 45 m. La correlación exitosa es del 94%.

### Filtrado de los DEMs de las líneas de vuelo 4 y 5

Se deben filtrar todos los DEMs (Fernández, 2000 y 2004). El tipo de filtro a aplicar, es el de la mediana, con umbral 3, mediante una matriz de 3 x 3. La finalidad de este filtro es eliminar los valores discordantes o puntas en los DEMs.

### Creación de las ortofotos de las líneas de vuelo 4 y 5

Las ortofotos a crear (Fernández, 2000 y 2004), posteriormente, conformarán el ortomosaico y la ortofotocarta. Conviene

elegir las fotos comunes a dos modelos, para que no haya variaciones en los tonos de gris, al confeccionar el mosaico.

Para la línea de vuelo 4 la imagen a ortocorregir, y que cumple este requisito, es la 56, común a los modelos 57-56 y 56-55. Se deben hacer varias ortofotos de la misma foto, siempre que sea necesario, para que no queden espacios libres en el ortomosaico. Para cubrir totalmente la parte izquierda del fotograma 56, modelo 57-56, fueron necesarias 6 ortofotos: 56-i1, 56-i2, 56-i3, 56-i4, 56-i5, y 56-i6 (Fig. 2).

Para cubrir totalmente la parte derecha del fotograma 56, modelo 56-55, fueron necesarias 3 ortofotos: 56-d1, 56-d2, y 56-d3 (Fig. 3). Para la línea de vuelo 5 la imagen a ortocorregir, es la 93, común a los modelos 94-93 y 93-92. Para cubrir totalmente la parte izquierda del fotograma 93, modelo 94-93, fueron necesarias 3 ortofotos: 93-i1, 93-i2, y 93-i3 (Fig. 4).

Para cubrir totalmente la parte derecha del fotograma 93, modelo 93-92, fueron necesarias 7 ortofotos: 93-d1, 93-d2, 93-d3, 93-d4, 93-d5, 93-d6, y 93-d7 (Fig. 5). En todas las ortofotos, el tamaño del pixel se unificó, en 0,5 m, para la confección del mosaico.

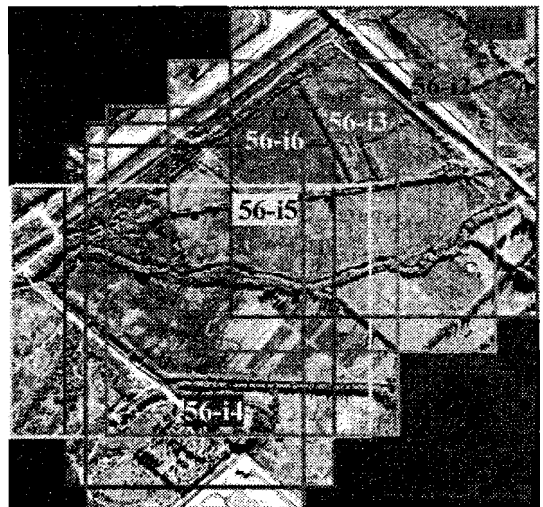


Figura 2. Ortomosaico izquierdo, línea de vuelo 4

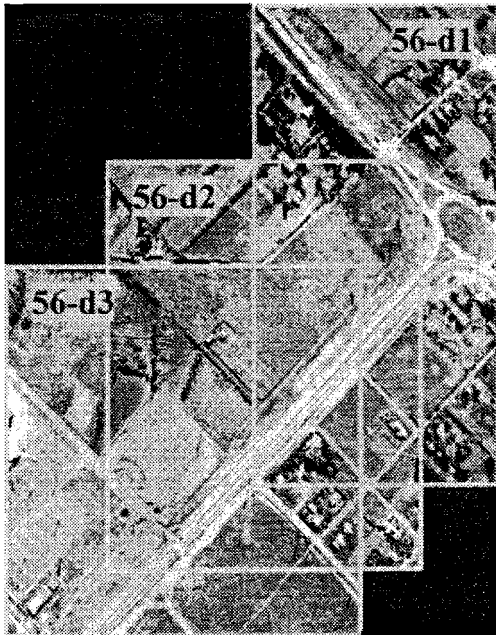


Figura 3. Ortomosaico derecho, línea de vuelo 4

### Realce de las líneas de vuelo 4 y 5

Esto se realiza para mejorar el contraste de los ortofotogramas que compondrán el ortomosaico. Es válido porque varían los DNs (Números Digitales), alterando sólo el tono de gris del píxel. A todas las ortofotos se las equalizó linealmente, con valor 2, a fin de realzarlas (Fernández, 2004).

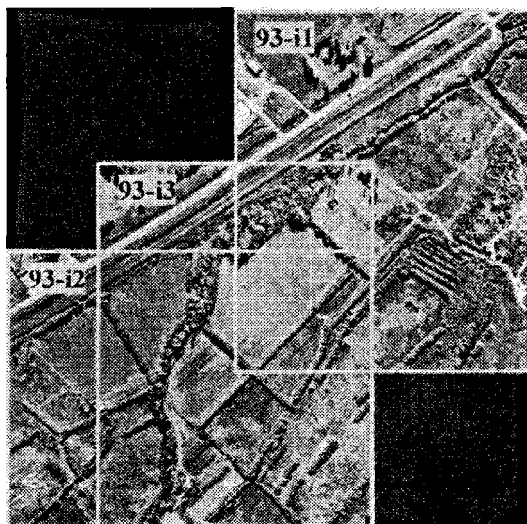


Figura 4. Ortomosaico izquierdo, línea de vuelo 5

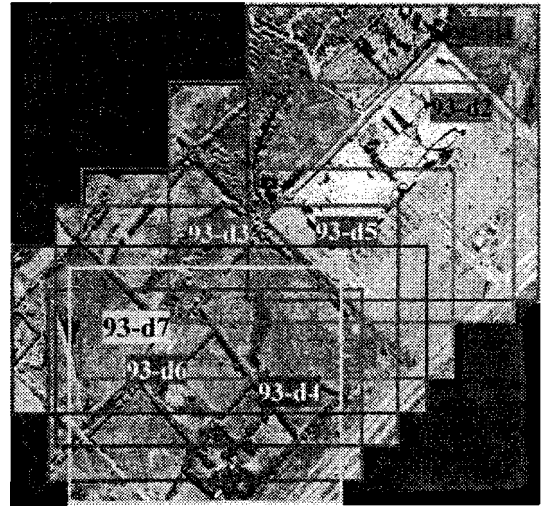


Figura 5. Ortomosaico derecho, línea de vuelo 5

### Confección del Ortomosaico de las corridas 4 y 5

Con las 9 ortofotos, creadas, de la corrida 4: 56-i1, 56-i2, 56-i3, 56-i4, 56-i5, 56-i6, 56-d1, 56-d2, 56-d3 (Fig. 2 y 3), y las 10 ortofotos, creadas, de la corrida 5, 93-i1, 93-i2, 93-i3, 93-d1, 93-d2, 93-d3, 93-d4, 93-d5, 93-d6, y 93-d7 (Fig. 4 y 5), se armó el ortomosaico (Fernández, 2000 y 2004) de ambas corridas.

### Confección del Mosaico con los DEMs de las líneas de vuelo 4 y 5

Se confecciona el mosaico (Fernández, 2000) con los 9 DEMs, de las 9 ortofotos (Fig. 2 y 3), de la corrida 4: 56-i1, 56-i2, 56-i3, 56-i4, 56-i5, 56-i6, 56-d1, 56-d2, y 56-d3. Conviene ver el mosaico. Aquí concluyó el mosaico de los DEMs de la línea de vuelo 4.

Se confecciona el mosaico con los 3 DEMs, de las 3 ortofotos izquierdas (Fig. 4), de la línea de vuelo 5: 93-i1, 93-i2, y 93-i3.

Se confecciona el mosaico con los 7 DEMs, de las 7 ortofotos derechas (Fig. 5), de la línea de vuelo 5: 93-d1, 93-d2, 93-d3, 93-d4, 93-d5, 93-d6, y 93-d7. Conviene ver los mosaicos. Concluyeron los mosaicos de los DEMs de la línea de vuelo 5.

### Productos finales planimétrico y altimétrico

Con el ortomosaico de las líneas de vuelo 4 y 5, se crea el ortomapa (Fernández, 2004), producto final planimétrico (Fig. 6).

Con los mosaicos de los DEMs, de las 19 ortofotos (Fig. 2, 3, 4 y 5), se crea el mosaico (Fernández, 2000) de los DEMs de las ortofotos, de ambas corridas, producto final altimétrico (Fig. 7).

### CONCLUSIONES

Habiéndose procesado dos líneas de vuelo, la 4 y la 5, de las 5 totales, se concluye que los resultados en planimetría han sido más satisfactorios que en altimetría. Esto se debe

a varios factores, que se podrían agrupar en tres fuentes, a saber:

1) El software utilizado, DMS 4.1, no es fotogramétrico, por lo tanto no realiza las tres orientaciones, interna, externa-recíproca, y externa-absoluta, sólo realiza una orientación externa. Es decir su precisión, no es óptima. En contraste, la parte geodésica, por los equipos utilizados, el tipo de medición empleado, así como las correcciones realizadas, con posterioridad, a los datos obtenidos en campaña, tiene una muy buena precisión. Esto produce, un desbalance de precisiones, entre la fotogrametría y la geodesia, que queda más en evidencia, sobre todo, en los DEMs. Se podría aumentar la precisión fotogramétrica, con matrices más grandes, en la generación de los DEMs.

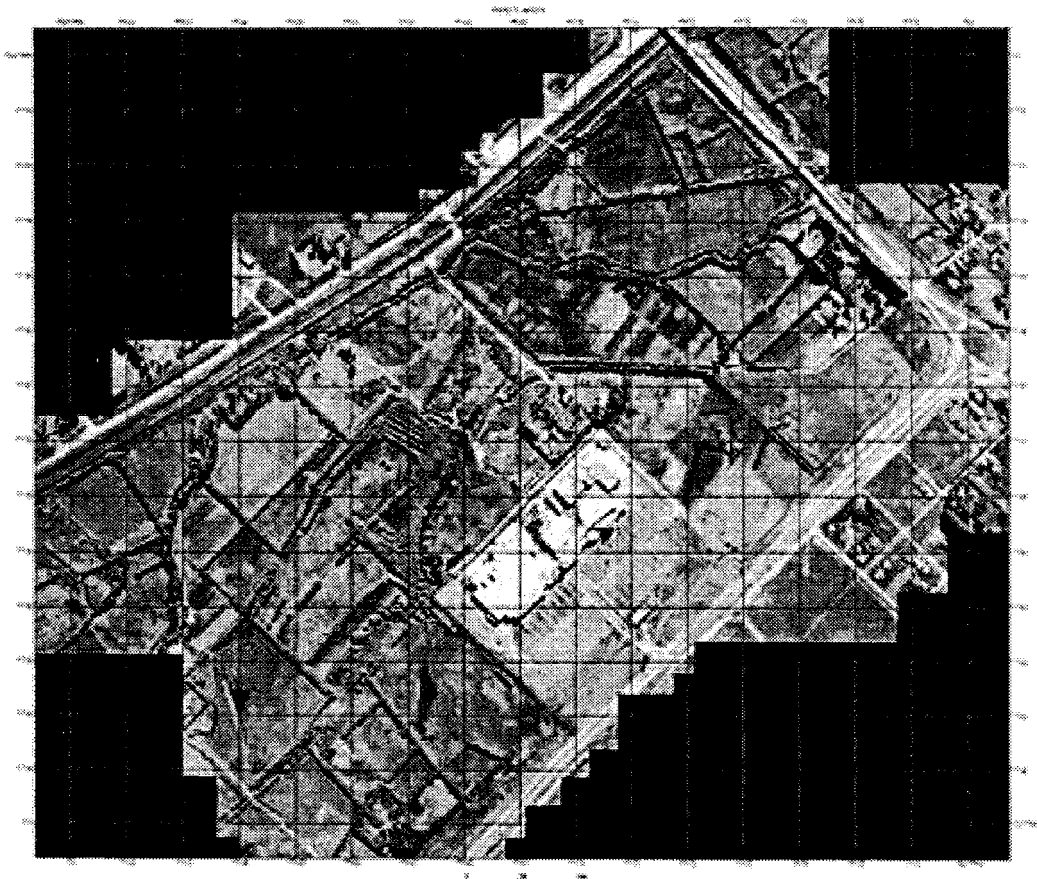
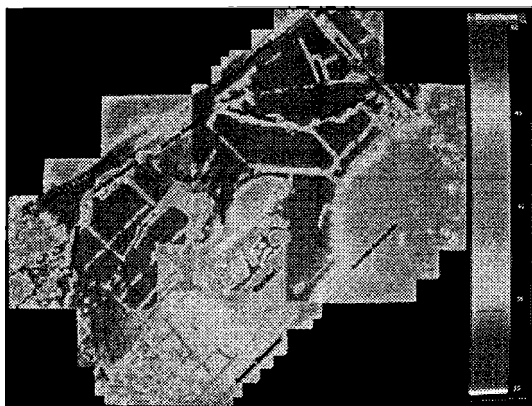


Figura 6. Ortomapa



**Figura 7.** Mosaico de los DEMs

2) La data de los fotogramas, 10 de mayo de 2000. Seis años de antigüedad de las fotos, es mucho tiempo, que se ve traducido en otra realidad circundante, precisamente porque esta zona sufre un gran cambio.

3) La falta de detalles identificables, en las fotos y en el terreno, sobre el camino “La Carrindanga”, por ser una zona inundable, debido a la presencia del arroyo Napostá. Este motivo se hizo extensivo a terrenos de Universidad Nacional del Sur, que aunque altos, no tenían posibles puntos. Esto complicó la elección de los GCPs.

En conclusión, algunas fuentes de error se podrán eliminar o disminuir, en lo sucesivo, pero otras son imposibles de modificar.

**Agradecimientos:** A la Municipalidad de Bahía Blanca, por haber facilitado los fotogramas necesarios para el trabajo.

## REFERENCIAS

- Fernández, O. M. 1999. Aplicaciones Fotogramétricas del Programa Desktop Mapping System (Primera Parte). Biblioteca Central de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.
- Fernández, O. M. 2000. Aplicaciones Fotogramétricas del Programa Desktop Mapping System (Segunda Parte). Biblioteca Central de

la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.

Fernández, O. M. 2004. Ortomapa Digital. Biblioteca Central de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.

Perdomo, R., D. Del Cogliano, N. Di Croche y K. Neuman. 2002. “Advances in the calculation of a height transformation model in Buenos Aires Province, Vertical Reference Systems”. IAG Symposia 124, 75-77. Cartagena. Colombia.





**NOTA TECNICA****GEORREFERENCIACION DE FOTOS AEREAS - DETERMINACION DE LA TRAZA DE UN DUCTO EN BAHIA BLANCA***Pablo E. Napal<sup>1,2</sup> y Ariel C. Bongiovanni<sup>1</sup>**Colaboradores: Nilda Di Croche<sup>2</sup>, Beatriz Aldalur<sup>2</sup> y Osvaldo Fernández<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Estudio de Agrimensura Bongiovanni-Napal. Corrientes 546 (B8000FOL)  
Bahía Blanca, Argentina. bonapal@ciudad.com.ar

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería, Areas 7 y 14. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

**RESUMEN**

Entre las tareas de un agrimensor se encuentra la determinación de la traza de un ducto. Para este trabajo se buscó un primer acercamiento a través de una imagen satelital, en base a ella se pudieron determinar puntos significativos de la zona y efectuar un primer bosquejo de lo que sería la traza del ducto, el que se ubica en el sector rural lindante con el ejido de Bahía Blanca. La imagen utilizada fue suministrada por la página web Google Earth, extrayendo de ellas las coordenadas geodésicas de los puntos topográficos detectables en la imagen, para luego realizar la inspección ocular ubicando esos puntos en el terreno con navegador GPS. Posteriormente en gabinete se decidió sobre la conveniencia de su utilización o su rectificación y una vez definida la traza se midió con instrumental topográfico electrónico. Se utilizaron fotos aéreas del sector correspondiente al vuelo alto (1:40.000) efectuado. La georreferenciación de las fotos aéreas fue realizada ubicando puntos bien definidos en las fotos e identificados en el terreno, medidos con 2 receptores GPS de alta precisión utilizando como base la Estación Permanente de Bahía Blanca (EPBB) que funciona en el Área de Agrimensura del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. La posibilidad de haber contado con un tercer equipo (EPBB) que funcionaba como punto base permitió formar dos comisiones rover de trabajo dándole celeridad a la tarea de campo.

Los puntos que se eligieron fueron los de fácil acceso por vías públicas, pero no fueron los suficientes para la georreferenciación con programas comerciales específicos dado que los mismos ofrecían errores superiores a un píxel (15m). Como la longitud de los vectores de observación no superaban los 15 km y la definición de la foto lo permitía se decidió tomar sesiones de 10 minutos para aquellos menores de 12 km y de 15 minutos para los mayores. Las soluciones de los vectores resultaron dentro de los márgenes esperados los que fueron procesados con los programas GPPS de Ashtech y Ashtech Solutions.

Como el formato de la foto (jpeg) y los puntos tomados no eran los apropiados ni suficientes, se buscó otro medio que permitiese brindar soluciones al objetivo planteado. Se utilizaron entonces las herramientas de rotación y de escala de programas CAD. A través de las triangulaciones realizadas con puntos definidos en las fotos y en el terreno, se pudo escalar y orientar las fotos. El control realizado a las fotos aéreas georeferenciadas utilizando otros puntos medidos que no formaron parte de las triangulaciones empleadas para el ajuste de los fotogramas fue satisfactorio.

**Palabras Claves:** Georreferenciación-Fotos Aéreas-GPS

**ABSTRACT**

Between the tasks of a surveyor is the determination of the position of a duct. In this work a first approach through satellite images was used to find significant points of the zone and a first sketch of which it would be the position of a duct was carried out, It is located in the rural sector near the Bahía

Blanca city. The used images were provided by the web page Google Earth. The geodesic coordinates of the detectable topographic points in the image were extracted from them and then the ocular inspection of those points was made with GPS navigator. Later it was decided about the convenience of its rectification or its utilization. Once the position was defined, this one was measured with electronic topographic instruments.

Aerial photos of the sector corresponding to the high flight (1: 40.000) were used. The rectification of the aerial photos was made locating points well defined in photos and identified in the land, measured with 2 receivers GPS of high precision using as a base the Permanent Station of Bahía Blanca (EPBB) that works in the Surveying Area of the Engineering Department of the Universidad Nacional del Sur. The possibility of having a third equipment (EPBB) that worked as a base point allowed to form two rover commissions of work and gave speed to the field task.

The points chose were the accessible ones by public routes but they were not the sufficient ones for the rectification with specific commercial programs because they presented mistakes greater than a pixel (15m). As the length of the observation vectors did not surpass 15 km, and the definition of the photo allowed it, it was decided to take sessions from 10 minutes for those smaller of 12 km and 15 minutes for the greater ones. The solutions of the vectors proved to be between the expected margins the programs GPPS of Ashtech and Ashtech Solution.

The format of the photo (JPEG) and the points were not appropriated neither sufficient. Therefore, another way was found to offer solutions for the objectives. Then the tools of rotation and scale of CAD programs were used. With the triangulations made with defined points in the photos and the land, it was possible to scale and to orient the photos. The ractificated aerial photos were controlled using measured points not used in the triangulation. The result was satisfactory.

**Key Words:** rectification-aerial photographs-GPS

## INTRODUCCION

Entre las tareas de un agrimensor se encuentra la determinación de la traza de un ducto. Esta tarea se realizaba habitualmente a partir de un extenso y laborioso reconocimiento del terreno, tarea que además de ocupar varios días de trabajo estaba sujeta a las condiciones climáticas, a los caminos vecinales que podían encontrarse y a las posibilidades de ingreso a las propiedades. Todo ello significaba un costo muy alto, tanto en instrumental como en personal de apoyo y sobre todo en tiempo, dado que como se sabe el manejo y los traslados con instrumental topográfico tradicional están sujetos a las condiciones climáticas.

Asimismo, las posteriores tareas de replanteo del proyecto en el terreno se enfrentaban a los mismos inconvenientes y posibles demoras en función de los obstáculos visuales en el tendido de líneas o inconvenientes climatológicos.

El presente trabajo busca encontrar en las nuevas tecnologías soluciones a tareas tradicionales que mejoren la conjunción de las variables tiempo-costo-precisión.

*“La precisión de las mediciones debe ir de acuerdo con la finalidad del levantamiento.... Cada levantamiento constituye un problema, y el topógrafo debe marcar los límites tolerables de error por propia iniciativa y estudio del caso, aconsejado por la experiencia de los demás. No es mejor topógrafo el que opera con extrema precisión, sino el que hace un levantamiento con la precisión suficiente para el fin propuesto, sin dispendio de tiempo y dinero.”* (Davis y Foote, 1967)

Específicamente, se pensó en la unión o el enlace entre las nuevas herramientas disponibles como son el uso de imágenes satelitales, GPS y estaciones totales. Esto redujo el tiempo de reconocimiento en el terreno y permitió una primera aproximación a la solución más probable, analizando los replanteos de las

posibles trazas analizadas y eventuales controles.

## **DESARROLLO DEL TRABAJO**

Para realizar el trabajo se consideró:

- 1- Evaluar la nueva traza del ducto de acuerdo a condicionantes que se deben observar.
- 2- Relevar la traza planialtimétricamente y confeccionar los registros gráficos volcando los puntos de terreno relevados y datos catastrales de las parcelas afectadas.
- 3- Generar una cartografía con base de fotografías aéreas georreferenciadas.

A continuación se detallan las tareas efectuadas:

1- Para este trabajo debían observarse los condicionantes que la empresa exigía para la localización del ducto:

a) El ducto no debe estar en la zona urbana, por lo tanto debió preverse su posible amplia-

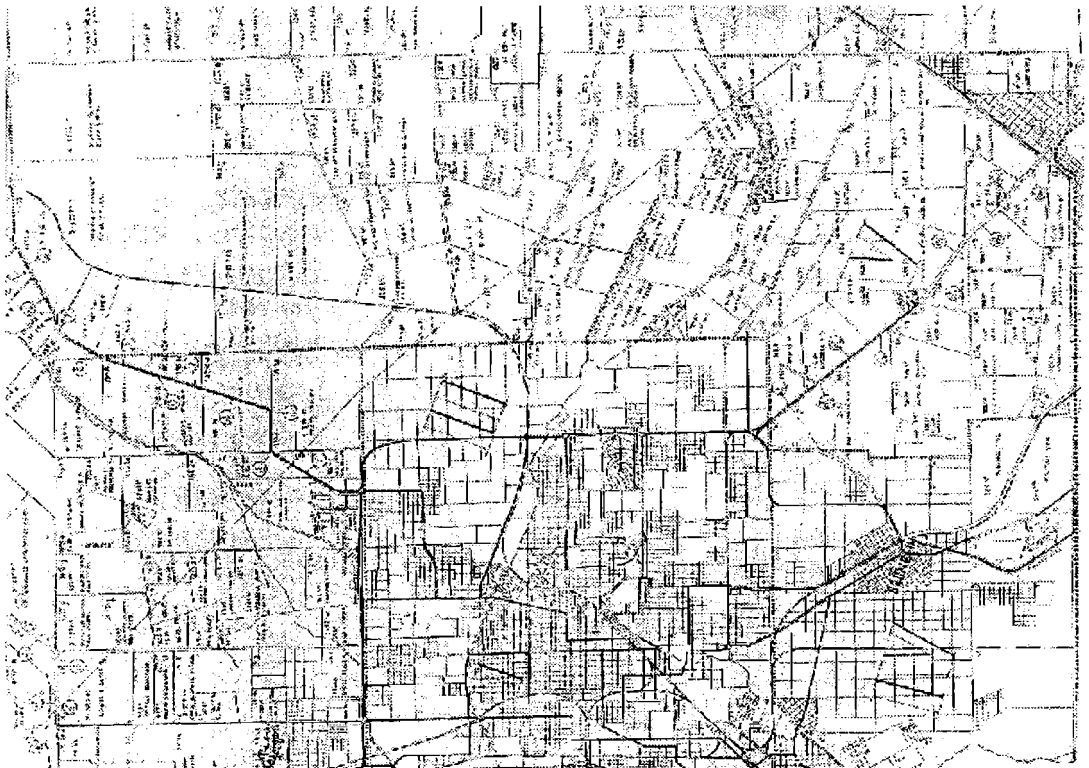
ción, lo que motivo consultas y un trabajo en equipo con profesionales del municipio local. b) No deben existir grandes pendientes evitando especialmente quiebres topográficos salvo los cruces de cursos de agua.

c) No afectar cascos de estancias y/o construcciones rurales.

d) Utilizar la menor cantidad de parcelas rurales posibles para evitar más convenios con propietarios.

e) Optar por las menores longitudes de ducto por razones del costo constructivo.

Como primera instancia se utilizó el plano rural del partido de Bahía Blanca (Fig. 1), escala 1:50000, que muestra las parcelas circundantes al ejido de Bahía Blanca con información actualizada de propietarios, cedido por el Municipio local, en donde también se consultó sobre las posibles ampliaciones del ejido. Con este plano rural, con la carta IGM 1:50000 y con las imagen satelital suministradas por



**Figura 1.** Plano Rural 1:50000 del Partido de Bahía Blanca

la página web Google Earth (Fig. 2) se buscó un primer acercamiento al terreno.

En base a ellas se determinó la zona de trabajo y efectuar un primer bosquejo de lo que sería la traza del ducto. Se buscaron puntos topográficos detectables en la imagen y se tomaron las coordenadas geodésicas de ellos, sobre la misma imagen, para luego realizar una inspección ocular tratando de ubicar los mismos puntos en el terreno utilizando un navegador GPS. Posteriormente en gabinete se analizó la conveniencia de mantener o rectificar cada tramo de la traza. Esta tarea se realizó en forma reiterada avanzando sobre todo el proyecto.

Una vez determinados los posibles vértices de la traza, conforme a toda la documentación que se disponía incluida la utilización de fotos aéreas del sector (vuelo del año 1990), se controló en el terreno si existían construcciones a lo largo de cada tramo. Se observó si existían situaciones en el terreno que no habían sido previstas, tales como líneas eléctricas, gasoductos, acueductos, construcciones, etc. Estas estructuras eran relevadas con los navegadores, lo que permitía y obligaba a replantear el proyecto hasta encontrar los vértices de cada tramo y asegurarse que en el trayecto no existiese construcción u obstáculo insalvable.

2- Finalmente la traza definitiva de 31,6 km del ducto fue medida con instrumental topográfico electrónico, específicamente Estación Total.

3- Para un mayor reconocimiento de detalles, accesos y construcciones se usaron fotos aéreas del sector correspondiente al vuelo alto (1:40.000) realizado a solicitud de la Municipalidad de Bahía Blanca en el año 2005 (Fig. 2). Tanto las fotos aéreas como la traza deben estar georreferenciadas. Las fotos aéreas fueron recibidas en formato digital con extensión jpeg de baja resolución. El formato elegido determinó claramente que esta etapa del trabajo era una solución expeditiva ya que las herramientas utilizadas no cumplían los

requisitos básicos para obtener una solución matemática que sea compatible con la que se debía entregar los resultados. También definió la escala de la cartografía a generar.

La georreferenciación fue realizada ubicando puntos bien definidos en las fotos e identificables en el terreno, medidos con 2 receptores GPS de alta precisión, en modo relativo, utilizando como base la Estación Permanente de Bahía Blanca (EPBB) que funciona en el Área de Agrimensura, del Departamento de Ingeniería, en la Universidad Nacional del Sur. La posibilidad de haber contado con un tercer equipo (EPBB) que funcionaba como punto base permitió formar dos comisiones rover de trabajo dándole celeridad a la tarea de campo. Como la longitud de los vectores de observación no superaban los 15 km y la definición de la foto lo permitía, se decidió tomar sesiones de 10 minutos para aquellos GCPs (Puntos de Control Terrestre), ubicados a menos de 12 km y de 15 minutos para las distancias mayores. Las soluciones de los vectores resultaron dentro de los márgenes esperados los que fueron procesados con los programas GPPS de Ashtech y Ashtech Solutions.

Los puntos que se eligieron fueron los de fácil acceso por vías públicas (no se pudo ingresar a las propiedades privadas), pero no fueron los suficientes para la georreferenciación con programas comerciales específicos dado que los mismos ofrecían errores superiores a un píxel (15 m) (Chuvienco, 1996). Como el formato de la foto (jpeg) y los puntos tomados no eran los apropiados ni suficientes, se buscó otro medio que permitiese brindar soluciones al objetivo planteado. Se utilizaron entonces las herramientas de rotación y de escala de programas CAD. A través de las triangulaciones realizadas con puntos definidos en las fotos y en el terreno se pudo escalar y orientar las fotos.

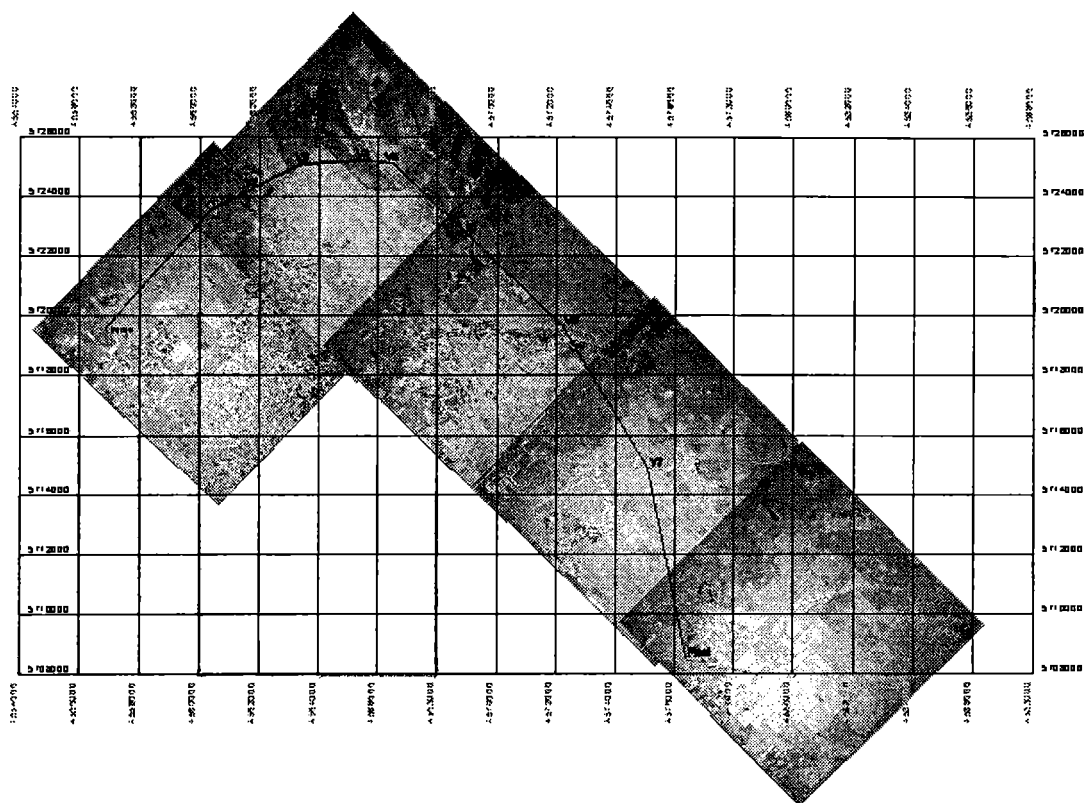


Figura 2. Cartografía 1:50000 con base de fotos georreferenciadas

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El trabajo deja observar claramente cómo la conjunción de nuevas tecnologías permitió obtener excelentes resultados. Con metodologías hasta hace poco impensadas, que no sólo representan un inmenso ahorro de tiempo y esfuerzo, menor necesidad de personal auxiliar y brindando a la par excelentes resultados, analizados tanto desde el punto de vista práctico, como de la precisión obtenida.

El plano rural utilizado permitió replantear la traza proyectada del ducto y tener mayor información de cómo la misma afectaba a las distintas propiedades.

Finalmente la traza definitiva del ducto fue medida con instrumental topográfico electrónico a lo largo de 31,6 km con siete vértices. Además, se efectuaron mediciones con equi-

pos GPS de doble frecuencia sobre los puntos definidos en las fotos y también sobre algunos de los vértices de la traza, lo que permitió, que al pasar los puntos procesados a un archivo dxf, compatible con los programas CAD, comparar la línea Inicio-Final medido con la Estación Total y con GPS, dando como resultado una diferencia de 0,80 m en planimetría, resultado más que satisfactorio.

El control realizado a las fotos aéreas georreferenciadas, utilizando otros puntos medidos que no formaron parte de las triangulaciones empleadas para el ajuste de los fotogramas, fue satisfactorio a nivel profesional, lo que convalida las técnicas empleadas para pequeñas áreas.

La relación costo-beneficio, respecto al instrumental involucrado en el trabajo, el tiempo empleado y la precisión obtenida, se considera adecuadas a los objetivos planteados.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen a la Municipalidad de Bahía Blanca, Departamento Catastro, al EPBB, Departamento de Ingeniería de la UNS y a la Universidad Nacional del Sur.

## **REFERENCIAS**

- Davis y Foote. 1967. Tratado de Topografía. 2da Edición. Ediciones Aguilar S.A. Madrid
- Chuvieco. 1996. Fundamentos de la Teledetección Espacial. 3ra Edición. Ed. Rialp S.A. Madrid

GEOACTA está editada por la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Está constituida por secciones independientes, en cada una de las cuales se publican trabajos originales e inéditos y que no se encuentren en evaluación simultánea en otras revistas, en forma de artículos o notas a los distintos dominios de la Geofísica, Geodesia, Geología, Vulcanismo, Oceanografía, Geografía, Meteorología, Geoquímica y temas con aplicación al medio ambiente. El Consejo Editorial con la colaboración de otros especialistas en los distintos campos de la ciencia, considera el valor de cada uno de los originales entregados por los autores y decide sobre la conveniencia o no de su publicación (de los que, en cada caso informa al autor o autores), la sección en que se incluirá el artículo aceptado y el orden de publicación del mismo dentro de cada volumen.

GEOACTA se publica una vez por año. Los trabajos deben ser originales y presentarán datos, interpretaciones o síntesis no publicadas con anterioridad. En caso de ser aceptados, los trabajos pasarán a ser propiedad intelectual de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas.

Los idiomas oficiales de GEOACTA son el Español e Inglés. Los trabajos en Español llevarán un RESUMEN en este idioma y con el objeto de asegurar la máxima difusión de los trabajos, un ABSTRACT en inglés. Los trabajos en Inglés llevarán un ABSTRACT en Inglés y un RESUMEN en Español.

Los autores pueden presentar trabajos en cualquiera de las siguientes opciones.

**Trabajos de Investigación:** corresponden a contribuciones originales dentro de la temática general de GEOACTA.

**Notas Breves:** contribuciones cortas cuyo objetivo es dar a conocer hallazgos importantes que merezcan su pronta publicación o para presentar nuevas técnicas o datos realmente significativos. No deberán superar las cuatro hojas escritas a doble espacio, incluyendo figuras y bibliografía.

**Discusiones y Réplicas:** los comentarios y discusiones sobre trabajos publicados en GEOACTA serán considerados muy favorablemente y son demostrativos de un marcado interés por el progreso de la ciencia pero donde primen el respeto y la tolerancia por la diversidad de opiniones. Los mismos deben identificar claramente la cita completa del trabajo. Una copia de la Discusión será enviada al primer autor del artículo en cuestión para su respuesta. Tanto la Discusión como la Réplica serán publicadas en forma conjunta en el próximo número de GEOACTA.

**Comentarios de Libros:** son análisis técnicos de libros de edición reciente y temática acorde a los objetivos de GEOACTA

## **PRESENTACION DE TRABAJOS**

Los manuscritos pueden ser elevados en formato electrónico (preferentemente) o impresos de acuerdo con las siguientes instrucciones. No obstante, en breve se implementará el Sistema Electrónico Editorial (SEE) único para la presentación de trabajos

### **Formato Electrónico**

Los trabajos podrán ser enviados por correo electrónico (preferentemente) o por envío postal en CD, Zip o Diskettes al Editor o co-Editor. La versión electrónica del manuscrito debe, en términos generales, seguir el mismo formato de la versión impresa, pero los archivos deben ser estructurados y nombrados de la siguiente forma:

Un archivo conteniendo el texto del trabajo, incluyendo los resúmenes, referencias, las tablas y leyendas bilingües de figuras y tablas escritos en

GEOACTA is published by the Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. It is formed by independent sections. Each one contains original articles or technical notes that are not simultaneous presented for evaluation to other journals. The subject of the articles are from the following Sciences: Geophysics, Geodesy, Geology, Vulcanism, oceanography, Geography, Geochemistry and related themes form the environment. The Editorial Committee, with the collaboration of specialist from the different sciences, evaluate the originality of the work and decide the section where the accepted contribution will be published and its order.

GEOACTA is published once a year. Papers must be original and will present data, interpretations and/or synthesis unpublished or submitted elsewhere. If accepted, papers become copyright of the Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas.

Official languages of GEOACTA are Spanish and English. Papers in Spanish will have a RESUMEN in this language and, with the object to insure its maximum diffusion, they will also include an ABSTRACT in English. Papers in English will have an ABSTRACT in this language and a RESUMEN in Spanish.

Authors may submit papers in any of the following options.

**Research Papers:** they are original contributions within the general subject of GEOACTA.

**Short Notes:** short contributions directed to inform of important discoveries that require immediate publication or to present new techniques or significant data. Short notes will have less than 4 pages typed in double space, including figures and references.

**Discussions and Replies:** comments and discussions about papers published in GEOACTA will be encouraged and they are a demonstration of remarkable concern for the progress of science, but with respect and tolerance of the diversity of opinions. Discussions must clearly identify the complete citation of the paper. A copy of the Discussion will be sent to the first author of the paper being discussed for his/her reply. Both the Discussion and Reply will be published together in the next available issue of GEOACTA.

**Book Reviews:** they technical analysis of recent published books which subject is related to the objectives of GEOACTA

## **MANUSCRIPTS**

Manuscripts can be submitted either in electronic format (preferable) or in print according to the following instructions. Nevertheless, in short, the Sistema Editorial Electrónico (SEE) will be implemented and it will be the only means for paper submission.

### **Electronic Format**

Papers can be submitted either by e-mail (preferable) or by regular mail in CD, Zip or Diskettes to the Editor or co-Editor. The electronic version of the manuscript must follow, in general terms, the same format of the printed one, but the files should be structured and named according to:

One file with the text, including abstracts, references, tables and figure captions prepared in a text editor such as WordPerfect o Word. File name will include the name of the first author and the word "Text" (if more than one author use "et al"): Pérez et al Text.doc (or .wpd).

One file for each figure, preferably in format Corel Draw, Adobe Illustrator, jpg or tif. The name of the file will follow the same format indicated for the text file, but include "Fig" and the number of the figure: Pérez et al Fig 1.cdr (or .jpg or .tif)

procesador de texto WordPerfect o Word. El nombre del archivo incluirá el apellido del autor y la palabra "Texto". En caso de más de un autor se incluirá "et al": Pérez et al Texto.doc (o .wpd)

Un archivo por cada figura, preferentemente en formato Corel Draw, Adobe Illustrator, jpg o tif. El nombre seguirá el mismo formato que para el caso de texto, pero llevará la palabra "Fig" y el número de figura: Pérez et al Fig 1.cdr (o .jpg o .tif)

Un archivo donde se haya integrado en el texto, las figuras y las tablas, ambas con sus leyendas respectivas en el sitio donde los autores sugieren que deberían ubicarse, en formato Acrobat Reader cuyo nombre se escribirá de la siguiente forma: Pérez et al Ms.pdf. En el envío postal se debe incluir una copia impresa del ms incluido en el archivo Pérez et al Ms.pdf. En caso de no contar con el software para generar un archivo pdf, se debe enviar el archivo integrado en formato WordPerfect o Word.

### Formato Impreso

Dado que el sistema electrónico de presentación de trabajos está en pleno funcionamiento, sólo en casos excepcionales se aceptarán trabajos en formato impreso. En caso de no poder acceder al sistema electrónico, se aceptará la recepción de un CD con los archivos siguiendo las normas antes indicadas.

En la situación fuertemente justificada en que no se pueda cumplir con el envío electrónico o un CD, se enviarán por correo tres copias de buena calidad. En caso de que el trabajo incluya fotografías, el autor debe enviar para el arbitraje dos juegos de fotos originales o fotocopias láser. No se aceptarán fotocopias comunes de fotografías.

Los manuscritos deben ser escritos a doble espacio, no deben exceder las treinta (30) páginas tamaño IRAM A4 (210 x 297 mm) o similar, incluyendo tablas, figuras y referencias bibliográficas, y dejando 2,5 cm en todos los bordes. En casos especiales el Editor podrá aceptar trabajos más extensos.

### CRITERIOS EDITORIALES

Los trabajos serán sometidos a dos arbitrajes como mínimo por los miembros del Comité Editorial Asesor y/ o revisores externos de reconocido prestigio. En función de la opinión de los revisores, el Editor tomará la decisión definitiva sobre el mismo.

Una vez aceptado el trabajo, el autor deberá enviar el manuscrito final en versión electrónica según las instrucciones indicadas anteriormente. El autor recibirá en formato electrónico las pruebas de galera a los efectos de indicar posibles errores o modificaciones menores del texto. Cambios significativos al trabajo en esta etapa solo serán aceptados a discreción del Editor y los posibles costos de esos cambios deberán ser abonados por el autor.

Los autores de los trabajos deberán abonar una suma fija definida por GEOACTA, la que será eximida si uno o más de los autores es miembro de la misma.

### TEXTO

Numerar todas las páginas en forma consecutiva de acuerdo al siguiente ordenamiento:

- Primera Pagina:
- Títulos y autores con sus direcciones y correo electrónico
- Segunda Página y Consecutivas:
- Resumen y Abstract (trabajos en castellano)
- Abstract y Resumen (trabajos en inglés)
- Palabras claves y keywords
- Texto
- Agradecimientos
- Referencias bibliográficas
- Leyendas de las tablas
- Tablas
- Leyendas de las figuras
- Figuras

One file where the text, figures and tables (with their respective captions) integrated in the place where the authors suggested location in format Acrobat Reader. The name of the file will follow the same format indicated for the text file, but include "Ms": Pérez et al Ms.pdf. If the paper is sent by regular mail, it must include a printed copy of the file: Pérez et al Ms.pdf. In the case that the author has no access to software that allows generating a pdf file, the integrated files should sent in either Wordperfect or Word format.

### Printed Format

Since the electronic system for submitting paper is active, only in exceptional cases we will accept printed versions. The previous options is to submit a CD including all files following the electronic format.

If either the electronic submission nor the CD cannot be accomplished in a fully justified manner, then three copies printed in high quality paper must be sent by regular mail. In the case the paper includes photographs; the author must also submit two sets of prints or good quality laser photocopies. Common photocopies of the photos will not be accepted.

Manuscripts must be typed double spaced, up to thirty (30) pages in length including tables, figures and references. Paper size should be A4 (210 x 297 mm) or similar, leaving 2.5 cm in all margins. Longer papers could be accepted under special circumstances by the Editor.

### EDITORIAL CRITERIA

All submitted papers will be reviewed by at least two members of the Editorial Board and/or external referees of recognized prestige. Based on the reviewers opinions, the Editor will take the final decision about it.

When the paper is accepted, the author must submit its final version in electronic format following the instructions provided previously. The author will receive the electronic format of the galley proofs to check for possible mistakes or minor modifications to the text. Major changes to the paper at this stage will only be accepted at the sole discretion of the Editor and the possible extra expenses that may result must be covered by the author.

There is a fix charge per paper defined by GEOACTA. Although, this charge is waived if one or more of the authors is a member of the Asociación.

### TEXT

Number all pages consecutively according to the following order:

- First Page:
- Title and authors including addresses and e-mails
- Second and following pages:
- Resumen and Abstract (papers in Spanish)
- Abstract and Resumen (papers in English)
- Palabras claves and keywords
- Text
- Acknowledgements
- References
- Captions of the tables
- Tables
- Captions of the figures
- Figures

Title page must include the paper title, authors and their institutional addresses with their e-mails. Indication of the corresponding authors if other of the first author. It is advisable to have the telephone and fax numbers of the corresponding author. Resúmenes and abstracts will be less than five hundred (500) words.

Up to five (5) palabras claves and keywords. In short a list of suggested keywords will be included in the web page of the Asociación Argentina de Geofisicos y Geodestas. Keywords should be arranged in order of importance, with the geographical area always last.



La página del título y autores deberá contener el título del trabajo, el nombre del o los autores, sus domicilios institucionales y e-mails. Se deberá indicar a qué autor se enviarán las pruebas de galera y cualquier otra comunicación, como asimismo a qué autor se podrán requerir las separatas del trabajo. Se aconseja enviar los números de teléfono y fax del autor a cargo de las comunicaciones con la editorial.

Los resúmenes y abstracts no deberán exceder las quinientas (500) palabras.

Hasta 5 palabras claves y keywords. En breve se incluirá en la página web de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas un listado de palabras claves sugeridas. Las mismas deberán estar ordenadas por su importancia, con el lugar geográfico al final.

El texto puede ser dividido en partes principales, secundarias y terciarias. Los TÍTULOS PRINCIPALES se colocarán en letra mayúscula, resaltados y centrados en la página. Los títulos secundarios serán colocados en mayúscula y minúscula, resaltados, contra el margen izquierdo. Los títulos terciarios irán en mayúscula y minúscula, resaltados e incorporados al párrafo. Los títulos no deberán ser precedidos por números o letras.

El propósito del trabajo debe estar claramente expuesto en la introducción. Los agradecimientos se colocarán inmediatamente después del texto, con un título de jerarquía terciaria.

Notas al pie de página no serán aceptadas.

Todos los términos no estándar o siglas deben ser definidos durante su primer empleo.

Se utilizará el Sistema Internacional de Medidas para informar datos. Otras unidades pueden ser presentadas entre paréntesis o como unidades primarias cuando no sea posible mostrar su conversión.

## Referencias

Al final del texto se colocará una lista alfabética de todos los trabajos citados, que será encabezada por el título principal REFERENCIAS, para los trabajos en Español o por REFERENCES, para los trabajos en Inglés.

En las citas bibliográficas en el texto sólo se usa el apellido sin nombres ni iniciales. Cuando se trata de dos autores, se los nombra separados por "y"; cuando estén involucrados más de dos autores se utilizará "et al.". En las REFERENCIAS se colocarán todos los autores. No debe utilizarse "(op. cit.)" en ningún caso. Algunos ejemplos:

"...(Orfeo, 1992a,b; Barrio y Coffield, 1992; Mazzoni *et al.*, 1991)."

"...de acuerdo con lo manifestado por Flint y Elliot (1992)."

"...(Cf. Bercowski *et al.*, 1991)."

"...(ver Fig. 3 de Zuffa y Ori, 1992)."

Los trabajos en las REFERENCIAS serán colocados en orden alfabético, sin dejar renglones entre citas, respetando los apellidos en el idioma original, sin abreviaturas, sin reemplazarlos por rayas. El primer autor se cita con Apellido e inicial y los sucesivos con inicial del nombre y apellido. El último autor va precedido de "y" o "and" según el trabajo sea en español o inglés, respectivamente.

Ejemplos de formatos:

Lowell Wine, R., 1966. Statistics for Scientist and Engineers. Prentice-Hall, U.K. pp 671.

Dobrin, M., 1961. Introducción a la Prospección Geofísica. Edit. Omega. Argentina. pp 483.

Turcotte, D. and G. Schubert, 1982. Geodynamics. Applications of continuum physics to geological problems. John Wiley & Sons Inc. pp 450.

Hart, B.S., 1995. Delta form estuaries. En: Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Perillo G.M.E. (Ed). Elsevier, Amsterdam. 207-226.

Text can be divided in primary, secondary and tertiary parts. PRIMARY TITLES are full capital letters, in bold and centred in the page. Secondary titles are in upper and lowercase, in bold and left justified. Tertiary titles are in upper and lowercase, in bold and incorporated in text. Titles will not include numbers or letters.

The purpose of the paper must be clearly stated in the introduction. Acknowledgements will go immediately after the text with a Tertiary title.

Footnotes are not allowed. All non-standard terms or acronyms must be defined at first use.

The International System of units is required for reporting measurements. Other units may be reported in parentheses or as primary units when conversion is not possible.

## References

At the end of the text an alphabetic list of the referents cited in it will be included with the title REFERENCIAS for Spanish papers and REFERENCES for papers in English.

The references will be cited in the text with the last name and date only. When the reference is with two authors it will be used "y" and with more than two authors "*et al.*" In the References the cites should be complete. "(op. cit.)" will not be used in the text. Some examples:

"...(Orfeo, 1992a,b; Barrio y Coffield, 1992; Mazzoni *et al.*, 1991)."

"...de acuerdo con lo manifestado por Flint y Elliot (1992)."

"...(Cf. Bercowski *et al.*, 1991)."

"...(ver Fig. 3 de Zuffa y Ori, 1992)."

The first autor will be cited with the last name and then the initial of the names, the following ones will be cited with name initials and then last name. If the reference is in English language it should be used the word "and" and not "y". Some examples:

Lowell Wine, R., 1966. Statistics for Scientist and Engineers. Prentice-Hall, U.K. pp 671.

Dobrin, M., 1961. Introducción a la Prospección Geofísica. Edit. Omega. Argentina. pp.483.

Turcotte, D. and G. Schubert, 1982. Geodynamics. Applications of continuum physics to geological problems. John Wiley & Sons Inc. 450 pp.

Hart, B.S., 1995. Delta form estuaries. En: Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Perillo G.M.E. (Ed). Elsevier, Amsterdam. 207-226.

Introcaso, A., M.C. Pacino, and H. Fraga. 1992. Gravity, isostasy and andean crustal shortening between latitudes 30° and 35°S. Tectonophysics, 205:31-48.

Miranda, S. y J. A. Robles, 2002. Posibilidades de atenuación cortical en la cuenca Cuyana a partir del análisis de datos de gravedad. Rev. Asoc. Geol. Arg. 57(3): 271-279.

## Tables

Tables should be reduced to a minimum including only information with a concrete relevance to the objectives of the paper. Simple listing of data, unless highly justified, will not be acceptable.

Tables must be numbered consecutively with arabic numbers and provided in a separate page. In case that the table expands more than one page, this must be indicated in each page.

Tables are cited in the text as: "... en Table 1", or "... (Table 1)"

Once the paper is accepted, the autor must provide an electronic version of the tables according with the editorial criteria of GEOACTA. Printed tables will not be accepted.

Introcaso, A., M.C. Pacino, and H. Fraga. 1992. Gravity, isostasy and andean crustal shortening between latitudes 30° and 35°S. *Tectonophysics*, 205:31-48.

Miranda, S. y J. A. Robles, 2002. Posibilidades de atenuación cortical en la cuenca Cuyana a partir del análisis de datos de gravedad. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* 57(3): 271-279.

## Tablas

Las tablas deberán ser reducidas a un mínimo con información que tenga una relevancia concreta con el trabajo. Simple listados de datos, al menos que sean ampliamente justificados, no serán aceptados.

Las tablas deberán ser numeradas en forma consecutiva con números arábigos y cada una en una hoja diferente dentro del archivo de texto. En caso de ser necesario extender la tabla en varias páginas, deberá indicarse que continúa en cada página.

Las tablas se citan en el texto de la siguiente forma: "... en Tabla 1", o "... (Tabla 1)"

## Figuras y ecuaciones

Las figuras deben diseñarse teniendo en cuenta los tamaños de página y/o columna de GEOACTA. El tamaño máximo de impresión para las figuras es 172 x 220 mm para ancho de página o 84 x 220 mm para ancho de columna. El espacio para las leyendas bilingües debe ser incluido en estas dimensiones.

Las figuras deberán ser compactas, evitándose grandes espacios libres o desprovistos de información. Los mapas y los perfiles deberán llevar escala gráfica y coordenadas geográficas.

Las ilustraciones de computadora deberán ser de la más alta calidad de impresión posible, preferentemente realizadas en Corel Draw, Adobe Illustrator o equivalente. Si se envían impresas, las mismas deben realizarse con impresoras láser o de chorro de tinta.

Las letras y números no deben ser menores de 1 mm luego de su reproducción. Las partes de una sola figura pueden ser llamadas (a), (b), (c), etc.

Las figuras compuestas por varias partes deberán ser montadas de modo tal que conformen en lo posible, una sola imagen. Las fotos montadas deben ordenarse de tal manera que no queden espacios en blanco entre las mismas.

Las copias fotográficas deberán ser de buena calidad, en blanco y negro, nítidas, y realizarse en papel brillante de buen contraste, en el tamaño final de reproducción. Las fotos no deben sobrepasar los 84 mm de ancho, ya sean apaisadas o verticales. La escala deberá indicarse con algún elemento cuyas dimensiones se adjuntarán en la leyenda o con una barra de escala.

Láminas de fotos en colores pueden ser publicadas con un costo mínimo extra, a cargo del autor. Se pueden requerir mayores detalles al Editor, previo al envío del manuscrito.

Todas las figuras impresas o papel original deben tener en el reverso el nombre del autor/es y el número de figura.

Los manuscritos impresos enviados por correo normal serán acompañados por fotocopias de buena calidad de las figuras originales, señalándose en forma clara el número correspondiente. Los originales no serán devueltos a los autores después de la publicación, salvo pedido expreso del autor.

Todas las ilustraciones, incluyendo las fotografías, serán denominadas FIGURAS, y en el texto se hará referencia a las mismas como, por ej: "...en la Figura 1 se observan..." o "...ciclos granoderecientes (Fig. 1), comunes en otras facies". Numerar las figuras en forma consecutiva con números arábigos.

Las ecuaciones deben ser preferiblemente escritas con el editor de ecuaciones del editor de texto elegido. Todas ellas deben estar numeradas correlativamente entre paréntesis y justificado a la derecha. Las mismas se citarán en el texto como: "ec. (1)"

Table captions must be bilingual, typed in double space and in a list at the end of the text.

## Figures and Equations

All figures must be designed having the page and column sizes of GEOACTA in mind. Maximum printed size of the figures is 172 x 220 mm for full page or 84 x 220 mm for column width. The figure captions must be included in these dimensions.

Figures must be compact, avoiding large free spaces or lacking information. Maps and geological profiles must have both graphic scales and geographic coordinates.

Computer drawings must be of the highest quality preferably made with Corel Draw, Adobe Illustrator or equivalent. When submitted in print, they must be printed by either laser or inkjet printer.

When reproduced, letters and numbers in figures should be larger than 1 mm. Parts of one figure can be named as (a), (b), (c), etc.

Composed figures must be integrated in such a way as they form one unique figure. In the case of photos, no blank space in between must be allowed.

Photographic prints must be of high quality, black and white, in glossy paper with good contrast and y the final reproduction size. Photos cannot be wider than 84 mm either portrait or landscape. Photos must have some kind of scaling that can be referenced in the caption.

Color plates can be published to a minimum cost to the author. Further details could be requested to the Editor before submitting the manuscript.

All printed figures must have on the reverse the name of the author and the figure number.

Printed manuscript must include high quality copies of the original figures clearly marked with the author name and number. Originals will not be returned unless requested by the author.

All illustrations are Figures and should be referred in the text as, e.g.: "...en la figura 1 se observan..." or "...ciclos granoderecientes (Fig. 1), comunes en otras facies". Figures must be numbered consecutively with arabic numbers.

Equations should be prepared preferable with the equation editor of the selected text editor. All of them must be numbered consecutively between parentheses and right justified. They will be cited in the text as: "ec. (1)"



**IMPRESA MULTIMPRESS**

**PATRICIOS 17/19  
TEL/FAX (0291) 4535766  
BAHIA BLANCA**

**E-mail: [hgr@bvconline.com.ar](mailto:hgr@bvconline.com.ar)  
msn: [multimpres@hotmail.com](mailto:multimpres@hotmail.com)**



Variabilidad de perturbaciones espaciales y temporales de 500 Hpa para sistemas tropicales y extratropicales de Sudamérica <i>Adrián Yuchecheh, Susana Bischoff y Pablo Canziani</i>	1
Aplicación del modelo de transformación de alturas de la Provincia De Buenos Aires, en el partido de General Madariaga <i>Diego Bagú, Raúl Perdomo, Daniel Del Cogliano y Luciano Mendoza</i>	19
Estudio de las variaciones geoelectricas en una tubería de gas en el área de Armprior - Ottawa Canadá <i>Patricia A. Larocca y Virginia M. Silbergleit</i>	27
Hidrografía de la columna de agua en Puerto Cuatros <i>M. Clara Menéndez, Alejandro J. Vitale, M. Cintia Piccolo y Mónica S. Hoffmeyer</i>	33
Estudio de sismicidad en la provincia de Tierra del Fuego, Argentina. <i>Nora C. Sabbione, Gerardo Connon, José L. Hormaechea y María L. Rosa</i>	41
Un modelo de tubo de flujo magnético cilíndrico para la anomalía magnética del Atlántico Sur en la región del plasma <i>Patricia Alejandra Sallago</i>	51
Relación entre grados-día calefacción y refrigeración con el consumo eléctrico de Bahía Blanca <i>Mariana Paula Torrero, María Cintia Piccolo y Alicia Campo De Ferreras</i>	59
Ancestral structure of the Neuquén Basin, evidenced by a deep seismic study <i>Alberto H. Comínguez and Juan R. Franzese</i>	69
Aplicación del índice estandarizado de precipitación a la Laguna Unamuno <i>V.Y. Bohn, M.C. Piccolo y G.M.E. Perillo</i>	75
Dinámica morfológica de los ambientes costeros de Bahía San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro <i>María E. Carbone, Gerardo M. E. Perillo, María C. Piccolo</i>	83
Análisis de la variabilidad del índice PC usando wavelets <i>P. Fernández De Campra y M. Zossi De Artigas</i>	93
Análisis de series de tiempo sobre las bases de la teoría fractal <i>Jorge O. Pierini y Gerardo M. E. Perillo</i>	103
Variación anual de la pesca del langostino y camarón en el estuario de Bahía Blanca <i>Patricia M. Cervellini y María Cintia Piccolo</i>	111
Análisis multitemporal de los usos del suelo mediante aplicación de teledetección y SIG <i>Alejandra M. Geraldí, M. Cintia Piccolo, Gerardo M. E. Perillo</i>	119
Estimación de la dimensión fractal sobre la costa en la Argentina <i>Jorge O. Pierini y Gerardo M. E. Perillo</i>	129
El balneario Maldonado para uso recreativo <i>M. Cintia Piccolo, Nora Pizarro, Augusto Conde, Mónica Baldini, M. Amelia Cubitto y Nedda Chiarello</i>	139
Estudio de la distribución de la precipitación mensual y estacional en la región patagónica Argentina <i>Paula Beatriz Martín y Leonardo Ariel Serio</i>	145
Análisis estadístico de datos gravimétricos. Una herramienta para regularizarlos <i>M. Patricia Martínez, Mónica Morvillo, Mario E. Gimenez, Federico Lince Klinger y Francisco Ruiz</i>	151
Influencia de la excitación hidrológica en la variación anual al movimiento del polo <i>Laura I. Fernández y Claudia A. Brunini</i>	163
Determinación de los parámetros de campo para la adquisición 3d de datos sísmicos <i>Patricia M. Gauzellino, Ángel F. Queizán, Jose Herskovits y Federico G. E. Späth</i>	173
Reproduction of an extended Lorenz equation in a thermal convection loop: analysis of transitions among Stationary orbits and equilibrium points <i>Mario Alberto Jordán, Federico Murray y María Cintia Piccolo</i>	181
Atenuación sísmica de corto periodo en la región de Nuevo Cuyo <i>Gabriela A. Badi, Jesús M. Ibañez Godoy y Nora C. Sabbione</i>	193
<b>Notas Técnicas</b>	
Ampliación de la capacidad de memoria en los magnetómetros de precesión protónica <i>Ricardo Ezequiel García, Julio César Gianibelli, José Hernán Solans y Nicolás Quaglino</i>	207
Infraestructura y monumentación de la estación permanente GPS en el cerro Aconcagua <i>Mauro H. Blanco, Leonardo D. Euillades, Gabriel A. Cabrera, Gabriel A. Cabrera, Luis E. Lenzano y Jorge H. Barón</i>	213
Georreferenciación de puntos altimétricos IGM para la Provincia de Santiago Del Estero. <i>Lucrecia Galván, Claudia Infante e Iber Goitea.</i>	217
Planialtimetría del Arroyo Naposta, entre el camino de circunvalación Bahía Blanca y el derivador del Parque de Mayo <i>Oswaldo M. Fernández, Néilda B. Aldalur, Nora L. Plana, M. Irene Pintos, Karina Neuman, Claudia Bel y Esteban Laffitte</i>	223
Georreferenciación de fotos aéreas - Determinación de la traza de un ducto en Bahía Blanca <i>Pablo E. Napal y Ariel C. Bongiovanni. Col.: Nilda Di Croche, Beatriz Aldalur y Oswaldo Fernández</i>	231
<b>Norma Para Los Autores</b>	237