



ASOCIACION ARGENTINA  
DE GEOLOGIA APLICADA  
A LA INGENIERIA

Córdoba

Número 26 · Mayo 2011

ISSN 1851 - 7838

Número 26 · Mayo 2011

# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Evaluación de la conductividad hidráulica de suelos arcillosos para barreras impermeables de rellenos sanitarios  
*Musso, Marcos - Pejon, Osni Jose*

Gestión de canteras viales en desuso en la provincia de Córdoba, Argentina  
*Vidallé, E. - Gaido, M. F. - López, H. - Bonansea, A. J. - Seia, E. O.*

Medidas de prevención de riesgos para evitar la contaminación de suelos en obradores de proyectos viales  
*Martínez Vera, Diana - Nicolli, José Agustín*

Optimización de las obras de cierre para el control de inundaciones en el noreste pampeano  
*Eberhardt, Marcelo G. - Arrúa, Pedro A. - Aiassa, Gonzalo M. - Terzariol, Roberto E.*

Qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil  
*Nogueira Costa, Aline - da Glória Alves, Maria - Polivanov, Helena - Cardoso da Silva, Gérson Jr. - Mirian Cristina Oliveira da Costa*

Cambios inducidos por obras portuarias en ambientes de playa, Quequén provincia de Buenos Aires, Argentina  
*del Río, Julio Luis - Alperin, Marta - Bó, María Juliana - López de Armentia, Adriana  
Álvarez, Jorge Rubén - Camino, Mariana - Bazzini, Sergio*

Estudio hidroquímico del subsistema geohidrológico activo en la cuenca de los arroyos Martín-Carnaval,  
Buenos Aires, Argentina  
*González, Nilda - Trovatto, M. M. - Alvarez, M. del P. - Hernández, M. A.*

Regionalización de precipitaciones máximas acumuladas de 7, 15 y 30 días para las provincias de Chaco y Formosa  
*Mendez, Guillermo José - Ruberto, Alejandro Ricardo - Pilar, Jorge Victor - Depettris, Carlos Alberto*

Elaboración del mapa de usos del suelo para los cierres previstos sobre el río Colorado  
provincia de La Pampa y Río Negro - República Argentina  
*Rodríguez, Karina Mónica - Celli, Alejandro Emmanuel - Reynal, Héctor Raúl*

Geomorfología cuantitativa aplicada a la identificación de áreas de recarga preferenciales en la llanura interserrana  
de la provincia de Buenos Aires (Argentina)  
*Quiroz Londoño, Orlando Mauricio - Martínez, Gustavo Adolfo - Massone, Héctor Enrique - Martínez, Daniel Emilio*

Institucional. 10º Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Portada: perforación en el cauce del río Santa Cruz, en el cierre Cóndor Cliff Km 250, durante la última etapa de investigaciones geológicas - geotécnicas  
previas al llamado licitatorio para la construcción de presas en Cóndor Cliff y La Barrancosa sobre el río Santa Cruz.  
*Fotografía: Armando Carlos Massabie*

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



**Revista de Geología  
Aplicada a la Ingeniería  
y al Ambiente**



ASOCIACION ARGENTINA  
DE GEOLOGIA APLICADA  
A LA INGENIERIA

# **Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**



Publicación Oficial de la

---

ASOCIACION ARGENTINA  
DE GEOLOGIA APLICADA  
A LA INGENIERIA

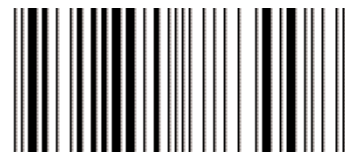
---

Maipú 645, Piso 1º - C1006ACG  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires

editores@asagai.org.ar  
www.asagai.org.ar  
Tel/Fax (011)4322-2820

Número 26 • 2011

ISSN 1851-7838



## MISIÓN Y OBJETIVOS DE LA PUBLICACIÓN

### Misión y objetivos de la publicación

La revista tiene por objeto fomentar la publicación y difusión de artículos originales de calidad en todos los ámbitos de la geología aplicada a la ingeniería y al ambiente; ingeniería geológica y geotécnica; peligrosidad geológica y la difusión de noticias sobre eventos y publicaciones de interés en la temática.

Está dirigida a científicos y profesionales geólogos, ingenieros y tecnólogos.

*The aims of this journal are the publication and diffusion of original quality papers in all fields of engineering and environmental geology; geological and geotechnical engineering; geological hazards and the diffusion of news about related events and publications of interest.*

*It is addressed to scientist and professional geologists, engineers and technologists.*

### Leyenda de protección de derechos de autor

Todos los artículos publicados en esta Revista cuentan con protección de los derechos de autor. Ningún material publicado podrá ser reproducido fotográficamente o almacenado en microfilm, en bases de datos electrónicas, etc. sin obtener previamente el permiso por escrito del editor.

El autor podrá incluir una versión del artículo en su propio sitio Web o en el de su institución. Los Autores podrán reproducir el Artículo, total o parcialmente, y difundir su contenido o ponerlo a disposición del público, en formato impreso o electrónico, como parte de un contenido docente o como una recopilación, para su uso en el ámbito académico o de investigación en la institución a la que pertenezcan, citando que fue publicado en la revista.

### Precio de la revista

Quienes estén interesados en adquirir un ejemplar de la Revista, cuyo costo es de 220 pesos, deberán contactarse con la Editorial ([editores@asagai.org.ar](mailto:editores@asagai.org.ar)).

En la página 101 encontrará el formulario a completar a tal efecto.

Las opiniones vertidas en esta publicación son responsabilidad de los autores y no reflejan posiciones oficiales de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería.

---

REVISTA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA Y AL AMBIENTE

**DIRECTOR**

*MSc Geól. Norberto Jorge Bejerman*  
Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba

**SECRETARIO**

*Geól. Francisco Locati*  
CICTERRA-CONICET  
FCEfyN  
Universidad Nacional de Córdoba

**EDITOR ASOCIADO**

*Prof. Dr. José Chacón Montero*  
Departamento de Ingeniería Civil  
Universidad de Granada  
España

**COMITÉ EDITORIAL**

*Prof. Dr. Helder Iglésias Chaminé*  
Departamento de Engenharia Geotécnica  
Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Politécnico do Porto  
Portugal

*Dr. Julio Luis del Río*  
Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario  
Universidad Nacional de Mar del Plata

*Prof. Dr. Luis I. González de Vallejo*  
Departamento de Geodinámica  
Universidad Complutense de Madrid  
España

*Dra. Silvina A. Marfil*  
Departamento de Geología  
Universidad Nacional del Sur  
Comisión de Investigaciones Científicas  
de la Prov. de Bs. As.

*Dra. Graciela E. Tello*  
Universidad Nacional de la Patagonia Austral  
Unidad Académica Río Turbio

*Dra. Ofelia Tujchneider*  
Grupo de Investigaciones Geohidrológicas  
Departamentos de Hidrología y Ambiente  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas  
Universidad Nacional de El Litoral.  
Santa Fe

**PRODUCCIÓN EDITORIAL**

Encargada de Diseño     *Paula Paredes*  
Webmaster                *Mauricio Balocco*

---

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

**COMISIÓN DIRECTIVA 2010 - 2014**

PRESIDENTE	<i>Norberto Jorge Bejerman</i>
VICEPRESIDENTE	<i>María Beatriz Ponce</i>
SECRETARIO	<i>Rubén A. López</i>
TESORERO	<i>Adrián Angel Silva Busso</i>
VOCAL TITULAR	<i>Fabio S. Luna</i>
VOCAL TITULAR	<i>Cristina Dapeña</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Mabel Mena</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>José L. Guerrero</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>Fernando Díaz</i>
REVISOR DE CUENTAS SUPLENTE	<i>Carlos Marconi</i>

Maipú 645, Piso 1º - C1006ACG - Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
asagai@asagai.org.ar  
www.asagai.org.ar

# INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Staff		I
Comisión Directiva		II
Evaluación de la conductividad hidráulica de suelos arcillosos para barreras impermeables de rellenos sanitarios	<i>Musso, Marcos - Pejon, Osni Jose</i>	1
Gestión de canteras viales en desuso en la provincia de Córdoba, Argentina	<i>Vidallé, E. - Gaido, M. F. - López, H. Bonansea, A. J. - Seia, E. O.</i>	9
Medidas de prevención de riesgos para evitar la contaminación de suelos en obradores de proyectos viales	<i>Martínez Vera, Diana. Nicolli, José Agustín</i>	19
Optimización de las obras de cierre para el control de inundaciones en el noreste pampeano	<i>Eberhardt, Marcelo G.- Arrúa, Pedro A. Aiassa, Gonzalo M. - Roberto E. Terzariol</i>	29
Qualidade das águas subterráneas da Bacia Sedimentar de Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil	<i>Nogueira Costa, Aline Alves, Maria da Glória - Polivanov, Helena Cardoso da Silva, Gérson Jr. Oliveira da Costa, Mirian Cristina</i>	37
Cambios inducidos por obras portuarias en ambientes de playa, Quequen provincia de Buenos Aires, Argentina	<i>del Río, Julio Luis - Alperin, Marta Bó, María Juliana López de Armentia, Adriana Álvarez, Jorge Rubén Camino, Mariana - Bazzini, Sergio</i>	53
Estudio hidroquímico del subsistema geohidrológico activo en la cuenca de los arroyos Martín-Carnaval, Buenos Aires, Argentina	<i>González, Nilda - Trovatto, M. M. Alvarez, M. del P. - Hernández, M. A.</i>	63
Regionalización de precipitaciones máximas acumuladas de 7, 15 y 30 días para las provincias de Chaco y Formosa	<i>Mendez, Guillermo José Ruberto, Alejandro Ricardo Pilar, Jorge Victor Depettris, Carlos Alberto</i>	71
Elaboración del mapa de usos del suelo para los cierres previstos sobre el río Colorado provincia de La Pampa y Río Negro - República Argentina	<i>Rodríguez, Karina Mónica R Celli, Alejandro Emmanuel Reynal, Héctor Raúl</i>	79
Geomorfología cuantitativa aplicada a la identificación de áreas de recarga preferenciales en la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires (Argentina)	<i>Quiroz Londoño, Orlando Mauricio Martínez, Gustavo Adolfo Massone, Héctor Enrique Martínez, Daniel Emilio</i>	91
Instrucciones para autores		99
Formulario de suscripción o compra		101
Institucional.		103





## Evaluación de la conductividad hidráulica de suelos arcillosos para barreras impermeables de rellenos sanitarios

Musso, Marcos <sup>1</sup> ✉ - Pejon, Osni Jose <sup>2</sup>

Recibido: 30 de mayo de 2010 • Aceptado: 23 de diciembre de 2010

### Resumen

*Los suelos arcillosos son usados como barrera de arcilla compactada (CCL) en obras de ingeniería como presas de tierra, lagunas de tratamiento de efluentes y en rellenos sanitarios. Las normativas ambientales de diferentes países coinciden en la necesidad de baja conductividad hidráulica ( $< 10^{-9}$  m/s) de las barreras de fondo. Esto puede ser cumplido usando una barrera de arcilla compactada (CCL) o de geocompuestos de bentonita (GCL).*

*El objetivo de este trabajo es comparar el comportamiento hidráulico de CCLs y GCL. Fueron analizados suelos arcillosos de origen sedimentario de la cuenca de Paraná, de formaciones del Pérmico-Triásico con diferencias en su composición granulometría y mineralógica. Las unidades geológicas elegidas fueron la Fm Corumbataí (San Pablo, Brasil) y la Fm. Yaguari (Uruguay). El GCL estudiado es compuesto por bentonita sódica y es fabricado por la empresa Ober de Brasil. La Fm. Corumbataí está compuesta por illita, la Fm. Yaguari por esmectita cálcica y el GCL por esmectita sódica. A pesar de las diferencias, todos los suelos estudiados cumplen la condición de tener conductividad hidráulica menor a  $10^{-9}$  m/s, exigida por diferentes agencias de protección ambiental para barreras impermeables. Los menores valores de conductividad hidráulica se obtuvieron en el GCL, los valores intermedios en la Fm. Yaguari y los valores mayores en la Fm. Courumbataí.*

**Palabras clave:** Conductividad hidráulica, suelo arcilloso, barreras impermeables.

### Abstract

*Clayey soils have been used as compacted clay liners (CCLs) in civil works as landfill, lagoons and embankments. The environmental legislation of different countries agrees in building bottom barriers with hydraulic conductivity smaller than  $10^{-9}$  m/s. This condition can be reached using compacted clay liners (CCL) and geosynthetic clay liners (GCL).*

*The main goal of this work is to evaluate the hydraulic conductivity of CCL and GCL. Permian-Triassic clayey soils of Paraná sedimentary basin with different particle distribution and mineralogy were studied. The clays from Corumbataí Fm. (San Pablo, Brasil) and Yaguari Fm. (Uruguay) were chosen. The GCL studied is composed by sodic smectite and it is made by Ober in Brasil. Illite, calcic smectite and sodic smectite are the clay mineral in Corumbataí Fm., Yaguari Fm. and GCL respectively. In spite of the differences, all clayey soils show hydraulic conductivity smaller than  $10^{-9}$  m/s so they meet environmental protection agencies requirement to use in liners. The smallest hydraulic conductivity value was obtained in the GCL and the Yaguari Fm. hydraulic conductivity values were smaller than Corumbataí Fm. value.*

**Keywords:** hydraulic conductivity, clayey soil, liner.

<sup>1</sup> Geotécnica, Facultad de Ingeniería - UdelaR, Montevideo, Uruguay

✉ mmusso@fing.edu.uy

<sup>2</sup> Geotecnia, EESC - USP, São Carlos-SP, Brasil

## INTRODUCCIÓN

Los suelos arcillosos son usados en obras de ingeniería donde la estanqueidad del agua es necesaria, como en núcleos de represas hidroeléctricas y de riego, en la base de lagunas de tratamiento de efluentes (Murray 2000). En las últimas décadas se emplea en la base de rellenos sanitarios para residuos urbanos, industriales y peligrosos donde las diferentes normativas de protección ambiental coinciden en la necesidad de tener barreras impermeables de fondo en estas obras.

Para localizar estas obras es necesario realizar un conjunto de estudios geológicos-geotécnicos para identificar los sitios que potencialmente cumplen con diferentes requisitos como: distancia adecuada al centro generador del residuos, apartado de centros poblados, nivel freático en profundidad, suelos arcillosos con espesores de varios metros, entre otros (EPA 1998, Yong et al. 1999, Manassero et al. 2000, CETESB 2008). Sitios con suelos arcillosos son procurados para la localización de los rellenos sanitarios. Se buscan éste tipo de locales dado que la baja conductividad hidráulica es una característica de éstos suelos (Lambe y Whitman, 1996), por lo tanto podrían cumplir con el requisito de conductividad hidráulica menor a  $10^{-9}$  m/s exigido por diversas agencias de protección ambiental (EPA 1998, CETESB 2008). Estos suelos pueden ser usados en las condiciones naturales u homogenizando y compactando, generando barreras de arcillas compactadas (Compacted Clay Liners CCLs) como forma de alcanzar el espesor y la conductividad hidráulica exigidos por la legislación ambiental.

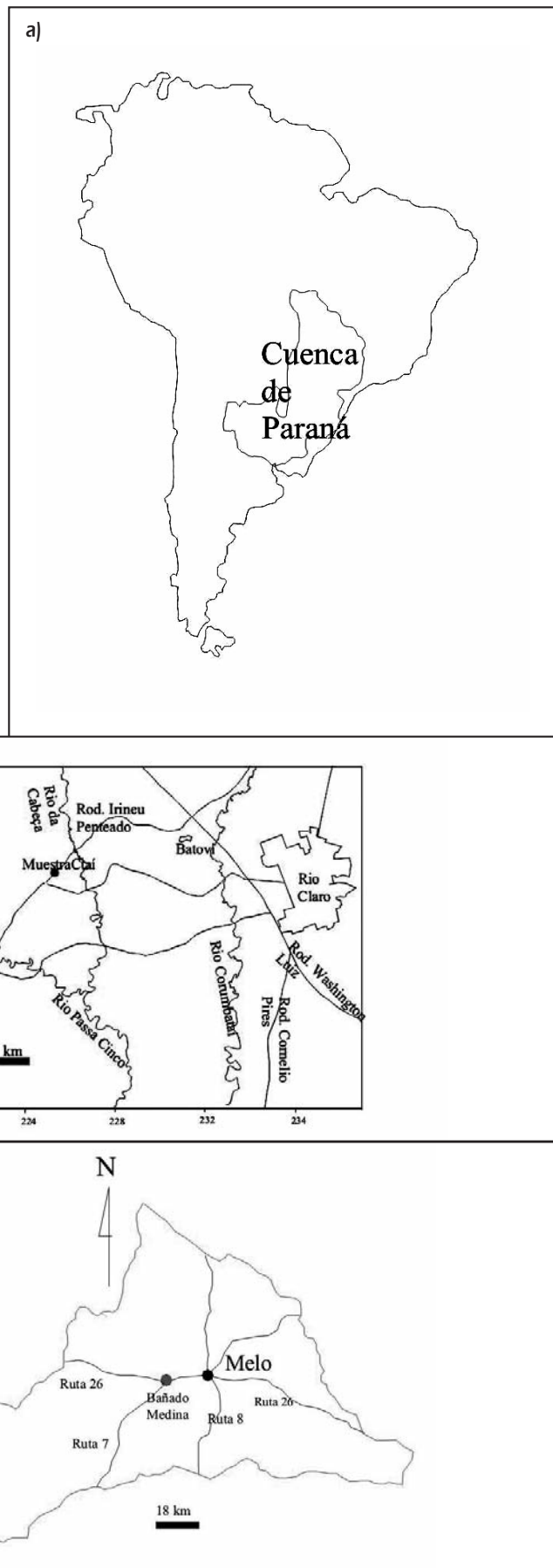


Figura 1. a) Localización de las muestras estudiadas en la Cuenca de Paraná. b) Muestra de la Fm Corumbatai estudiada (Ctai) próxima Río Claro, San Pablo. c) Muestra de la Fm. Yaguari estudiada (BM), Bañado Medina, Cerro Largo.



En el caso de los CCLs, existen trabajos desde la década del 50 evaluando la conductividad hidráulica de suelos con diferentes composiciones mineralógicas. *Mitchell et al. (1965)* determinaron que las condiciones de compactación más adecuadas, para obtener bajas conductividades hidráulicas en suelos arcillosos, se logra aumentando la energía de compactación y compactando en el ramo húmedo de la curva de compactación. De ésta forma la estructura del suelo compactado es el factor más influyente en la conductividad hidráulica de los suelos arcillosos.

Muchos CCLs fueron usados como barreras en rellenos sanitarios, la mayoría con desempeño satisfactorio porque en la definición del proyecto se realizaron ensayos de conductividad hidráulica con fluidos similares a los de servicio durante la vida útil del relleno y los espesores de las barreras eran adecuados (*Daniel 1984*).

Un punto crítico es obtener suelos arcillosos que tengan valores de Conductividad Hidráulica (CH) menores a  $10^{-9}$  m/s y en volumen suficiente para la construcción del piso y los taludes de las obras.

Cuando estos suelos son escasos o no cumplen con el requisito de conductividad hidráulica, es necesario utilizar otras alternativas como la adición de bentonita al suelo, el uso de materiales manufacturados como geocompuestos de bentonita (Geosynthetic Clay Liner GCL) o protecciones con geomembrana. Las investigaciones geológicas-geotécnicas durante el proceso de selección de sitios deben comprender estudios de laboratorio y campo que evalúe las propiedades hidráulicas y mecánicas. Los ensayos de laboratorio tienen la ventaja de un mayor control de las condiciones ambientales y de contorno, en cambio los ensayos de campo representan mejor el comportamiento de los suelos en servicio.

La evaluación de un suelo arcilloso para uso de barrera debe comenzar con el comportamiento hidráulico, y si cumple con los requisitos debe estudiarse además las propiedades de adsorción de contaminantes y la compatibilidad química con el líquido con que estará en contacto durante el tiempo de servicio.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento hidráulico, mediante ensayos de laboratorio, de algunos suelos arcillosos a ser usados como barrera impermeable en el fondo de rellenos sanitarios, comparando el comportamiento de suelos arcillosos compactados (Compacted Clay Liner CCL) con el comportamiento de un geocompuesto bentonítico (Geosynthetic Clay Liner).

## ANTECEDENTES

Fueron analizados un par de suelos arcillosos de origen sedimentario de formaciones del Permo-triásico de la cuenca de Paraná (Figura 1a); cuenca sedimentaria localizada en el centro y este de América del Sur ocupando parte de los territorios de Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay; pero con diferencias en su granulometría y composición mineralógica. Las unidades geológicas elegidas fueron la Fm Corumbataí (San Pablo, Brasil) (Figura 1b) y la Fm. Yaguari (Uruguay) (Figura 1c).

La Fm. Corumbataí (Permo-Triásico) está compuesta por limolitas arcillosas y arcillitas limosas con colores violetas, verdes y castaños, presentando intercalaciones de areniscas calcáreas y areniscas finas. Existen niveles silicificados y calcáreos (*Petri y Fúlfaro 1983*). Éstas litologías afloran en la región de Río Claro, Piracicaba, Limeira y Pirassununga, próxima a la

zona de recarga del acuífero Guaraní, en el interior del Estado de San Pablo, Brasil. En el sur de Brasil esta unidad es dividida en las formaciones Estrada Nova y Río do Rastro.

Variaciones granulométricas y mineralógicas fueron determinadas por *Masson et al. (2000)* y *Christofolletti et al. (2001)* en diferentes horizontes. Identificaron esmectita, illita y caolinita, estando la illita y la caolinita presente en todos los horizontes. En algunos horizontes la esmectita es la arcilla dominante, en otros no se identificó la presencia de este mineral. Un nivel próximo a la ciudad de Río Claro es el estudiado en este trabajo.

La Fm Yaguari (Pérmico) está constituida por areniscas finas a medias con intercalaciones de conglomerados, limolitas y arcillitas (*Preciozzi et al., 1985*). Esta unidad compone parte de la secuencia sedimentaria de la Cuenca del Paraná en Uruguay.

Para *De Santa Ana et al. (2006)* el nivel inferior de la unidad está constituida por areniscas finas a medias arcillosas, cuarzosas y micáceas, de colores gris, verde con láminas violáceas. El nivel superior está compuesto por intercalaciones de areniscas finas y pelitas, éstas con variaciones de colores (verdes, rojas, naranjas). En éste miembro, *Coronel et al. (1987)* identificaron en la región de Bañado Medina diferentes niveles de bentonita compuesta por montmorillonita cálcica, originadas por la alteración de cenizas volcánicas. Estas bentonitas han sido explotados extrayendo y transformando la bentonita mediante activación ácida para decoloración de grasas, aceites, vinos. *Ford y Sergio (1988)* identifican que éstas arcillas tienen potencial uso en catálisis. Esta capacidad fue confirmada en ensayos de determinación de superficie específica con buen desempeño en muestras pilareadas con aluminio, por *Sergio et al. (2006)*. El nivel bentónico identificado como Campo A por *Coronel et al. (1987)* en la región de Bañado Medina es el utilizado en este trabajo.

El GCL estudiado (geocompuesto bentonítico Fortliner) es fabricado por la empresa Ober de Brasil, usando bentonita sódica, con 5000 g/m<sup>2</sup> de bentonita, compuesta por dos geotextiles de polipropileno (geotextil no tejido de 350 g/m<sup>2</sup> de cobertura y geotextil tejido de 120 g/m<sup>2</sup> en la base) espesor de 8 mm (bentonita + geotextiles).

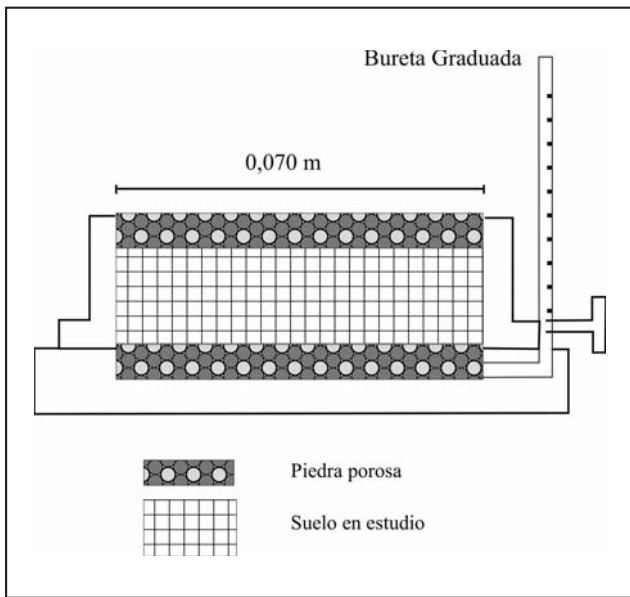
## MÉTODOS

Los suelos fueron caracterizados usando las normas American Society for Testing Materials (ASTM). Se midieron la granulometría, Límites de Atterberg, clasificación de suelos, parámetros de compactación en ensayo Proctor Standard.

La mineralogía de la fracción arcilla fue determinada usando Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Difracción de Rayos X (DRX) usando tubo de cobre siguiendo las recomendaciones de *Grim (1953)*, *Mackenzie (1957)*, *Brown & Brindley (1980)*.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue determinada por el método de azul de metileno según *Pejon (1992)*.

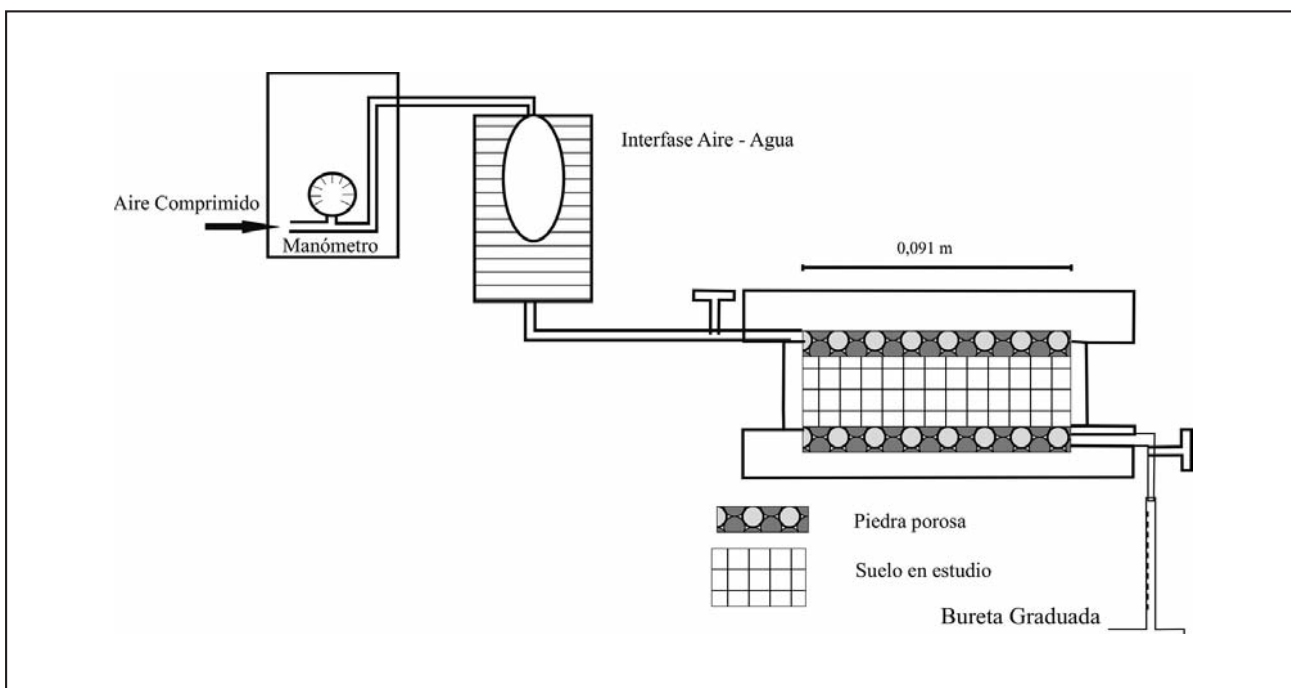
La conductividad hidráulica fue determinada en dos tipos de celdas rígidas, una construida en acero inoxidable y acrílico, y la otra es un anillo edométrico. Los CCLs fueron compactados estáticamente en las condiciones de peso específico seco y humedad obtenidos en el ensayo Proctor Standard y el GCL se dejó expandir hasta alcanzar una porosidad de 78 %. Se determinó la conductividad hidráulica por el método de carga variable, adaptando buretas a las celdas rígidas y a los anillos edométricos. Las muestras tienen 0,070 m de diámetro y 0,020 m de altura



**Figura 2. Edómetro adaptado para determinar conductividad hidráulica**

en los ensayos de los anillos edométricos (Figura 2). En los ensayos de las celdas de acero inoxidable y acrílico las muestras tienen 0,091 m de diámetro, 0,019 m de alto tiene la muestra Ctaí y 0,0095 m de alto tiene la muestra de GCL.

Los ensayos por el método carga constante fueron desarrollados en el sistema de celda rígida mediante la aplicación de presión con aire comprimido (74 a 82 kPa) en un sistema de interfase agua-aire (Figura 3), desarrollado para evaluar el transporte de solutos por advección-dispersión, mayores detalles se encuentran en Musso (2008). En todos los ensayos se usó agua destilada, la cual fue desaireada usando una bomba de vacío.



**Figura 3. Sistema para determinación de conductividad hidráulica usando interfase aire-agua para aplicar carga hidráulica**

## RESULTADOS

En todas las muestras domina la fracción arcilla, con porcentajes variables de limo y arena muy fina (Tabla 1). La muestra del GCL es la que tiene mayor porcentaje de fracción arcilla, en la muestra de la Fm. Corumbataí (Ctaí) la fracción arcilla es de 54%, la muestra de la Fm. Yaguari (BM) tiene valor intermedio de fracción arcilla 58%. Los suelos estudiados tienen alta plasticidad, con valores de límite líquido de 360 % y 490 % para el caso de las muestras BM y GCL respectivamente, característicos de suelos con alto contenido de esmectitas.

Las muestras Ctaí y BM utilizadas en el ensayo de conductividad hidráulica presentan porosidades similares, en cambio la muestra de GCL presenta porosidad mayor.

Los valores de CIC de la muestra total son de 21 cmol/kg, 65 cmol/kg y 91 cmol/kg para las muestras Ctaí, BM y GCL respectivamente. Considerando sólo la fracción arcilla, la CIC obtenidas son 38 cmol/kg, 112 cmol/kg y 130 cmol/kg para las muestras Ctaí, BM y GCL respectivamente. Éstos valores son indicadores de las variaciones mineralógicas de la fracción arcilla.

Analizando los diferentes ensayos de Análisis Térmico Diferencial (ATD) se observan diferencias marcadas. La muestra Ctaí (Figura 4) tiene picos endotérmicos en 180°C y 600°C y pico exotérmico en 950 °C siendo una mezcla de illita, caolinita y quizás algo de esmectita.

La muestra de BM (Figura 4) tiene un pico endotérmico doble entre 160 y 200 °C, asociado con la solvatación de calcio, otro pico endotérmico en 670 °C, corresponde con esmectita cálcica confirmado con el alto valor de CIC.

La arcilla del GCL (Figura 4) presenta un pico en 170°C y picos menos intensos en 650°C y 850 °C correspondiente con esmectita sódica, confirmado por el alto valor de la CIC.

Tabla 1. Propiedades de los suelos estudiados

Muestra	Granulometría			LL (%)	IP (%)	Clasificación (SUCS)	CICtotal (cmol/kg)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\omega_{opt}$ (%)	n (%)
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)							
Corumbataí Ctaí	15	31	54	74	32	MH	21	15,10	24,0	43
Yaguari BM	8	34	58	360	315	CH	65	14,0	24,0	48
Bentonita GCL			70*	490*	432*		91			78

\*Bueno et al. (2002)

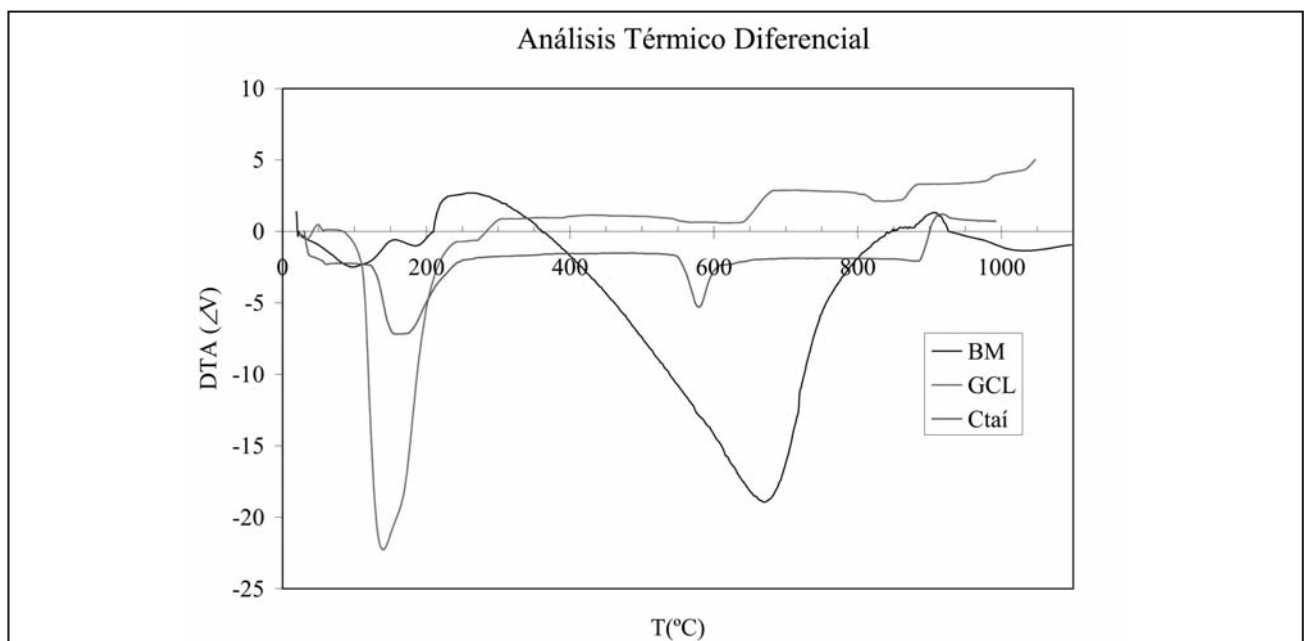
LL - Límite Líquido IP- Índice Plástico  $\gamma_d$  Peso Específico Seco  $\omega_{opt}$  Humedad óptima n - porosidad

Figura 4. Análisis Térmico Diferencial (ATD) - Muestra Ctaí, Muestra BM, Muestra GCL.

El análisis de los diferentes difractogramas muestra diferencias en la fracción arcilla de las muestras. El difractograma de la muestra Ctaí (Figura 5) tiene un pico intenso y abierto en  $8^\circ$  a  $8,5^\circ$  (1,1 a 1,0 nm) correspondiente con illita o interstratificado illita-clorita, verificado con otro pico en  $17,5^\circ$  a  $17,8^\circ$  (0,498 nm). El pico de mayor intensidad  $26,5^\circ$  (0,334 nm) es el pico de mayor intensidad del cuarzo. La muestra de BM (Figura 5) tiene un pico intenso asimétrico y muy abierto en  $6,8^\circ$  a  $7^\circ$  correspondiente con esmectita cálcica. La arcilla del GCL (Figura 5) se identifica un pico intenso y abierto en  $7,3$  a  $7,5$  (1,2 nm) correspondiente con esmectita sódica. El pico en  $26,8^\circ$  (0,332 nm) corresponde al cuarzo.

Evaluando de forma conjunta CIC, ATD y DRX se identifican diferentes mineralogías de la fracción arcilla. La muestra Ctaí esta compuesta por illita y algo de caolinita, la arcilla que compone la muestra BM es esmectita cálcica, en cambio la arcilla del GCL es compuesta por esmectita sódica.

La conductividad hidráulica (CH) fue determinada en las diferentes muestras después de verificada la saturación. Los valores de CH de la muestra Ctaí obtenidos en el edómetro son de  $4$  a  $2 \times 10^{-10}$  m/s usando el método carga variable (Figura 6). En la celda de acrílico y acero inoxidable los valores de CH obtenidos son de  $9$  a  $6 \times 10^{-11}$  m/s en el método de carga constante (Figura 6). La muestra de BM fue ensayada en edómetro (carga variable), obteniéndose valores de  $5$  a  $2 \times 10^{-11}$  m/s (Figura 6). El GCL fue ensayado en carga constante en una celda rígida, obteniéndose valores estables de CH  $2 \times 10^{-11}$  m/s después de 7 días de ensayo (Figura 6).

En todos los casos se cumplen con los requisitos de las legislaciones ambientales (EPA 1998, CETESB 2008) que prescriben valores menores a  $10^{-9}$  m/s, por lo tanto los suelos y el GCL pueden ser usados como barreras impermeables.

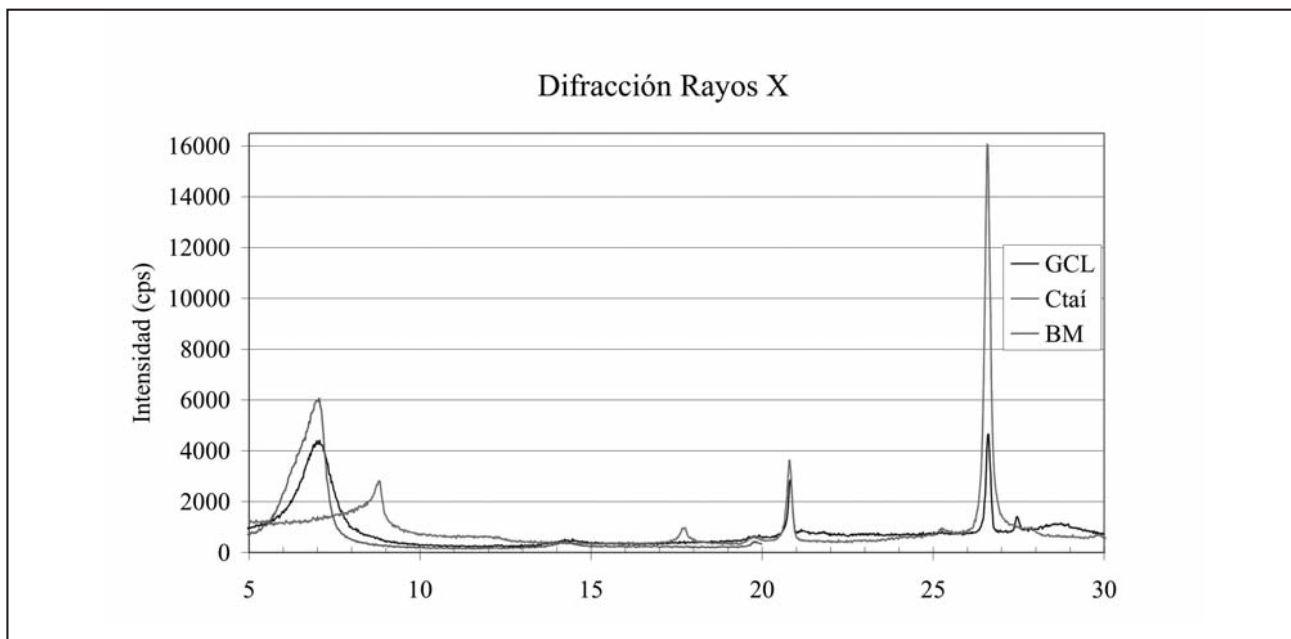


Figura 5. Difracción de Rayos X (DRX) Muestra Ctaí, Muestra BM, Muestra GCL.

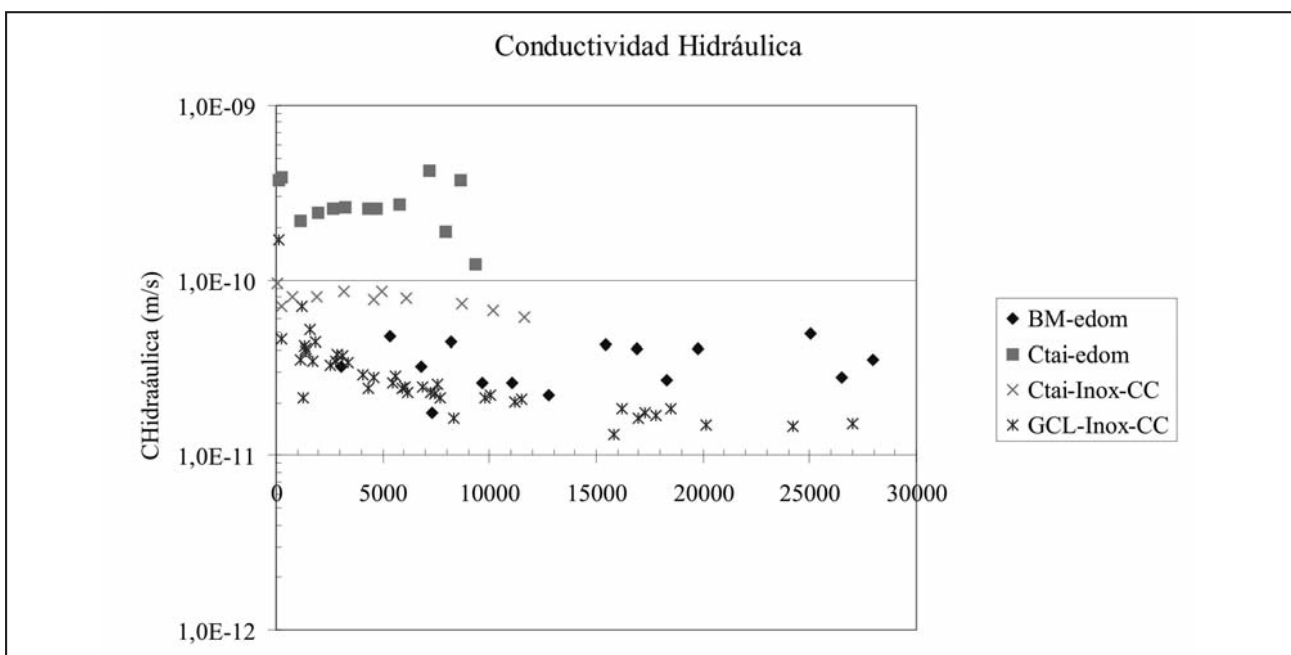


Figura 6. Conductividad Hidráulica –Carga Variable –edómetro muestra Ctaí, Carga Constante muestra Ctaí, Carga Variable –edómetro muestra BM, Carga Constante muestra GCL.

En el ensayo de CH en edómetro el CCL de Ctaí se obtuvieron valores de  $10^{-10}$  m/s mientras que en el CCL de BM los valores obtenidos fueron  $10^{-11}$  m/s. La diferencia de minerales de arcillas (esmeclitas en BM e illita -caolinita en Ctaí) y el porcentaje de fracción arcilla influye en el comportamiento hidráulico de los CCLs. Las muestras con esmeclita tienen los valores menores de conductividad hidráulica, siendo menores los valores de las muestras con esmeclita sódica respecto de las muestras con esmeclita cálcica. Aunque las muestras de Ctaí y BM tienen porosidades menores (43 % y 48 %) que la mues-

tra de GCL (78 %), la conductividad hidráulica de ésta es menor. La presencia de sodio como catión de intercambio en la esmeclita sería el responsable de este comportamiento, dado que genera una doble capa mayor que cuando el calcio es el catión de intercambio, reduciendo la porosidad efectiva.

El comportamiento hidráulico de los suelos es adecuado para uso en barreras y debe estudiarse la compatibilidad química y la adsorción de contaminantes de los diferentes suelos para verificar el desempeño en servicio y a largo plazo.

## CONCLUSIONES

Los suelos estudiados presentan diferentes proporciones de fracción arcilla, 70 % el GCL 54 % la Fm. Corumbataí y 58 % la Fm. Yaguarí.

El suelo de la Fm. Corumbataí estudiado está compuesto por illita y caolinita, en cambio el suelo de la Fm. Yaguarí está compuesto por esmectita cálcica. La arcilla que compone el GCL es esmectita sódica. Estas diferencias influyen en los valores de los límites de Atterberg obtenidos, siendo mayores en el GCL y la Fm. Yaguarí.

Los valores de conductividad hidráulica de los CCLs de Ctaí variaron de  $4 \times 10^{-10}$  m/s a  $6 \times 10^{-11}$  m/s. El GCL y el CCL

de BM tienen valores similares de conductividad hidráulica de  $5$  a  $2 \times 10^{-11}$  m/s, siendo menores los valores de la esmectita sódica del GCL comparados con los valores de la esmectita cálcica que compone BM.

Las diferencias de conductividades hidráulicas son generadas por las distintas mineralogías de las muestras, que tendrían distintas porosidades efectivas como respuesta a las diferencias en el espesor de la doble capa.

En todos los casos los suelos cumplen con los requisitos de las legislaciones ambientales que prescriben valores menores a  $10^{-9}$  m/s, por lo tanto pueden ser usados como barreras impermeables.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BRINDLEY, G. & W.BROWN, G. eds, 1980  
Cristal structures of clay minerals and their X-ray identification.  
*Mineralogical Society Monograph N° 5. 195pp. Mineralogical Society, London.*
- BUENO, B.S., VILAR, O. M., PALMA, S. L. E PIMENTEL, V.E. 2002  
Laboratory studies for the development of a GCL.  
*In: . Zanzinger, Koener y Gartung (eds.) Clay Geosynthetic Barriers. 365-370.*
- CHRISTOFOLETTI, S. R., MASSON, M. R., THOMAZELLA, H.R., FUGIE, A, MORENO, MMT, VALARELLI, J.V., 2001.  
Mapeamento e Caracterização Geológica/Tecnológica da formação Corumbataí com vista ao seu Emprego na Indústria de revestimentos Cerâmicos.  
*Parte II Geologia e correlação entre as minas e jazidas estudadas. Cerâmica Industrial, 6 (1) Jan/Fev. 24-31.*
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) 2008.  
Resíduos urbanos e de serviços de saúde. 2008.  
*Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> . Acesso en: 12-1-2008*
- CORONEL, N. ET AL. 1987.  
Memoria Explicativa de la carta de materias primas minerales no metálicas. escala 1:1.000.000. Dinamige,  
*Ministerio de Industria y Energía. Montevideo. 119 pp.*
- DANIEL, D E.. 1984  
Predicting hydraulic conductivity of clay liners.  
*Journal of Geotechnical Engineering Volumen 100, N°2 285-300.*
- DE SANTA ANA, H.; GOSO, C.; DANERS, G., 2006.  
Cuenca Norte: estratigrafía del Carbonífero-Pérmico in Cuencas sedimentarias del Uruguay:  
Geología, paleontología y recursos minerales del Paleozoico.  
*En Verolavsky, G.; Ubilla, M.; Martinez, S. Eds. D.I.R.A.C. Montevideo Uruguay. 326pp. ISBN-9974-0-0316-4.*
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA-US) 1993.  
Solid Waste Disposal Facilitated Criteria. Technical Manual. EPA 530-R-93-017. 1993.  
*Revised in april 1998. <<http://www.epa.gov/osw>>. Acesso en: 12-1-2008*
- FORD, I. Y SERGIO, M. 1989.  
Caracterización mineralógica y origen probable de la bentonita de Bañado de Medina F. Yaguarí, Ps.  
*Boletín de investigación N° 23, 16pp. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay*
- GRIM, R. E. 1953  
Clay Mineralogy.  
*McGraw-Hill. 384 pp New York.*
- LAMBE, T. W. Y WHITMAN, R. V. 1996.  
Mecánica de suelos.  
*Limusa, 582pp. Mexico*
- MACKENZIE, 1957  
The differential Thermal Investigation of Clays.  
*Mineralogical Society London.*
- MANASSERO, M.; BENSON, C. H; BOUAZZA, A. SOLID WASTE CONTAINMENT SYSTEMS 2000.  
SOLID WASTE CONTAINMENT SYSTEMS.  
International Conference on Geotechnical & Geological Engineering-GeoEng2000.  
*CD-ROM Melbourne. 19-24 November, Melbourne, Australia*
- MASSON, M. R. CHRISTOFOLETTI, S. R., THOMAZELLA, H.R., FUGIE, A., ZANARDO, A., ALEGRE, V. 2000.  
Mapeamento e Caracterização Geológica/Tecnológica da formação Corumbataí com vista ao seu Emprego na Indústria de revestimentos Cerâmicos.  
*Parte I Geologia e correlação entre as minas e jazidas estudadas. Cerâmica Industrial, 5 (6) Nov. Dez. 24-33.*



- MITCHELL, J.K.; HOOPER, D. R.; CAMPANELLA, R. C. 1965.  
Permeability of compacted clay.  
*Journal of Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE, Vol. 91, N° SM4, 41-65.*
- MURRAY H. H. 2000.  
Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview.  
*Applied Clay Science. Vl. 17, Issues 5-6, 207-221.*
- MUSSO, M. 2008.  
Transporte de solutos em barreiras de material argiloso compactado (CCL) e geocomposto bentonítico (GCL): fluxos diretos, acoplados e comportamento membrana.  
*Tesis de Doctorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 227pp.*
- PEJON, O. J. 1992  
Mapeamento geotécnico da Folha Piracicaba- SP (escala 1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos.  
*Tesis. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.*
- PETRI, S. & FÚLFARO, V. J. 1983.  
Geologia do Brasil (Fanerozoico).  
*T.A. Queiroz: Ed. da Universidade de São Paulo. 631pp. São Paulo.*
- PRECIOZZI, F. et al. 1985.  
Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay escala 1:500.000.  
*Dinamige, Ministerio de Industria y Energía., 90pp Montevideo.*
- SERGIO, M.; MUSSO, M., MEDINA; J., DIANO, W. 2006.  
Aluminim-pillaring of a montmorillonitic clay: textural properties as a function of the starting particle size.  
*Adv. in Tech. of MA. and MA. Proc. J. (ATM, ISSN 1440-0731), Vol. 8[1] 5-12*
- YONG, R. N.; TAN, B. K.; BENTLEY, S. P. AND THOMAS, H. R. 1999.  
Competency assessment of two clay soil from South Wales for Landfill liner contaminant attenuation.  
*Quarterly Journal of Engineering Geology, 32, 261-270*





## Gestión de canteras viales en desuso en la provincia de Córdoba, Argentina

Vidallé, E.<sup>1</sup> ✉ - Gaido, M. F.<sup>2</sup> - López, H.<sup>2</sup> - Bonansea, A. J.<sup>1</sup> - Seia, E. O.<sup>1</sup>

Recibido: 16 de diciembre de 2009 • Aceptado: 06 de enero de 2011

### Resumen

*La extracción de áridos representa tanto un disturbio del medio natural como la generación de pasivos ambientales que deben ser remediados posteriormente. El Centro de Gestión Ambiental Córdoba de la Dirección Nacional de Vialidad, en conjunto con la Delegación Córdoba del Servicio Geológico Minero Argentino, llevan adelante desde el año 2008 un Plan de Restauración de Pasivos Ambientales: Canteras Viales en Desuso (CVD).*

*Este Plan consta de varios proyectos interconectados que implican desde la elaboración de un inventario de CVD hasta el desarrollo de proyectos concretos de restauración y bases normativas para la gestión. Hasta el momento se encuentran relevadas todas las rutas nacionales de la provincia y se han caracterizado de manera general pero sistematizada más de 30 unidades. El inicio de las obras de restauración se prevé a partir del año 2011, de acuerdo a las necesidades de cada caso, y las mismas se desarrollarán en el marco del Manual de Evaluación y Gestión Ambiental y la normativa correspondiente.*

**Palabras clave:** Canteras, suelo, restauración, Córdoba.

### Resumo

*A mineração representa um distúrbio no meio natural como também a geração de passivos ambientais, que devem ser remediados posteriormente. O Centro de Gestão Ambiental Córdoba, da Direção Nacional de Vialidade, junto à Delegação Córdoba do Serviço Geológico Minero Argentino, estão desenvolvendo desde o ano 2008 um Plano de Restauração de Passivos Ambientais: Áreas Mineradas Viais em Desuso (Canteras Viales en Desuso-CVD).*

*O Plano está constituído por projetos conetados entre sí, os quais implicam uma série de atividades, desde a inventariação das CVD até a elaboração de projetos concretos de restauração e bases normativas para a gestão. Até hoje tem sido relevadas todas as rodovias nacionais na província, e tem sido caracterizadas de maneira geral e sistematizada. No 2010 está previsto o começo das obras de restauração, que serão desenvolvidas segundo as necessidades de cada caso, assim como no marco estabelecido pelo Manual de Avaliação y Gestión Ambiental e as normas que corresponderem.*

**Palavras-chave:** Áreas mineradas, solo, restauração, Córdoba.

<sup>1</sup> Centro de Gestión Ambiental del 2º Distrito Córdoba, Dirección Nacional de Vialidad (DNV). Dirección: Av. Poeta Lugones 161, CP 5000, Córdoba, Argentina. Tel/Fax: 54-0351-4230020.

✉ cega2dnv@gmail.com

<sup>2</sup> Delegación Córdoba, Servicio Geológico y Minero Argentino (SEGEMAR). Dirección: Av. Poeta Lugones 161, CP 5000, Córdoba, Argentina. Tel/Fax: 54-0351-4244206.

fergai@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

La pérdida de hábitat natural por disturbios antrópicos es una problemática ambiental que ha ganado importancia a nivel mundial en los últimos años, y como consecuencia han surgido investigaciones y prácticas para mitigar los daños ambientales y restaurar los ambientes disturbados (Kopta 1999). La actividad constructiva implica el aprovechamiento de determinados recursos minerales, que son obtenidos por medio de la explotación de yacimientos. La Dirección Nacional de Vialidad (DNV) se ocupa principalmente de la construcción de caminos, además de la elaboración de los proyectos y mantenimiento, requiriendo fundamentalmente el uso de suelo y áridos, extraídos en canteras a cielo abierto. Esta actividad crea un impacto visual negativo al alterar la topografía original (Clemente et al. 2004), y provoca la remoción de la vegetación y del suelo disponible en los taludes, que incrementa la erosión, pérdida de nutrientes, y dificulta el establecimiento de nueva cobertura vegetal (Sort y Alcañiz 1996; Lal y Stewart 1992).

En términos generales, y de acuerdo a lo contemplado en el Manual de Evaluación y Gestión Ambiental (MEGA) que la DNV respeta como pliego ambiental para sus obras, la restauración se define como “regresar a un estado original o a un estado aún más saludable y vigoroso” (Urbanska et al. 1997). No sólo se tienen en cuenta los factores ecológicos y económicos, sino también las consideraciones políticas y sociales (Cairns, 1995). Según la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, comúnmente se utilizan cuatro términos diferentes: restauración, rehabilitación, remediación y reclamación, en función de la posibilidad de recuperación de un ecosistema. Con la restauración se busca la recuperación integral de los ecosistemas degradados; la rehabilitación se refiere a cualquier acto de mejoramiento de un estado degradado, en un intento por recuperar elementos de estructura en función de un ecosistema sin necesariamente pretender completar una restauración ecológica; la remediación es la limpieza de descargas de contaminantes, incluyendo la realización de una evaluación preliminar, investigación del sitio, determinación del alcance del problema, estudio de factibilidad y acciones correctivas; y la reclamación es la rehabilitación llevada a cabo en los sitios más severamente degradados, tales como tierras perturbadas por la minería a cielo abierto o construcción a gran escala (Meffé et al. 1994).

El Centro de Gestión Ambiental de la provincia de Córdoba (CEGA 2) de la DNV se ha propuesto emprender un Plan de Restauración de Canteras Viales en Desuso (CVD), en conjunto con la Delegación Centro del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), dentro de la jurisdicción de la provincia de Córdoba. La primera etapa consiste en la confección de un Inventario de las CVD existentes y la Caracterización de las mismas, a fin de obtener un diagnóstico de la situación actual. A posteriori, se apunta a la proyección y concreción de obras de restauración, a fin de lograr una eficiente gestión de CVD (Vidallé et al. 2008).

El presente trabajo pretende dar a conocer los resultados obtenidos mediante la creación de una planilla de valoración de parámetros que se utilizó para realizar la caracterización de las CVD previamente inventariadas, lo que permitió evaluar las mismas, establecer un orden de prioridades de remediación y gestionar la información obtenida mediante la elaboración de un SIG.

## METODOLOGÍA DE TRABAJO

La provincia de Córdoba, ubicada en el centro de Argentina, se encuentra atravesada de norte a sur y de este a oeste por once rutas nacionales y una autopista (Rosario-Córdoba). Presenta tres eco-regiones claramente diferenciadas, que son la Región Chaqueña al noroeste, la Región Pampeana al sureste y el Espinal en el medio (Cabrerá 1953). Si bien las rutas nacionales se distribuyen por todo el territorio, no todas están asociadas a canteras, sino que algunas no precisaron material suplementario, o bien se realizó compensación lateral. Las canteras relevadas se ubican en zonas aledañas a las rutas nacionales N° 60, N° 9 y Autopista Rosario-Córdoba.

Es sabido que el paso inicial en toda acción de restauración es la elaboración de un inventario y a continuación una metodología de caracterización general de las unidades, mediante planillas que reúnan la información relevante y le atribuyan una valoración adecuada a cada caso (Arranz González 2008). Para avanzar simultáneamente con estas dos etapas, se diseñó una herramienta estandarizada que consiste en una ficha de caracterización de CVD (Figura 1). Esta ficha se completa in situ y recopila información para el inventario, la caracterización del sitio y su entorno, y una evaluación preliminar del estado de la cantera. La elaboración de la ficha se logró después de visitar varias CVD, ajustando parámetros comunes a las labores de extracción de áridos para uso vial. Las variables seleccionadas permiten realizar una clasificación de las canteras, comparaciones entre ellas, y un análisis posterior de su evolución y posibilidades de restauración (Moreno-de las Heras et al. 2008). Se definieron clases de valor comprendidas entre 0 y 3, que se corresponden con un valor numérico atribuido según su importancia en la degradación del ambiente. Dado que se trata de una verificación orientada a una descripción general del lugar y su condición, la medición se realizó por medio de métodos de observación, unificando criterios entre los operadores. Las unidades se georreferenciaron con un GPS Garmin SC Map 60, para medir conductividad, pH y salinidad se utilizó un equipo WP-81 portátil, para otras mediciones y registros se utilizaron herramientas adicionales (lupa, brújula Brunton, cinta métrica, etc.).

Los datos de la ficha se volcaron en una planilla de cálculo que consta de 3 secciones: factores físicos (Figura 2a), biológicos (Figura 2b), y de planificación (Figura 2c). Dentro de planificación, el módulo “manejo del recurso” comprende la señalización, el alambrado y camino perimetral, y el resguardo y uso del suelo vegetal. En función de la complejidad de restauración de cada cantera, se obtuvo el Esfuerzo de Restauración (ER) para cada una. El ER es el resultado de los estados de las variables que caracterizan la cantera, y representa el grado de dificultad para lograr su restauración. A partir de este resultado se clasificó a las CVD como de ER Alto (>30), ER Medio (20-30) o ER Bajo (< 20) (Figura 3).

Por otro lado, se generó una base de datos para facilitar la gestión de las CVD, mediante la utilización del programa Arc View 3.2. Esta herramienta permitió volcar todos los datos obtenidos y plasmar la información en un mapa de la provincia, discriminando diferentes capas.

<b>FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES DE USO VIAL</b>		
PUNTO: _____	CODIGO: _____	FECHA _____
UBICACIÓN: _____		
COORDENADAS: _____		ALTITUD: _____
AGENTES: _____		
DOMINIO: _____		
<b>G</b>	<b>E</b>	MODIFIC. RELIEVE: A (3) M (2) B (1): _____ _____
<b>G</b>	<b>E</b>	MODIFIC. DRENAJE: A (2) B (1): _____ _____
<b>G</b>	<b>E</b>	EROSIÓN: A (3) M (2) B (1): _____ _____
<b>S</b>	<b>S</b>	CONTAMINACION: A (3) M (2) B (1): _____ _____
<b>S</b>	<b>S</b>	SALINIZACIÓN: A (3) M (2) B (1): _____ _____
<b>A</b>	<b>A</b>	CONTAMINACIÓN: A (3) M (2) B (1): _____
<b>A</b>	<b>A</b>	SALINIZACIÓN: A (3) M (2) B (1): _____ VALOR: _____
<b>A</b>	<b>A</b>	EUTROFICACIÓN: A (3) M (2) B (1): _____
<b>A</b>	<b>A</b>	PH: A (3) M (2) B (1): <3, 3-5, >5 VALOR: _____
<b>A</b>	<b>A</b>	CONDUCTIVIDAD: _____ VALOR: _____
<b>A</b>	<b>A</b>	OTROS: _____
<b>F</b>	<b>F</b>	<b>COBERTURA VEGETAL TOTAL:</b> <30 (3) 30-60 (2) >60 (1) _____
<b>F</b>	<b>F</b>	ARBÓREA: <30 (3) 30-60 (2) >60 (1): _____
<b>F</b>	<b>F</b>	ARBUSTIVA: <30 (3) 30-60 (2) >60 (1): _____
<b>F</b>	<b>F</b>	HERBÁCEA: <30 (3) 30-60 (2) >60 (1): _____
<b>F</b>	<b>F</b>	<b>FAUNA:</b> Presencia: Escasa (3) Media (2) Alta (1): _____
<b>F</b>	<b>F</b>	BOSQUE: _____
<b>F</b>	<b>F</b>	HUMEDAL: _____
<b>P</b>	<b>P</b>	<b>TALUD:</b> _____
<b>P</b>	<b>P</b>	INCLINACIÓN: 0°-30° (1) 30°-60° (2) 60°-90° (3): _____
<b>P</b>	<b>P</b>	ESTABILIDAD: A (0) M (1) B (2): _____
<b>P</b>	<b>P</b>	<b>ESTERILES/DESECHOS:</b> SI _____ NO _____ TIPO: _____
<b>P</b>	<b>P</b>	ACUMULACIÓN: No (0) Poco (1) Mucho (2): _____
<b>P</b>	<b>P</b>	TIPO: Contaminante (1) Inerte (0): _____
<b>P</b>	<b>P</b>	<b>TIEMPO DE ABANDONO:</b> < 5 años (3) 5-10 (2) > 10 (1) _____
<b>P</b>	<b>P</b>	<b>PAISAJE</b> (Grado de exposición a rutas) B (0) M(1) A (2) _____
<b>P</b>	<b>P</b>	SEÑALIZACIÓN: SI _____ M _____ NO _____
<b>P</b>	<b>P</b>	ALAMBRADO PERIMETRAL: SI _____ M _____ NO _____
<b>P</b>	<b>P</b>	ACCESIBILIDAD: SI _____ M _____ NO _____
<b>P</b>	<b>P</b>	OTROS: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	UNIDAD GEOLÓGICA: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	MATERIAL EXPLOTADO: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	AREA AFECTADA: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	PENDIENTE GRAL DEL ÁREA: Plana o casi (0) débilmente incl (1) inclinada (2) _____
<b>D</b>	<b>D</b>	PROF. CAPA FREÁTICA: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	ESTADO DE LA LABOR: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	USO ACTUAL DEL SUELO: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	CONTEXTO: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	IMPACTOS: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	PRIORIDAD DE RESTAURACIÓN: _____
<b>D</b>	<b>D</b>	OTROS: _____
ESQUEMA:		

Figura 1. Ficha de caracterización de CVD.

SITIO	FACTORES FÍSICOS								
	GEOMORFOLOGIA		SUELO		AGUA			EROSIÓN	
	MODIF. RELIEVE	MODIF. DRENAJE	CONTAMINACIÓN	SALINIZACIÓN	CONTAMINACIÓN	SALINIZACIÓN	EUTROFICACIÓN	PH	Proceso
	A (2) M (1) B (0)	A (2) M (1) B (0)	A (2) M (1) B (0)	A (2) M (1) B (0)	A (2) M (1) B (0)	A (2) M (1) B (0)	A (1) B (0)	A (1) N (0)	A (2) M (1) B (0)

Figura 2a. Factores físicos.

SITIO	FACTORES BIOLÓGICOS				
	COBERTURA VEGETAL				FAUNA
	TOTAL	ARBOREA	ARBUSTIVA	HERBACEA	PRESENCIA
	<30 (2) 30-60 (1) >60 (0)	<30 (2) 30-60 (1) >60 (0)	<30 (2) 30-60 (1) >60 (0)	<30 (2) 30-60 (1) >60 (0)	Escasa (2) Media (1) Alta (0)

Figura 2b. Factores biológicos

PLANIFICACIÓN										
TALUD			ESTÉRILES/DESECHOS		TIEMPO DE ABANDONO	PAISAJE (exposición a rutas)	DISTANCIA ZONA DE CAMINO	SEÑALIZACIÓN	ALAMBRADO PERIMETRAL	ACCESIBILIDAD
Altura	Inclinación	Estabilidad	Acumulación	Tipo						
<2m (0) > 2m (2)	0°-30° (0) 30°-60° (1) 60°-90° (2)	A (0) M (1) B (2)	No (0) Poco (1) Mucho (2)	Contaminante (1) Inerte (0)	< 5 AÑOS (3) 5-10 (2) > 10 (1)	No (0) M(1) A (2)	0 (5) <200 (2) <500 (1) >500 (0)	Si (0) No (3)	Si (0) M (1) No (2)	B (0) M (1) A (3)

Figura 2c. Planificación.

SITIO	RESULTADOS	
	ESFUERZO DE RESTAURACIÓN	CATEGORÍAS
	ER	
	B (<20) M (20-30) A (>30)	1 (R) 2 (sR) 3 (SR)

Figura 3. Resultados.

**RESULTADOS**

Se inventariaron y caracterizaron 30 canteras, de las cuales 20 se abrieron para la construcción de la Autopista Rosario-Córdoba, 7 para la ruta N° 60, y 3 para la ruta N° 9. La distribución de las CVD se muestra en la Figura 4, y en la Tabla 1 se presenta el inventario simplificado. En función del Esfuerzo de Restauración obtenido, las CVD se ordenaron en 3 categorías: 1) Restauradas (ER bajo), 2) Semi-Restauradas (ER medio), y 3) Sin Restaurar (ER alto). En la Figura 5 se muestra el porcentaje de CVD asignadas a las diferentes categorías.

Se pudo comprobar que los valores de pH del agua de las canteras y de los pozos que extraen agua de la capa freática (entre 3 y 15 m de profundidad) no presentan variación entre sí. En la Figura 6 se observan los valores obtenidos, que son consistentes con otros estudios realizados en la región (Pérez Carrera et al. 2005).

Las canteras inventariadas se enmarcan dentro de la Tercera Categoría (Art. 5, Código de Minería de la República Argentina).

**Categoría 1: Restauradas**

El 13% de las CVD se ubicaron en esta categoría. Se encuentran principalmente en el norte de la provincia, en especial en la Ruta Nac. N° 60, correspondiente a la eco-región del Chaco Occidental. Esta es una zona de clima seco y semiárido, con suelos que crecen en salinidad en un gradiente que culmina en las Salinas Grandes del noroeste de la provincia. Los suelos son limo-arcillosos, y predomina la erosión eólica. Son canteras secas, con alrededor de 40 años de antigüedad. Si bien algunos taludes tienen una pendiente pronunciada, en general no superan los 2,5 m de altura, son muy estables y tienen una

cobertura vegetal que supera ampliamente el 60% del área. No todos los sitios están debidamente señalizados, los alambrados están incompletos, y no presentan caminos perimetrales (Figura 7 a y b).

**Categoría 2: Semi-restauradas**

Estos sitios conforman el 54% y presentan una recuperación parcial o incipiente. Se encuentran en suelos arenosos o loésicos, en general de uso agrícola. Los taludes presentan una altura media de 3 m, y se encuentran desnudos o semi-desnudos. Se encontraron restos de infraestructura sin retirar, residuos sólidos urbanos (botellas, bolsas de nylon, residuos sanitarios, muebles viejos, etc.), y también residuos propios de la actividad agrícola. La señalización es en general deficiente, no poseen camino perimetral, el alambrado perimetral está incompleto y no se encontró registros del suelo vegetal (Figuras 8 a y b).

**Categoría 3: Sin Restaurar**

Esta categoría abarca el 33% de las CVD. Tienen menos de 10 años de antigüedad, y se distribuyen principalmente a lo largo de la Autopista Rosario-Córdoba. Es una zona con suelos de buena aptitud para cultivos, por lo que están inmersas en un contexto históricamente agrícola. Los taludes son casi verticales, superando en muchos casos los 3,5 m de altura, y tienen estabilidad media a baja. La erosión hídrica es el principal proceso que afecta esta zona, en especial por escorrentía superficial. Los suelos muestran graves signos de erosión como surcos y cárcavas, además de una cobertura vegetal menor al 30%.

La región tiene alta densidad poblacional, y estos espacios abandonados se transforman rápidamente en vertederos de las zonas urbanas. Se observan envases de agroquímicos, restos de neumáticos, herramientas oxidadas, plásticos y residuos varios. Muchas están inundadas permanentemente debido a la afectación de la primera capa de aguas subterráneas durante la extracción, o bien por afloramiento del agua tras fluctuaciones de los niveles freáticos. En todas las canteras húmedas consideradas aquí los suelos circundantes al espejo de agua se observan altamente salinizados. Con respecto al manejo del recurso, como en los demás casos hay falencias en cuanto a señalización, camino perimetral y alambrado, y ausencia de suelo vegetal reservado (Figuras 9 a, b, c y d).



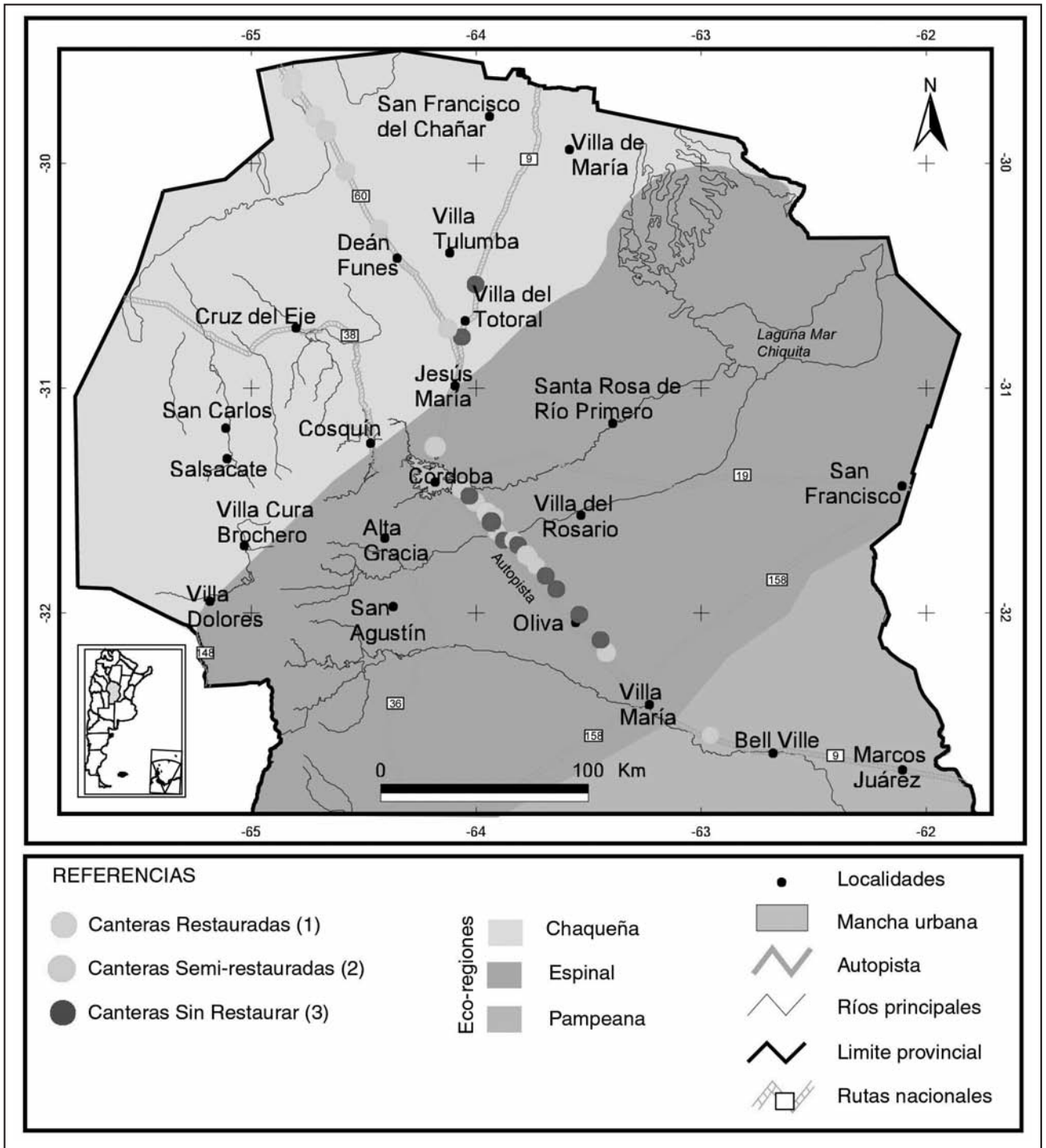


Figura 4. Mapa de ubicación de CVD según categoría.

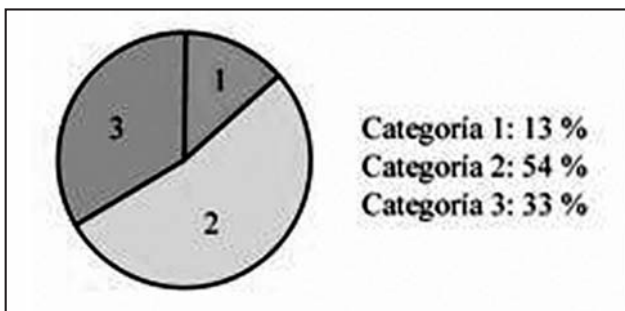


Figura 5. Porcentaje de CVD en las 3 Categorías.

Muestras		pH	Conductividad (µ)
Cantera	Max	9,6	2.810
	Min	8	462
Pozos	Max	9,5	S/D
	Min	8	

Figura 6. Valores de pH y conductividad.



Figura 7a. CVD de categoría 1. Sobre ruta nacional N° 60.



Figura 7b. CVD de categoría 1. Sobre autopista Rosario-Córdoba.



Figura 8a. CVD de categoría 2. Ambas sobre autopista Rosario-Córdoba.



Figura 8b. CVD de categoría 2. Ambas sobre autopista Rosario-Córdoba.



Figura 9a. CVD de categoría 3, húmedas, con residuos, suelos salinizados y taludes inestables. Todas sobre la autopista Rosario-Córdoba.



Figura 9b. CVD de categoría 3, húmedas, con residuos, suelos salinizados y taludes inestables. Todas sobre la autopista Rosario-Córdoba.





Figura 9c. CVD de categoría 3, húmedas, con residuos, suelos salinizados y taludes inestables. Todas sobre la autopista Rosario-Córdoba.



Figura 9d. CVD de categoría 3, húmedas, con residuos, suelos salinizados y taludes inestables. Todas sobre la autopista Rosario-Córdoba.

## DISCUSION

Las etapas en la vida de una cantera están íntimamente relacionadas, de manera que el esfuerzo de restauración depende mucho de la planificación y desarrollo de cada una de las etapas anteriores (Arranz González 2008). Las falencias en la conexión entre las diferentes etapas de la actividad extractiva (exploración, explotación, y abandono) se reflejan en el panorama actual de las CVD en la provincia de Córdoba.

### Categoría 1: Restauradas

Estas canteras fueron excavadas hace más de 40 años, cuando las condiciones ambientales del entorno no habían sido alteradas, constituyendo un parche disturbado en una matriz de hábitat natural que funcionó como fuente de semillas y proveyó condiciones propicias para una recuperación espontánea a lo largo del tiempo. En la actualidad, y con dificultades propias que presentan las limitantes de los ambientes xerófilos, hay una tendencia a expandir la actividad ganadera hacia esta región. A pesar de la importancia de la erosión eólica en el área, no se detectaron situaciones graves de pérdida de suelo o suelo expuesto ya que en la mayoría de los casos la abundante cobertura vegetal provee de protección a la superficie.

En lo que respecta al riesgo de accidentes personales, la peligrosidad es sensiblemente más baja que en otras áreas no sólo por la decreciente densidad demográfica de la zona, sino por la fisonomía y estructura de la comunidad vegetal, caracterizada predominantemente por especies espinosas, dispuestas en macizos densos que dificultan el tránsito. Además, favorecen este aspecto los taludes bajos, estabilizados y cubiertos, como también la ausencia de aguas profundas y de contaminantes.

En estos casos, la intervención del hombre no es imperante. Además, según las últimas tendencias de restauración, en algunos casos es recomendable no actuar, ya que provoca nuevos disturbios. Por ello, se debe evaluar la necesidad de colocar o completar alambrados y señalización.

### Categoría 2: Semi-restauradas

En esta categoría entran canteras con situaciones intermedias entre las ya restauradas y las que no han recibido tratamiento, o éste ha sido insuficiente. Se agrupan sitios con

deficiencias en algún aspecto y fortalezas en otro, por lo que la variabilidad de acciones es amplia en su conjunto, y se restringe en cada caso. En estas canteras se observa una recuperación parcial o incipiente, pero de ninguna manera completa. Aparecen suelos arenosos que convierten los taludes en focos de erosión de relevancia intermedia, y pueden considerarse zonas de peligro, en especial los que superan los 3 m de altura. Asimismo, la situación de la vegetación es variada, encontrándose suelos completamente expuestos o con vegetación ineficiente para la estructuración del suelo, que comienza a sufrir erosión retrogradante, profundizando surcos y cárcavas. Debido a la proximidad con centros urbanos de creciente demografía y al contexto preponderantemente agrícola que los rodea, estos espacios no cuentan con fuentes de propágulos suficientes, y tienen dificultad en completar la sucesión ecológica hacia el ambiente original, como sucede en la primera categoría. Por otro lado, esta misma situación conduce a que prosperen basurales a cielo abierto en sitios periurbanos, sin control y sin tratamiento de residuos, que contaminan los suelos cultivados y el agua que los subyace.

En general, las medidas a tener en cuenta para actuar en estos casos son:

- señalización apropiada, camino y alambrado perimetral completo.
- limpieza de restos de infraestructura, residuos viales y estériles.
- suavizado de taludes inestables ( $>60^\circ$ ).
- prevención de basurales.

### Categoría 3: Sin Restaurar

La Autopista Rosario-Córdoba atraviesa la Región del Espinal y luego la Región Pampeana, donde las prácticas agrícolas se desarrollan casi con exclusividad desde hace más de 150 años y hay una mayor densidad poblacional y tránsito de personas. Este aspecto no ayuda a una restauración espontánea, sino que, por el contrario, vuelve el sitio más vulnerable a la erosión (tanto eólica como hídrica), agrava la pérdida del sedimento transportado, provoca la falta de fuentes de dispersión de especies nativas, y a la vez incentiva el establecimiento de especies exóticas ruderales y/o invasoras. Esto, sumado al corto

plazo de tiempo ocurrido desde el abandono hasta la actualidad, deja escaso margen de posibilidades para una restauración natural, dificultando la sucesión ecológica hacia el ambiente original. Los taludes altos y verticales, desprotegidos, erosionados y sin espacio entre el hueco y el alambrado aledaño, representan un serio peligro para las personas que trabajan los campos vecinos, como también aquellos transeúntes o niños que las utilizan como sitios de recreación. Se evidencia en este sentido una necesidad social de áreas de esparcimiento, ya que en las canteras se encuentran con frecuencia restos de productos alimenticios, de proyectiles utilizados para la caza de patos, pistas de bici-cross, y otros signos de uso antrópico. La mayoría de las canteras húmedas se encuentran en esta zona, dado que la capa freática está próxima a la superficie. En todos los casos el agua queda en contacto con la atmósfera, expuesta a las condiciones ambientales que reinan en la superficie. Por otro lado, los cuerpos de agua resultaron un obstáculo para conocer la profundidad real de las excavaciones, lo cual nos impidió conocer si estamos frente a potenciales basurales encubiertos, ya que en todos los casos encontramos residuos de diverso tipo en la periferia de las mismas. Todos estos sitios representan serios peligros para los pobladores de la zona, debido a las condiciones de los taludes, a la profundidad del agua, a la contaminación de los recursos, y/o a la proximidad con los residuos que en ellas se depositan.

Como consecuencia, la restauración de estas canteras involucra diversas acciones:

- señalización adecuada y alambrado perimetral completo.
- suavizado de taludes (<60°).
- revegetación de taludes y pisos.
- facilitación de fijación de taludes (vegetación o mallas).
- armonización de relieves y formas con el paisaje local.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ARRANZ GONZÁLEZ J.C., 2008.

Planes de actuación sobre territorios con abundantes pasivos ambientales mineros. IGME. *Seminario Evaluación y recuperación ambiental de espacios mineros. Pasivos ambientales mineros, Centro de Formación de la AECID. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.*

CABRERA A.L., 1953.

Esquema fitogeográfico de la República Argentina. *Ministerio de Educación. Buenos Aires, Argentina.*

CAIRNS A.J.G., 1995.

Pension funding in a stochastic environment: the role of objectives in selecting an asset-allocation strategy. *Proceedings of the 5th AFIR International Colloquium, Volume I: 429-453.*

CLEMENTE A.S., C. WERNER, C. MÁGUAS, M.S. CABRAL, Y O. MARTINS-LOUÇAO Y CORREIA, 2004.

Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs. *Restoration Ecology, Volume XII: 20-28.*

KOPTA F., 1999.

Problemática ambiental con especial referencia a la provincia de Córdoba, Capítulos 2, 3 y 4. *Fundación Ambiente, Cultura y Desarrollo ACUDE. Córdoba, Argentina.*

MANUAL DE EVALUACIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL DE OBRAS VIALES II (2007)

Dirección Nacional de Vialidad. Buenos Aires, Argentina.

MEFFÉ G.K. Y C.R. CARROL, 1994.

Principles of Conservation Biology. *Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.*

- uso de pantallas visuales naturales.
- rediseño de las formas finales que permitan implementar un uso alternativo.
- limpieza de restos de infraestructura, residuos viales y estériles.
- prevención de nuevos basurales.
- remediación de basurales no oficiales ya establecidos.

*Moreno-de las Heras et al. (2008)* señalan que los factores conductores de la restauración en muchos ecosistemas son principalmente:

- condiciones iniciales de calidad del suelo (uso de suelo vegetal, fertilización, etc.)
- condiciones ambientales (clima y proximidad a sitios naturales conservados)
- prácticas de revegetación apropiadas
- procesos erosivos
- selección adecuada de sitios de explotación

De acuerdo con los resultados encontrados en este trabajo, la situación actual de las diversas CVD de la provincia parece asociarse fuertemente con estos factores conductores. Frente a la necesidad de determinar cuán significativa es la influencia de tales aspectos sobre la evolución de las canteras, es necesario realizar futuros trabajos para medir las variables indicadoras, monitorearlas a lo largo del tiempo, y someterlas a un análisis estadístico. Mientras tanto, a partir del diagnóstico obtenido en este trabajo, se pueden comenzar actividades de remediación prioritarias como adecuar la señalización y alambrado de los pozos, y la elaboración de proyectos según las necesidades y prioridades de la DNV.

- MORENO-DE LAS HERAS M., J.M. NICOLAU, Y T. ESPIGARES, 2008.  
Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment.  
*Ecological Engineering, Volume XXXIV: 168-178.*
- PÉREZ CARRERA A., C. MOSCUZZA Y C.A. FERNÁNDEZ, 2005.  
Contenido de macrominerales en el agua de bebida de tambos en la provincia de Córdoba (Argentina) y su relación con los requerimientos de bovinos de leche.  
*Revista Argentina de Producción Animal, Volume XXIV: 115-121.*
- SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACIÓN, 2005.  
Glosarios ambientales. Buenos Aires.  
*Disponible en [http://www2.medioambiente.gov.ar/bases/glosario\\_ambiental](http://www2.medioambiente.gov.ar/bases/glosario_ambiental).*
- URBANSKA K.M., N.R. WEBB Y P.J. EDWARDS, 1994.  
Restoration ecology and sustainable development.  
*Cambridge University Press.*
- VIDALLÉ E., M.F. GAIDO, A.J. BONANSEA Y E.O. SEIA GOÑI, 2008.  
Plan de restauración de pasivos ambientales: canteras viales en desuso.  
*Actas del 1º Congreso Argentino de Áridos, Volumen I: 143-148. Mar del Plata, Argentina.*



# Medidas de prevención de riesgos para evitar la contaminación de suelos en obradores de proyectos viales

Martínez Vera, Diana<sup>1</sup> ✉ - Nicolli, José Agustín<sup>1</sup>

Recibido: 03 de junio de 2010 • Aceptado: 13 de enero de 2011

## Resumen

*El objeto del presente trabajo es mostrar las medidas de prevención de riesgos ambientales que se aplican en Obradores de Construcción de Proyectos Viales, para impedir la contaminación de suelos por derivados de hidrocarburos.*

*De acuerdo a las formas y a las causas de la contaminación de suelos se justifica la elaboración de procedimientos operativos para la instalación de tanques de combustibles, procedimientos para la instalación de plantas de producción de asfalto, procedimientos de manejo ambiental de contingencias, procedimientos de trabajos específicos para mantenimiento de equipos y máquinas viales y procedimientos de manejo ambiental de residuos generados en obra.*

**Palabras clave:** *Obrador, procedimientos operativos, contaminación de suelos, hidrocarburos.*

## Abstract

*The object of the following study, is to show the risk measures of environmental prevention that are applied in the work camp of road projects to avoid the contamination of the ground with hydrocarbon derivatives.*

*Because of the different ways and causes of ground contamination, it is justified to make operative procedures for the assembling of fuel tanks, environmental contingencies, plants of asphalt, production of specific tasks for the maintenance of road equipment and machines and procedures to manage the environmental residues of the construction.*

**Key words:** *Work camp, operative procedures, ground contamination, hydrocarbons.*

## INTRODUCCIÓN

En un Proyecto de Construcción de Obras Viales, el centro operativo - administrativo, se denomina "OBRADOR". Normalmente es un predio ubicado en el centro de gravedad de las operaciones de construcción. Las dimensiones de los mismos están relacionadas con las necesidades del apoyo logístico al Proyecto.

Dado de que no existe bibliografía al respecto, hemos elaborado una guía que sirva de antecedente para identificar, analizar y evaluar los riesgos ambientales potenciales de contaminación de suelos, que surgen de este tipo de actividad.

<sup>1</sup> BENITO ROGGIO E HIJOS S.A.

✉ dianapmv@yahoo.com

En general, en un Obrador tipo podemos identificar:

- Área de Operaciones y Administración: oficinas de Jefaturas Operativas y Administrativas.
- Área de oficinas de Inspección de Obra (Comitente).
- Servicios de Infraestructura de Obra (vestuarios - baños-comedor).
- Almacenes Generales.
- Talleres de Mantenimiento de Equipos y Vehículos Viales.
- Laboratorios.
- Plantas de elaboración de Asfalto y/u Hormigón
- Depósitos de Combustibles
- Playa de descarte de Materiales de Obra.
- Depósito de Residuos Peligrosos

Entre estas instalaciones en el Obrador, consideraremos las siguientes como objeto de estudio del presente trabajo:

- Taller de Mantenimiento
- Depósito de Combustibles
- Planta de Elaboración de Asfalto

El Taller de Mantenimiento es una instalación donde se ejecutan tareas de reparación y mantenimiento de equipos y máquinas viales. Dentro de estas tareas se realiza el almacenamiento transitorio de aceites y filtros usados, los cuales constituyen la mayor cantidad de residuos peligrosos generados en este tipo de obras.

El Depósito de Combustibles es una instalación de almacenamiento, generalmente de gas oil, para la provisión de combustibles a máquinas viales. Los volúmenes de almacenamiento, normalmente no exceden los cien metros cúbicos.

La Planta de Asfalto es una de las instalaciones principales del Obrador. En ella se elabora el producto final para la construcción de la carpeta asfáltica de la Obra. Generalmente produce un promedio de unas ciento ochenta toneladas por hora.

La causa de la contaminación por derivados de hidrocarburos, corresponden a:

- Instalaciones inexistentes
- Instalaciones deficientes
- Malas prácticas en Prevención de Riesgos

De acuerdo a las formas y a las causas de la contaminación de suelos establecidas se determina la elaboración de procedimientos operativos para la instalación de tanques de combustibles; procedimientos para la instalación de plantas de producción de asfalto; procedimientos de manejo ambiental de contingencias; procedimientos de trabajos específicos para mantenimiento de equipos y máquinas viales; procedimiento de manejo ambiental de residuos generados en obra.

Por lo expresado anteriormente, el objetivo del presente trabajo, es mostrar las medidas de Prevención de Riesgos Ambientales, que se aplican en Obradores de Construcción de Proyectos Viales, para impedir la contaminación de suelos por derivados de hidrocarburos.

## DESARROLLO

### Aspectos Legales

Legislación Nacional y Provincial

Para el presente trabajo son de aplicación los siguientes instrumentos legales a nivel nacional:

- *Ley N° 19.587 "Higiene y Seguridad en el Trabajo"*.

La higiene y seguridad en el trabajo comprende las normas técnicas y medidas sanitarias, precautorias, de tutela o de cualquier otra índole que tengan por objeto:

- a) Proteger la vida, preservar y mantener la integridad físico de los trabajadores;
- b) Prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo;
- c) Estimular y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de los accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.

- *Decreto Reglamentario N° 351/79*.

En el presente decreto se pone de manifiesto la necesidad, de actualizar los métodos y normas técnicas, unificar criterios referidos a Medicina, Higiene y Seguridad en el Trabajo, para agilizar su aplicación en las industrias manufactureras y de servicios.

Estos métodos y normas técnicas se aplican en el ámbito de los obradores de la obra.

- *Decreto Reglamentario N° 911/96 "Riesgos en la Industria de la Construcción"*.

Reglamento de Higiene y Seguridad para la industria de la construcción. En este decreto se reglamentan las acciones de seguridad e higiene en el ámbito de las obras de construcción para la prevención de riesgos laborales que puedan afectar directa e indirectamente a los trabajadores.

Estas acciones se aplican a los puestos de trabajo en los distintos frentes de obra.

- *Ley N° 24.557 "Riesgos del Trabajo"*.

Son objetivos de la Ley sobre Riesgos del Trabajo (LRT):

- a) Reducir la siniestralidad laboral a través de la prevención de los riesgos derivados del trabajo;
- b) Reparar los daños derivados de accidentes de trabajo y de enfermedades profesionales, incluyendo la rehabilitación del trabajador damnificado;
- c) Promover la recalificación y la recolocación de los trabajadores damnificados;
- d) Promover la negociación colectiva laboral para la mejora de las medidas de prevención y de las prestaciones reparadoras.

- *Ley N° 25.675 "Ley General del Ambiente"*.

Presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Principios de la política ambiental.

Esta normativa se toma como referencia por el impacto ambiental que se produce en los suelos por la contaminación con hidrocarburos en los distintos frentes de obra.



- Ley N° 13.660 “Elaboración, Transformación y Almacenamiento de Combustibles Sólidos Minerales”.

Se determinan la metodología de trabajo para satisfacer la seguridad y salubridad de las poblaciones, la de las instalaciones mencionadas, el abastecimiento normal de los servicios públicos y privados de combustibles sólidos minerales.

De acuerdo con esta legislación y sus normativas complementarias de la Secretaría de Energía de la Nación, se realizan los trabajos constructivos para la instalación de los depósitos de combustibles en las obras.

- Ley N° 22.428 “Conservación y Recuperación de la Capacidad Productiva de los Suelos”.

Esta ley establece los parámetros de conservación y recuperación de los suelos. Estableciendo cuales son las obligaciones de las provincias en el cumplimiento de la misma.

- Ley N° 24.051 “Residuos Peligrosos”.

La generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición de residuos peligrosos forman parte de los Programas de Manejo Ambiental que la empresa pone en marcha en los frentes de trabajo, incluyendo la capacitación al personal y la comunicación a la comunidad.

- Reglamento General para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera.

El transporte de hidrocarburos para el abastecimiento en obra, debe ser realizado respetando lo expresado por esta normativa y debe ser exigido en su cumplimiento a quienes proveen tal insumo.

En el territorio de las Provincias, se dará cumplimiento a las legislaciones locales.

Normas y Procedimientos Internos de la Empresa:

- Procedimiento para la Instalación de Tanques de Combustibles Aéreos.
- Procedimiento para la Instalación de Tanques en Planta de Asfalto.
- Procedimientos para Depósitos de Tambores de Hidrocarburos.
- Especificaciones Técnicas para la Construcción de los Depósitos de Residuos Peligrosos.
- Planes de Gestión Ambiental:
  - Programa de Manejo de Suelo
  - Programa de Residuos Asimilables a Urbanos y Especiales de Obra
  - Programa de Residuos Peligrosos
  - Programa de Abandono de Obradores
  - Programa de Capacitación
  - Programa de Almacenamiento de Hidrocarburos
  - Programa de Instalación y Operación del Lavadero de Vehículos, Máquinas y Equipos
  - Programa de Manejo de Contingencias Ambientales

Los Programas mencionados anteriormente, contienen los siguientes puntos: Objetivos, Alcances, Metodología, Responsables y Coordinación General.

### Taller de mantenimiento

El ciclo completo de las actividades que se desarrollan en el Taller de Mantenimiento de Equipos y Máquinas Viales es el siguiente:

- Ingreso del equipo
- Lavado
- Desarme
- Reparación
- Ensamblado
- Pintura
- Prueba
- Entrega del equipo

### Depósito de combustibles

El Depósito de Combustibles es una instalación cuya función es el suministro de combustible. Se emplaza dentro de las instalaciones del obrador, porque supone un acceso rápido y cercano. Además de representar un beneficio económico, ya que el combustible es comprado directamente a la petrolera, disminuyendo su costo.

El Depósito de Combustibles está conformado por:

- Una platea de hormigón impermeable para evitar filtraciones.
- Un muro de contención impermeabilizado.
- Los tanques de almacenamiento, con capacidades de 10 a 40 m<sup>3</sup>.
- Una rejilla colectora perimetral conectada a una cámara decantadora subterránea.
- Una platea de hormigón donde se estacionan los equipos para la carga de combustible.
- Puesta a tierra de las instalaciones.
- Tableros e instalaciones eléctricas.
- Cartelería.
- Instalaciones de protección contra incendios.

### Planta de elaboración de asfalto

Es una planta de tipo continua, con tambor secador-mezclador, anillo para incorporación de material reciclado y colector de polvos por vía húmeda, para lo cual necesita piletas para decantación de los barros.

Para su montaje es necesaria una grúa de 20 Tn, para montar el elevador, el recuperador de finos, el purificador de vía húmeda y los tubos de las chimeneas. El resto de la planta está toda fundada sobre nivel de terreno y no necesita equipos especiales para su montaje.

Además por tener el tambor secador, el elevador de canchales y el silo de almacenamiento en un solo chasis, su montaje es rápido y sencillo.

Posee tambor secador-mezclador de flujo paralelo, es decir, que el material virgen ingresa por el extremo donde está ubicado el quemador. Debido a este diseño, los gases de escape deben salir del tambor a una temperatura mayor a la de la mezcla, ya que salen por el mismo extremo.

Al poseer un colector de finos de tipo seco antes del purificador de vía húmeda, esta planta retiene mayor cantidad de



finos. Los finos son inyectados en la parte inferior del elevador de cangilones y se mezclan con el material que viene del tambor secador, en el homogeneizador que hay en la parte superior, para obtener así una mezcla homogénea.

El sistema computarizado de comando permite un control permanente sobre los parámetros críticos de la producción, para obtener una mezcla de calidad uniforme en forma permanente.

Los siguientes son los componentes principales de una planta de elaboración de asfalto:

- Silos Predosificadores.
- Alimentadores de Correa.
- Conjunto Tambor, Elevador, Silo y Cabina de Comando.
- Recuperador de finos.
- Purificador de aire vía húmeda.
- Sistema de Asfalto.
- Tanque para almacenamiento y calefacción de asfalto.
- Tanque para almacenamiento y calentamiento de fuel-oil.
- Cartelería.
- Instalaciones de protección contra incendios.

#### DETERMINACIÓN DE LOS RIESGOS POTENCIALES

Los impactos ambientales que se producen en este tipo de obras varían de acuerdo a dos cuestiones fundamentales, si la obra es una traza nueva o si la obra es una adecuación de una calzada ya existente. De acuerdo a esto, se plantean metodologías de trabajo diferentes y por consiguiente los impactos producidos en el medio serán distintos.

Los impactos ambientales se determinan generalmente en el Estudio de Impacto Ambiental, que se presenta durante la etapa de proyecto de la obra. Los impactos que se detectan afectan al medio natural y socioeconómico, por lo cual deben desarrollarse programas para la preservación de los recursos afectados.

Si bien es de destacar que las obras viales tienen un importante número de impactos negativos durante la etapa de construcción, los mismos resultan de corta duración, con la posibilidad de revertir y recuperar el medio impactado. Es necesario recordar en este punto que los impactos positivos se verán en la etapa de operación de la obra, dando lugar al incremento de las actividades productivas de la región y de los centros poblados circundantes, al mejoramiento de la infraestructura, al acceso a centros de salud, educativos y recreativos, etc.

En este caso se analizarán los impactos sobre el factor ambiental suelo. Se ha determinado que las formas más comunes de contaminación son las siguientes:

- Derrames de hidrocarburos en trabajos de cambios de aceite y mantenimiento de máquinas y equipos.
- Derrames producidos por trasvase de residuos a tambores de almacenamiento.
- Derrames producidos por rotura de tambores de almacenamiento de aceites nuevos y usados.
- Derrames producidos por falta de mantenimiento o rotura de máquinas y equipos.
- Pérdidas de combustibles en uniones de tanques a bomba y cañerías de distribución.

- Derrames producidos en la carga de los vehículos por instalación deficiente o mala práctica.
- Pérdidas por uniones deficientes de los distintos componentes de la Planta.
- Derrames producidos en la carga de materia prima (asfalto - emulsiones - fuel oil).

Como se puede observar, estos impactos se producen asociados a las actividades que se desarrollan en los obradores y en especial en el sector de mantenimiento.

Es por ello que las medidas de prevención de la contaminación se concentran en estas actividades.

Es necesario realizar tareas que prevengan la contaminación y preserven: los suelos de la erosión hídrica y eólica, la estabilidad física y química de los suelos, su grado de permeabilidad natural, su calidad desde el punto de vista de su uso, relacionada generalmente con la actividad productiva que se realiza en ellos.

Desde el punto de vista de la Higiene y Seguridad, también se producen daños a la salud, derivados de los impactos sobre el suelo:

- Daños a las vías respiratorias (los vapores de las sustancias derramadas suelen causarlos).
- Daños en la piel / vista (ocasionados por el contacto directo con la sustancia derramada o con los vapores).
- Daños por ingestión.

Los residuos peligrosos generados en las instalaciones del obrador y dentro de las actividades de la obra, corresponden a los descriptos en la Tabla 1.

Tabla 1. Residuos peligrosos generados

Y 08	Desechos de aceites minerales no aptos para el uso al que estaban destinados
Y09	Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua
Y11	Residuos alquitranados
Y 48	Sólidos contaminados con algunas de las tres anteriores categorías

Estos residuos son llevados a operadores habilitados para su tratamiento y disposición final. De acuerdo a la zona geográfica donde se encuentre la obra, existe una oferta diferenciada de operadores de residuos por lo que los tratamientos que se realizan son diferentes en cada caso. Generalmente se prioriza la oferta local, por cuestiones legales (la jurisdicción del Registro de Residuos Peligrosos local) y por cuestiones económicas (incidencia de los kilómetros recorridos en el costo total del tratamiento de los residuos).

#### MEDIDAS DE PREVENCIÓN

La Empresa lleva a cabo un Plan de Gestión Ambiental, cuyo objetivo general es el cumplimiento de la legislación ambiental vigente. Esto conlleva a la realización de actividades y tareas operativas en el marco de las obras viales, focalizadas en la prevención y tendientes a la preservación del medio natural.

En ese marco se desarrolló el Plan de Manejo de Suelos, cuyo objetivo es prevenir y compensar el deterioro del recurso suelo en la zona de influencia del proyecto como resultado de las actividades de construcción.

Teniendo en cuenta el Plan de Manejo de Suelos, se ha llevado a cabo lo siguiente:

*1. Derrames de hidrocarburos en trabajos de cambios de aceite y mantenimiento de máquinas y equipos.*

Esta situación se verifica en el taller de mantenimiento y en los diferentes frentes de Obra.

Se ha llevado a cabo la capacitación del personal, mostrando las técnicas de trabajo que se deben emplear para realizar esta tarea sin que se produzcan derrames de hidrocarburos.



Figura 1. Tambores de aceite sin bandeja de protección del suelo.

Se han proporcionado bateas y bandejas colectoras portátiles, para colocar debajo de las máquinas y equipos que están siendo reparados, como así también para colocar en los equipos que están a la espera de ser reparados. (Figura 1).

*2. Derrames producidos por trasvase de residuos a tambores de almacenamiento.*

Esta situación se materializa en oportunidad de trasladar residuos peligrosos desde el punto de generación (frente de trabajo - talleres - planta), al Depósito de Residuos Peligrosos.

Hay provisión al personal de Mantenimiento de elementos especiales diseñados y adecuados para el trasvase seguro de los residuos. (Figura 2 , Figura 3, Figura 4 a y b)



Figura 2. Platea del Depósito de Residuos (el mismo se encuentra en construcción).



Figura 3. Derrames de tambores de residuos.



Figura 4a. Depósito de Residuos.



Figura 4b. Depósito de Residuos.

*3. Derrames producidos por rotura de tambores de almacenamiento de aceites nuevos y usados.*

El aceite se adquiere almacenado en tambores de 200 litros. Hay riesgos de rotura de los envases en las tareas de carga / descarga, transporte y almacenamiento del producto, como así también en los tambores de aceite usado, que debe considerarse residuo peligroso.

La medida de prevención más eficaz es la capacitación del personal en la manipulación segura de los tambores, como así también la provisión de las facilidades adecuadas para su manipulación.



Figura 5. Camión trasladando equipos.



Figura 6. Motoniveladora trabajando.



Figura 7. Máquinas luego de la nevada.

4. *Derrames producidos por falta de mantenimiento o ro-  
ra de máquinas y equipos.*

Esto se produce normalmente por falta de manteni-  
miento preventivo y predictivo o por exigencias de pro-  
ducción que lleva a una sobre exigencia de los equipos.  
Las condiciones climáticas adversas contribuyen tam-  
bién a la sobre exigencia de los equipos.

El trabajo de coordinación conjunto entre Prevención  
de Riesgos, Producción y Mantenimiento, es la medi-  
da de prevención de fallos y roturas más eficaz. (Figura  
5, Figura 6 y Figura 7).

5. *Pérdidas de combustibles en uniones de tanques a bom-  
ba y cañerías de distribución.*

Esta situación se produce en las Plantas de Asfalto, por  
mala calidad de los componentes, cuyo ciclo de vida es  
menor al especificado por el fabricante, y/o fallos pro-  
ducidos en tareas de mantenimiento. Las medidas de pro-  
tección recomendadas se refieren a las adquisiciones de  
componentes originales y en el estricto cumplimiento de  
los programas de mantenimiento. (Figura 8 y Figura 9).



Figura 8. Bateas de contención de derrames.



Figura 9. Instalaciones con derrames en cañería de distribución.



6. *Derrames producidos en la carga de combustible en equipos y vehículos por instalación deficiente o mala práctica.*

Estas situaciones se verifican en las instalaciones de depósitos de combustibles y las medidas de prevención son similares a las descritas en el punto 1. En este caso la responsabilidad de la buena práctica recae en una sola persona, que es el operador de carga de las instalaciones de depósitos de combustibles. (Figura 10 y Figura 11).



Figura 10. Derrame de combustible debido a mala práctica del operador.



Figura 11. Derrame de combustible debido a mala práctica del operador.

7. *Pérdidas por uniones deficientes de los distintos componentes de la Planta.*

Situación verificable en la Planta de Asfalto, por instalación deficiente de sus componentes o problemas de mantenimiento. Las medidas de prevención recomendadas comprenden la capacitación del personal y el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo. En este caso, podemos mencionar que se ha ejecutado una medida adicional en la instalación de las tuberías, desde los tanques de almacenamiento de asfalto hacia el horno que consiste en una cama de arena, para absorber

las vibraciones de la instalación en marcha y la contención de potenciales derrames.

8. *Derrames producidos en la carga de materia prima (asfalto - emulsiones - fuel oil).*

Los riesgos potenciales y las medidas de protección son similares a lo mencionado en el punto 6. (Figura 12 y Figura 13).



Figura 12. Derrame de asfalto en la carga.



Figura 13. Correcta práctica en la carga de asfalto.

#### INSTALACIÓN DE DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE

En la instalación de los tanques de combustibles para el aprovisionamiento de los vehículos de la empresa se tienen en cuenta los siguientes puntos:

1. Emplazamiento de los tanques.
2. Distancias de seguridad mínimas a otras instalaciones.
3. Inclinación mínima de la instalación para permitir el escurrimiento del derrame.
4. Recepción de pérdidas y/o derrames.
5. Venteo de los tanques.

6. Puesta a tierra de los tanques y de la instalación eléctrica.
7. Cartelería.
8. Protección contra incendio.
9. Elementos de Protección Personal.
10. Tableros e Instalación Eléctrica.
11. Tipo de cañería utilizada.
12. Prueba hidráulica de los tanques.
13. Posición del camión en el momento de la descarga.
14. Limpieza y mantenimiento de las instalaciones.

Si la instalación se realiza teniendo en cuenta los puntos anteriores, podrá obtener el CERTIFICADO FINAL (descarga, almacenamiento y carga de combustibles), cumpliendo con las especificaciones de la Secretaría de Energía de la Nación, organismo de control competente.

#### ***Medidas de Prevención de Riesgos en las Instalaciones de Depósitos de Hidrocarburos***

La siguiente tabla muestra el análisis de cada una de las medidas de prevención que se realizan a nivel operativo, durante la instalación y puesta en marcha del depósito de combustibles (Tabla 2).

#### ***Auditorias de Habilitación***

La Legislación vigente en materia de Combustibles, en este caso "Instalaciones de Tanques Aéreos", comprende la Ley Nacional N° 13.660 y la Resolución N° 1.102/94. Estos documentos exigen que Empresas Auditoras inscriptas en la S.E., ejecuten un auditoría con entrega de un Certificado Final, con aprobación de instalaciones. (Figura 14, Figura 15 y Figura 16).

El protocolo de Auditorías para tanques aéreos (Resolución S.E. 404/94), contempla los siguientes ítems:

- Tanques
- Recintos
- Instalaciones y equipos eléctricos
- Distanciamientos
- Rol de Incendio
- Sistema contra incendio
- Accesos
- Orden y limpieza
- Señalización
- Recepción y Almacenamiento
- Croquis de las instalaciones

**Tabla 2. Medidas de Prevención Operativa.**

<b>Instalación</b>	<b>Medida de Prevención Operativa</b>
Recinto	La capacidad del recinto debe ser para el caso de un solo tanque igual al volumen del mismo, más el 10%. En caso de que haya más de un tanque el recinto deberá tener capacidad para contener el volumen total del tanque mayor, más el 50% del volumen de la capacidad sumada de los tanques restantes. El piso debe ser impermeable para evitar filtraciones. Además debe estar conectado a una cámara decantadora. La pendiente mínima del piso, debe ser del 2% de su longitud hacia la purga.
Playa de carga	La misma debe ser de hormigón impermeabilizado, y soportar estructuralmente el peso de los camiones. Perimetralmente posee una rejilla perimetral conectada a una cámara decantadora subterránea. La pendiente mínima del piso, debe ser del 2% de su longitud hacia la rejilla perimetral. Debe contar con una bandeja colectora en el momento de carga y descarga.
Cámara decantadora	La cámara decantadora, tiene la función de separar por diferencia de densidad el agua y el combustible.
Cartelería	Identificar en forma clara y visible: Peligro inflamable Depósito de combustibles Prohibido fumar Descarga de combustible Uso de elementos de protección personal Demarcar la zona de carga y descarga, e indicar la dirección de entrada y salida. Rol de incendio Teléfonos de emergencia Identificar el combustible de acuerdo al Código NFPA y N° ONU.
Protección contra incendios	Se debe disponer de: 2 matafuegos de 10kg ABC 1 matafuego de 5 kg BC para el tablero eléctrico 1 carro de 100kg de espuma química 1 tambor de 200 litros y 1 balde metálico lleno de arena
Tanques	Los tanques de combustibles requieren de pruebas hidráulicas periódicas según su antigüedad.





Figura 14. Vista del Depósito de Combustible.



Figura 15. Cartelería de la instalación.

### COSTOS DE LAS INSTALACIONES

A modo de ejemplo, se muestra una tabla con los distintos componentes de la instalación y su costo final de ejecución, para un depósito de tres tanques de combustibles aéreos, con capacidad de almacenamiento de 100 m<sup>3</sup>, con fecha mayo 2009 (Tabla 3).

Como se puede observar en la tabla, no se ha incluido como ítem la mano de obra necesaria para la realización de las tareas, ya que las personas que intervienen pertenecen a la planta permanente de la obra.



Figura 16. Decantador.

Tabla 3. Detalle del costo de la Instalación.

Instalación	Monto
Recinto de contención	\$ 3.745,58
Playa de hormigón con el largo del recinto y el ancho para que entre el camión	\$ 2.683,51
Rejilla perimetral de la playa de descarga	\$ 2.198,00
Cámara decantadora	\$ 841,92
Caño de acero galvanizado, cuello de cisne y arresta llamas de venteo	\$ 579,00
Puesta a tierra	\$ 1.759,00
Medición de puesta a tierra	\$ 456,72
Cartelería	\$ 2.000,00
Protección contra incendio (espumígeno y 3 matafuegos aproximadamente)	\$ 2.987,23
Instalación eléctrica a prueba de explosión (APE)	\$ 9.000,00
Bomba a prueba de explosión (APE)	\$ 3.300,00
Auditoría	\$ 13.000,00
TOTAL	\$ 42.550,96

## CONCLUSIONES

Las exigencias legales vigentes cubren actualmente la totalidad de los requerimientos a cumplir para la instalación de Depósitos de Hidrocarburos, tanto combustibles como materia prima para elaboración de asfalto. El cumplimiento estricto de la legislación termina con la aprobación de instalaciones y la entrega por parte de la Empresa Auditora del CERTIFICADO FINAL que habilita a la Empresa Petrolera, al suministro del producto al cliente. Los aspectos ambientales están cubiertos en las instalaciones, también por la auditoría y en la práctica diaria por los procedimientos operativos o planes de gestión. Por último, con instalaciones propias, a pesar de la

inversión inicial en los costos de las instalaciones, se produce un importante beneficio económico, a la finalización de la Obra, por la diferencia de precio, sin intermediarios y la autonomía en la toma de decisiones sobre este insumo.

## AGRADECIMIENTOS

Al MSc. Geólogo Norberto Jorge Bejerman por su permanente apoyo y motivación para la elaboración y redacción de este trabajo.

A nuestro Equipo de Prevención de Riesgos Ocupacionales y Ambientales.



## Optimización de las obras de cierre para el control de inundaciones en el noreste pampeano

Eberhardt, Marcelo G.<sup>1</sup> - Arrúa, Pedro A.<sup>1</sup> - Aiassa, Gonzalo M.<sup>1</sup> ✉ - Terzariol, Roberto E.<sup>2</sup>

Recibido: 15 de octubre de 2010 • Aceptado: 10 de marzo de 2011

### Resumen

*La necesidad de desarrollo de economías regionales y el control de inundaciones, ha impulsado un plan de obras orientadas a mejorar las accesibilidades y potenciar las actividades productivas de pequeñas localidades.*

*Las pequeñas presas ubicadas en topografías de llanura, suelen ser estructuras empleadas como vías de comunicación vehicular, frecuentemente subestimadas en la etapa de proyecto, debido a la falta de datos, escaso estudio del tráfico y de sus características.*

*En este trabajo se estudia la presa Quemú Quemú que es una presa de altura reducida pero de longitud de cierre considerable, construida con materiales de bajo peso unitario y reducida resistencia al corte, disponibles en yacimientos locales. Además, en el trabajo se revisan las características geológicas de la Formación Macachín, del periodo terciario y cuaternario, que definen el material de construcción de la presa. Se muestran los resultados de los estudios de caracterización geotécnica y criterios de selección de parámetros para el análisis de estabilidad de taludes. Se analiza la geometría propuesta por el proyecto original y se pone de manifiesto sus deficiencias en base a los factores de seguridad obtenidos. Finalmente se propone una alternativa de solución que mejora la estabilidad de los taludes.*

**Palabras clave:** Estabilidad de taludes, presas, resistencia al corte, estado límite.

### Abstract

*Requirements for the development of regional economies and flood control have prompted a work plan designed to improve the accessibilities and enhance activities for small-towns.*

*Small dams located in plain topography are structures often used as vehicular roads. These structures are frequently underestimated in the design stage due to lack of data, limited traffic study and their characteristics.*

*This paper deals with Quemú Quemú dam, as reduced height and significant closure length dam, built with the low unit weight and poor shear strength materials coming from the Macachín Formation, a tertiary and quaternary soil deposit available in the zone.*

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional

✉ gaiassa@scdt.frc.utn.edu.ar

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba

*Results of the geotechnical characterization studies and criteria for parameters selection for slope stability analyses are presented. The geometry of the original project was analyzed and shows its shortcomings on the basis of safety factors obtained. Finally, an alternative design is proposed to improve this slope stability.*

**Keywords:** Slope stability, dams, shear strength, limit state.

## INTRODUCCIÓN

El Plan Federal de Control de Inundaciones (PFCI) ha propiciado la ejecución de obras tendientes al desarrollo de economías regionales, actividades productivas y sistematización de los excedentes hídricos. En este marco se proyectó una presa de llanuras asociada al esquema de terraplenes en proximidad a la Ciudad Quemú Quemú, Provincia de la Pampa a 130 km de la Ciudad de Santa Rosa y 520 km de la Ciudad de Córdoba Argentina. Geográficamente el área de implantación de la obra se encuentra a  $36^{\circ} 01' 28''$  de latitud sur y  $63^{\circ} 39' 30''$  de longitud oeste. El conjunto de obras para la sistematización y control de los excedentes hídricos de la región se encuentra concebido en tres etapas: 1) Etapa I: Cierre aguas arriba sobre camino rural. 2) Etapa II: Canal aliviador. 3) Etapa III: Cierre aguas abajo sobre camino rural. Es decir, se trata de un esquema de dos cierres nivelados por medio de un canal de vinculación. El objetivo del primer cierre consiste en confinar las crecidas estacionales de la laguna cuya superficie estimada es de  $40 \text{ km}^2$  (Figura 1).

El cierre posee su coronamiento a 122,15 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) con un desarrollo de 6610 metros.

El nivel de la laguna en su estado natural se encuentra a 118,40 m.s.n.m. y el nivel de embalse se diseñó a 121,00 m.s.n.m. La planimetría general en el sector de cierre en estudio se presenta en la Figura 2.

Este trabajo, presenta un análisis de las condiciones geológicas, geotécnicas y de estabilidad de taludes de la presa Quemú Quemú. Se analiza la configuración estructural definida por proyecto, y se propone una alternativa superadora para lograr un mejor desempeño.

## ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

La zona en estudio se localiza dentro de la llanura Chaco-Pampeana. Su estratigrafía superficial se conforma por la Formación Macachín del Terciario y la Formación Pampa del Cuaternario. La Formación Macachín cuenta con unos 500 metros de espesor, y en la misma se distinguen dos secciones: una inferior arenosa, y otra superior limo-arenosa, marina de color verde. Por sus características litológicas y su origen marino, la sección superior de la Formación Macachín debe correlacionarse con las Formaciones Paraná y Entre Ríos.

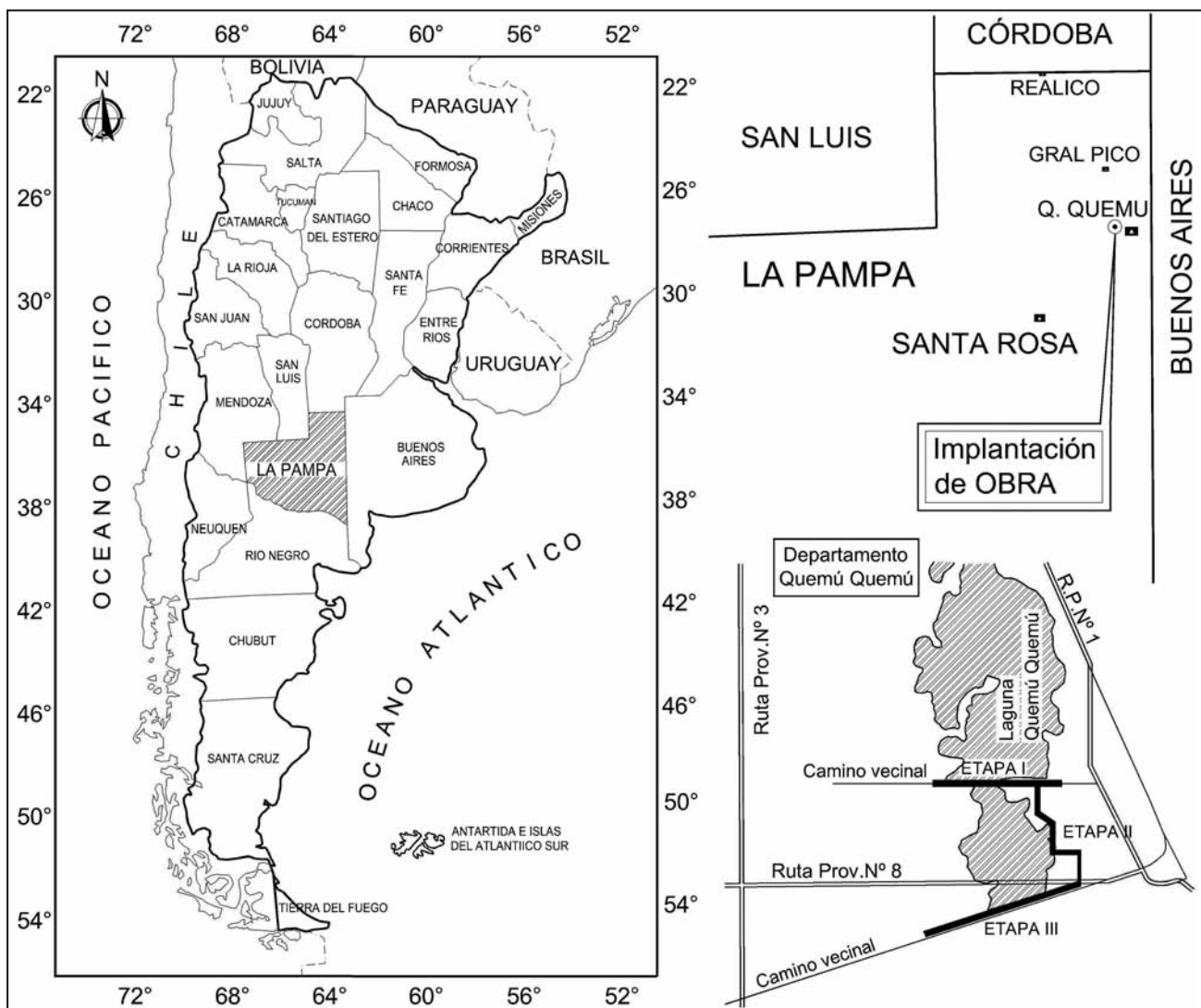


Figura 1. Esquema general del sector de emplazamiento. Izquierda República Argentina. Superior derecha Provincia de la Pampa. Inferior derecha Zona de Implantación de obras.

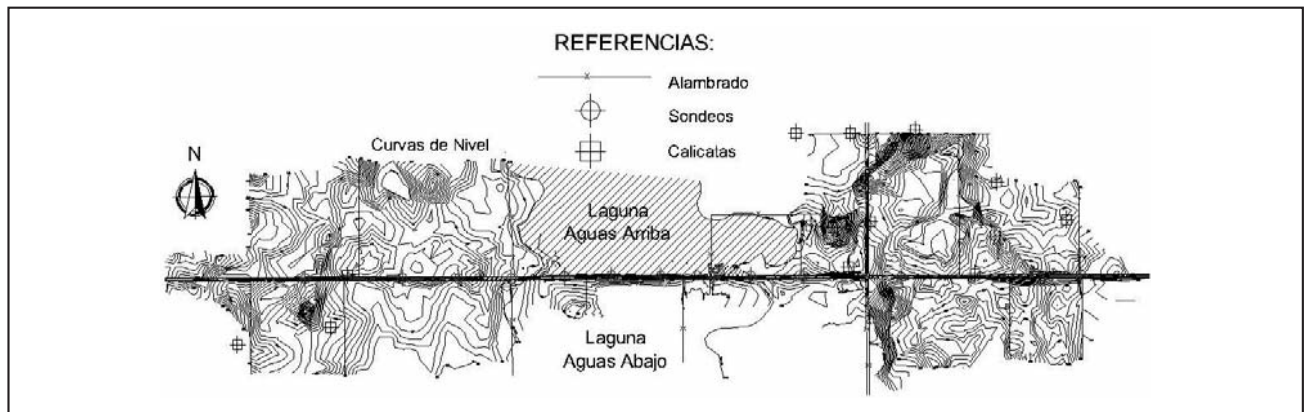


Figura 2. Planimetría general del sector en estudio. Etapa I.

Los niveles basales arenosos pueden vincularse con unidades más antiguas. A los bancos marinos de la Formación Macachín se le superponen 150 a 200 metros de estratos continentales.

La Formación Pampa se constituye fundamentalmente por depósitos loésicos y limo-arenosos, rojizos a castaños que, hacia la parte inferior comienzan a intercalar areniscas finas a muy finas, friables, con leve reacción calcárea. Se encuentran también concreciones carbonáticas y material yesífero rellenando oquedades o dispuestos en delgadas venillas (Russo *et al.* 1979).

El sector Sur de la llanura Chaco-Pampeana, se caracteriza por sus netas condiciones de llanura, bordes de cuenca difusos, predominio de la transferencia hídrica vertical, red hidrográfica restringida debido a la pequeña pendiente topográfica, cursos y

corpos lacustres. Los acuíferos se desarrollan en medios porosos, excepto limitadas unidades en medios fisurados (Auge *et al.* 2006).

En el sector de emplazamiento de la presa se efectuaron perforaciones de exploración a cielo abierto y ensayos de caracterización mecánica in situ mediante hincas dinámicas SPT y DPSH. Sobre las muestras extraídas se realizaron ensayos de laboratorios de caracterización física y mecánica. Se determinaron contenidos de humedad natural, pasante tamiz 200, pesos unitarios naturales, y resistencia a compresión triaxial. La Tabla 1 presenta los resultados de caracterización física y mecánica obtenida del material de fundación realizados por el Laboratorio de Geotecnia de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, a partir de los cuales se definen los valores característicos empleados en la modelización numérica.

Tabla 1. Parámetros característicos del material de fundación.

Muestras	Prof. (m)	SUCS	$\omega_{nat}$ (%)	PT200 (%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi_u$ (°)
M5/P2540	1	SM	21,37	34,48	17,1	10,0	32
M 3/ P 1690		SM	16,27	33,54	17,2	25,0	33
M 8/ P 3580		SM	13,59	16	17,0	69,0	35
M 13 P/ P 6530		SM	10,31	21	15,3	10,0	28
M 6/ P 2880	2	SM	22,94	22,06	16,3	182,0	14
M 9/ P 3930		SM	25,46	47,49	15,3	14,0	27
M 10/ P 4180		SM	20,44	16,62	16,8	0,0	37
M 4/ P 2190	3	SM	22,48	24,11	16,5	45,0	34
M 1/ P 0,0m		SM	18,82	27,37	17,5	110,0	34
M 2/ P 1000		SM	27,82	25,34	15,2	10,0	19
M 7/ P 3230		SM	24,29	31	16,4	45,0	32
M 11/ P 4660		SM	20,30	45,31	16,2	5,0	14
M 12/ P 5370		SM	18,19	37,22	17,3	90,0	30
M 13/ P 6530		SM	16,99	35,17	18,2	7,0	15
M 2/ P 1000	4	SM	25,49	27,23	15,4	1,5	35
M 6/ P 2880		SM	28,04	34,76	15,5	150,0	26
M 8/ P 3580		SM	22,19	23,35	16,1	1,5	33
M 9/ P 3930	5	SM	24,42	12,58	15,2	30,0	31
M 6/ P 2880		SM	24,73	34,85	14,9	22,0	33
M 8/ P 2580		SM	19,58	28,84	16,2	25,0	34

Nota: Prof.= profundidad; SUCS=sistema unificado de clasificación de suelos;  $\omega_{nat}$ = humedad natural; PT200 = pasante tamiz 200,  $\gamma$ =peso unitario del suelo,  $c_u$ =resistencia al corte no drenado,  $\phi_u$  = ángulo de fricción no drenado.



La definición del material de construcción del cuerpo de presa se realizó en base a combinaciones de suelo obtenido de diferentes sitios. Su identificación resulta en un suelo arenoso-limoso, con buenos niveles de peso unitario seco máximo, y con humedades de compactación óptimas próxima a las condiciones de humedad del yacimiento.

Sobre las mezclas preparadas en laboratorio se determinaron peso unitario seco máximo para energías del Proctor

estándar, Proctor modificado, y humedad óptima de compactación. Luego se efectuaron ensayos de compresión triaxial sobre muestras remoldeadas a niveles de compactación del 100% y humedad óptima, bajo condiciones de ensayo consolidados no drenados (CU: Consolidated-Undrained) y no consolidado-no drenado (UU: Unconsolidated-Undrained). Los resultados obtenidos para la construcción del cuerpo de presa se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros característicos del material para cuerpo de presa al 100% Proctor estándar.

Muestras	SUCS	$\gamma_{d \text{ max.}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\omega_{\text{opt.}}$ (%)	$c_u - c'$ (kPa)	$\phi_u - \phi'$ (°)	Tipo de triaxial
M1-C17-20-21-23-24	SM	17,1	15,7	14,7 - 0	35,5 - 39,1	CU
M2-C09-10-11-12-25	SM	16,9	14,76	12,5 - 0	36,8 - 38,8	CU
M3-C02	SM	16,7	11,21	10,0	45	UU
M4-C05	SM	16,8	13,99	11,7 - 0	39,9 - 41,7	CU
M5-Sb	SM	18,2	13,51	75,0	36	UU
M6M	Tosca Trit 60 % - Zaran 40%	20,7	9,14	50,0	30	UU

A partir de los resultados presentados en la Tabla 1 se confeccionó un gráfico que permite establecer para las diferentes profundidades la tendencia general de los resultados y su nivel de dispersión. En la Figura 3 se presenta la relación que existe entre los parámetros de Mohr Coulomb del material de fundación. En base a los entornos de variación se han seleccionado la pendiente y ordenada al origen de la envolvente de falla de éste criterio. Se aprecia en la Figura 3 que algunos resultados divergen de la zona indicada por líneas de trazos discontinuos, no obstante parecen resultar anomalías en el proceso experimental, ya que la tendencia general se encuentra bien definida.

Del mismo modo, se evaluaron los resultados presentados en la Tabla 2 con el objeto de definir los parámetros característicos del cuerpo de presa. Es de suponer que un aumento en el peso unitario seco provoca un incremento de la magnitud de los parámetros de fricción y cohesión lo cual provoca como consecuencia una mejora en la estimación de desempeño. La Figura 4 presenta la relación entre el efecto de la compactación y los parámetros resistentes. Los ensayos de caracterización tenso

-deformacional se realizaron para el contenido de humedad óptima del material bajo condiciones no consolidada no drenada (UU) y consolidada no drenada (CU). Se destacan en la Figura 4 los resultados obtenidos para el ensayo Proctor estándar y Proctor modificado.

DISEÑO INICIAL DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

El desarrollo de la presa posee una longitud de 6610 metros a lo largo de la cual se distinguen dos secciones características, ambas conformando un paquete estructural de materiales sueltos sin núcleo impermeable con revestimiento en los espaldones aguas arriba y abajo. El perfil transversal principal posee una altura máxima de 5,50 metros y la secundaria en el orden de los 3,00 metros.

La sección principal posee en la cara de aguas arriba, al frente del embate del oleaje, una dársena con cara horizontal de aproximadamente 20,00 metros en desarrollo, con protección en el talud de inicio. La zona de menor altura de presa es una sección simple sin dársena.

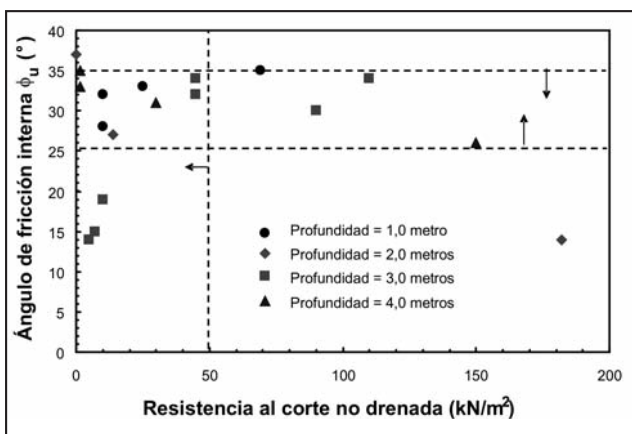


Figura 3. Relación entre parámetros del criterio de falla de Mohr-Coulomb a diferentes profundidades (no consolidado-no drenado).

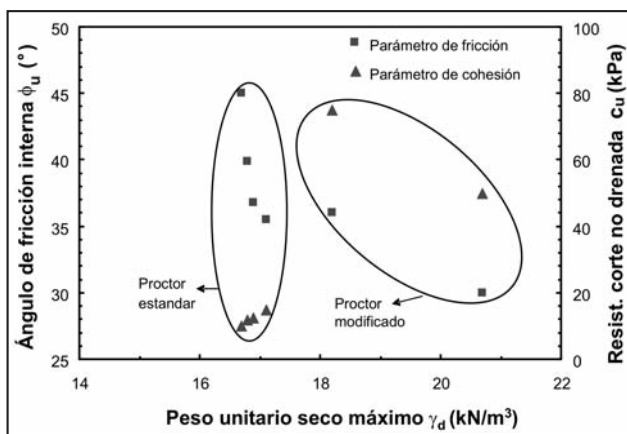


Figura 4. Relación entre la compactación y los parámetros de falla de Mohr-Coulomb (no consolidado-no drenado).

La fundación se encuentra proyectada aproximadamente entre -1,50 metros y -2,50 metros medida desde el terreno natural, e inicialmente se plantea una mayor profundidad en el sector de menor altura. Las protecciones son integradas por dos capas de materiales áridos naturales, asentados sobre el cuerpo de presa intermediando un geotextil de condiciones acordes a su uso. La constitución exterior del material enrocado tiene dos espesores, el de material con mayor tamaño es de 0,70 metros, y el siguiente de 0,30 metros, estos se denominan Enrocado tipo coraza y Pedregullo respectivamente.

Sólo la sección principal de la presa posee el mismo tipo de protección en el pie de aguas abajo. Esto es debido a su emplazamiento en el entorno de una depresión topográfica, donde se genera un eventual embalse y en consecuencia la saturación del pie de presa.

Sobre el coronamiento, el cuerpo de presa posee un paquete estructural de dos capas, base y sub-base granular, para

el tránsito vehicular con una pendiente transversal hacia aguas abajo del 3%, condiciones que favorecen el escurrimiento hacia sectores con mayor protección ante dicho agente climático.

Los taludes de los terraplenes poseen una pendiente suave de 3 (horizontal): 1 (vertical), para todas sus caras incluso las pendientes de excavaciones hasta la cota prevista de fundación. En cuanto a los bordes de terminación de las protecciones enrocadas, mencionadas anteriormente, la pendiente aumenta sensiblemente hasta 1 (horizontal): 1 (vertical).

El nivel de coronamiento se eleva hasta los 122,30 metros, es decir 1,30 metros adicionales, al nivel máximo previsto para el pelo de agua de 121,00 metros, sobre la cara del talud aguas arriba. La Figura 5 presenta la geometría y disposición de material conforme a lo indicado.

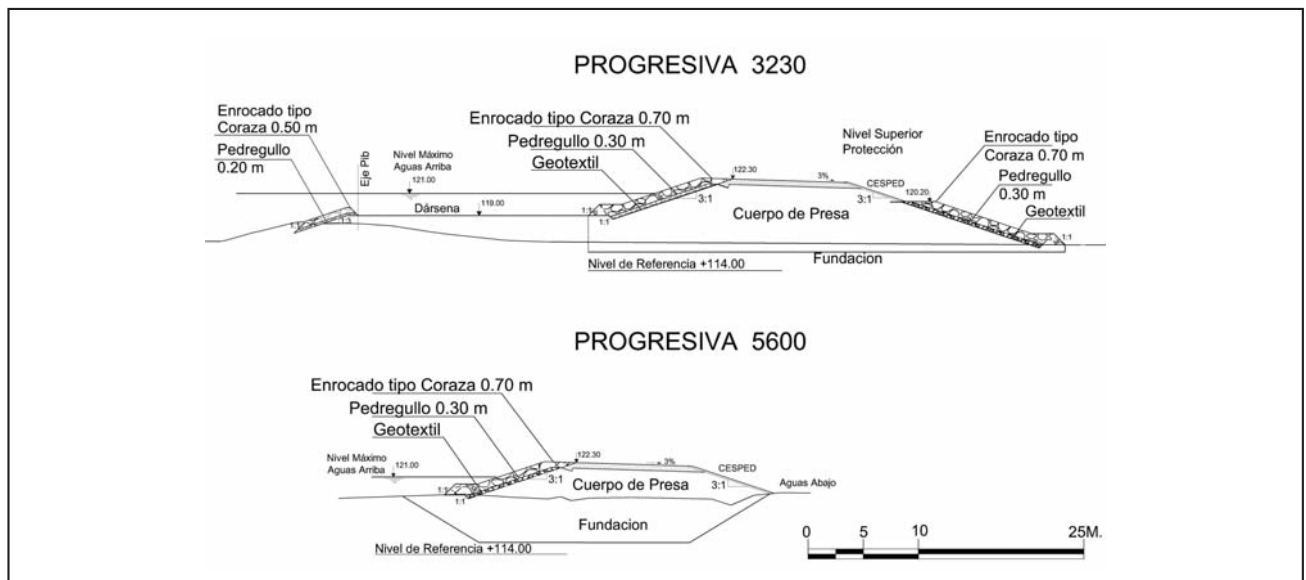


Figura 5. Secciones características del cierre según proyecto.

### PREDICCIÓN DE COMPORTAMIENTO

El análisis de predicción de comportamiento y estabilidad de taludes se basa en la determinación de factores de seguridad que relacionan la resistencia al corte disponible respecto al esfuerzo de corte solicitante. Las metodologías de cálculo dependen frecuentemente de la certeza de los datos disponibles y la complejidad de la geometría. Estas consisten en cálculos manuales mediante ábacos o el empleo de programas computacionales que resuelven ecuaciones analíticas o ecuaciones diferenciales (Griffiths y Lane 1999). La mayoría de los procedimientos asumen para el análisis una sección en dos dimensiones y estado plano de deformación. Si la resistencia al corte del suelo a lo largo de la superficie potencial de falla es mayor que la necesaria para establecer equilibrio, la masa de suelo es estable. Si la resistencia al corte no es suficiente, la masa es inestable. La estabilidad o inestabilidad de la masa depende de peso propio, fuerzas externas actuantes, tales como sobrecargas y acciones dinámicas, parámetros de resistencia al corte y de presión de poro a lo largo de la superficie de falla, y los parámetros resistentes de algún eventual refuerzo interno.

El factor de seguridad se define respecto de la resistencia al corte del suelo, como la relación de la resistencia al corte disponible respecto la resistencia al corte requerida para el equilibrio,

$$FS = \frac{t_f}{t_d} \quad (1)$$

donde  $t_f$  resistencia al corte disponible,  $t_d$  resistencia al corte requerida.

La mayoría de los métodos empleados para computar estabilidad de taludes corresponden a métodos de equilibrio límite. En estos, el factor de seguridad se calcula utilizando ecuaciones de equilibrio estático sobre la masa de suelo involucrada. En las teorías de equilibrio elástico las propiedades del suelo son expresadas en términos de relaciones entre tensión y deformación. En las teorías de equilibrio plástico las propiedades del material son mejor expresadas en términos de una ecuación para el estado de equilibrio límite.

Los materiales empleados en la protección de los espaldones aguas abajo y arriba se presentan en la Tabla 3. En el sector de fundación se han generado dos estratos, representando al material arena limosa y un horizonte de arena fina limosa con presencia de incrustaciones nodulares (frecuentemente denominada tosca) con elevado nivel de fracturación. El cuerpo de presa se considera como material limo-arenoso compactado a densidad máxima, donde la humedad de compactación y los parámetros de resistencia al corte fueron medidos en laboratorio.

Los estados de carga contemplados en el análisis de estabilidad se refieren a las condiciones de funcionamiento durante la vida útil de la presa. Estos corresponden a: (1) final de la construcción, (2) embalse lleno, (3) condición estacionaria o de largo plazo, (4) desembalse repentino. La presencia o ausencia de tránsito se modela mediante una carga aplicada, según las especificaciones de la Dirección Nacional de Vialidad, equivalente a una A-30 (carga uniformemente distribuida de  $1,50t/m^2$ ). La acción sísmica se basa en los lineamientos sugeridos por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC) en su publicación *INPRES-CIRSOC 103 (1991)*, y el US Department of the Interior (*USDI 2005*) correspondientes a la zonificación 1, a suelo tipo III y construcciones del Grupo B. Para cada escenario se establecen parámetros resistentes representativos del cuerpo de presa (Tabla 4). Estos parámetros fueron determinados a partir del análisis de los resultados de caracterización geotécnica.

Las secciones implementadas en el modelo computacional se presentan en la Figura 6. La discretización de los estratos se realizó regularizando los perfiles litológicos desarrollados en el estudio de suelos. La Figura 6a - 6b, corresponden a dos secciones, progresiva 3230 y 5600, mostradas en la Figura 5. Los factores de seguridad obtenidos para las geometrías presentadas se obtienen mediante análisis de equilibrio límite según las hipótesis de Bishop, Jambu y Morgenstern-Price que resultan comparables a los límites establecidos por el US Army Corps of Engineers *USACE (2003)*.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las hipótesis analizadas y las combinaciones de carga consideradas permiten obtener Factores de Seguridad (FS) relacionados a superficies de falla (*Duncan y Wright 2005*). En la Figura 7 se presenta un diagrama de barras donde se ponen de manifiesto los valores de FS para cada situación para los dos perfiles de presa típicos. Se muestra que para las hipótesis de embalse lleno con tránsito y largo plazo con tránsito, los factores de seguridad son inferiores a los establecidos como límites cualquiera sean las hipótesis de análisis (Bishop, Janbu, Morgenstern-Price). La sección representativa de la progresiva 5600 en ningún caso posee niveles de seguridad inferiores a los recomendados por el *USACE (2003)*.

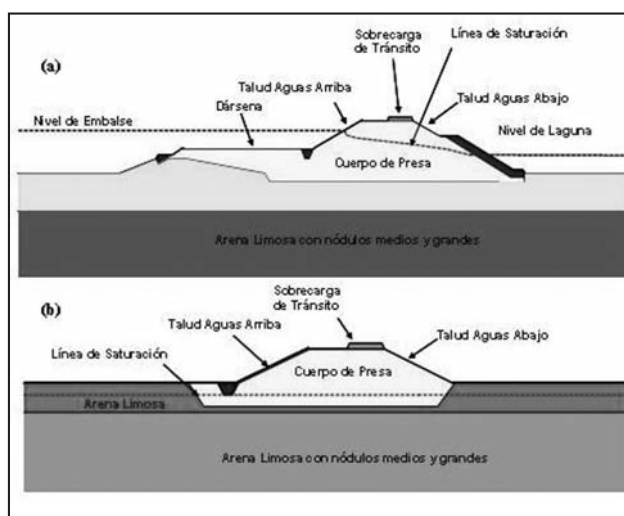


Figura 6. Modelo de las secciones implementadas. (a) Progresiva 3230. (b) Progresiva 5600.

Tabla 3. Granulares de protección del Talud de Aguas Arriba -Abajo.

Designación	Material	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (KPa)
Enrocado tipo coraza	Piedra partida	16,1	20,1	45	0
Pedregullo	Arena gruesa	17,0	20,5	40	0

Tabla 4. Escenarios, combinaciones de carga y parámetros del cuerpo de presa.

Escenario	Combinaciones de carga	c (kPa)	$\phi$ (°)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	FS mín*
Final de la construcción	Pp + Sct	58	33	17	1,3
Embalse lleno	Pp + Lll + Sct	0	35	17	1,5
	Pp + Sct	50	34	17	1,5
Largo plazo	Pp+Ell+Lll+Sct+So	50	34	17	1,0
	Pp+Ell+Sct+So	50	34	17	1,0
	Pp + Ell+Lll+Sm	50	34	17	1,0
	ELL + Sm	50	34	17	1,0
Desembalse repentino	Pp	14	37	17	1,3

Nota: \*(USACE, 2003); PP= peso propio; Sct= sobrecarga de tránsito;Lll= laguna llena; Lv= laguna vacía; Ell= embalse lleno; So= sismo operativo (0,05g); Sm= sismo máximo (0,1g); c y  $\phi$  = parámetros de cohesión y fricción del modelo

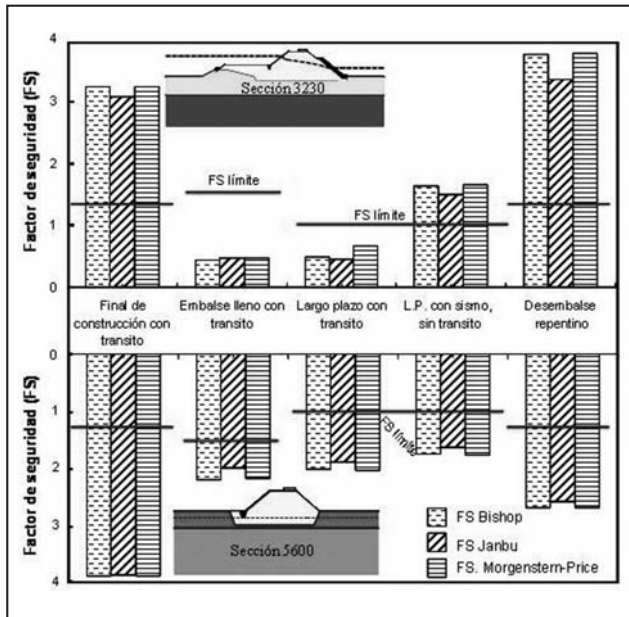


Figura 7. Factores de seguridad obtenidos para la geometría de proyecto.

El análisis de la sección típica de progresiva 3230, muestra una falta de estabilidad al pie del talud de aguas abajo, en las hipótesis de embalse lleno y de largo plazo.

La alternativa de solución al problema ha consistido en la adición de peso sobre el pie comprometido. Esto se realiza con la colocación de material rocoso de gran tamaño, el cual es acomodado a mano sobre el último tramo inclinado del talud (aproximadamente 10,00 metros), y en forma horizontal (aproximadamente 8,00 metros). La extensión horizontal del material pétreo se dispone sobre una capa de suelo compactado con la misma rigurosidad que el cuerpo de la presa, de aproximadamente 1,50 metros de espesor y 13,00 metros de longitud.

Al mismo tiempo se adiciona un sistema de drenaje ordenado bajo el material dispuesto al pie del talud de aguas abajo a los fines de bajar la línea de saturación, optimizar el drenaje y evitar problemas de sifonaje.

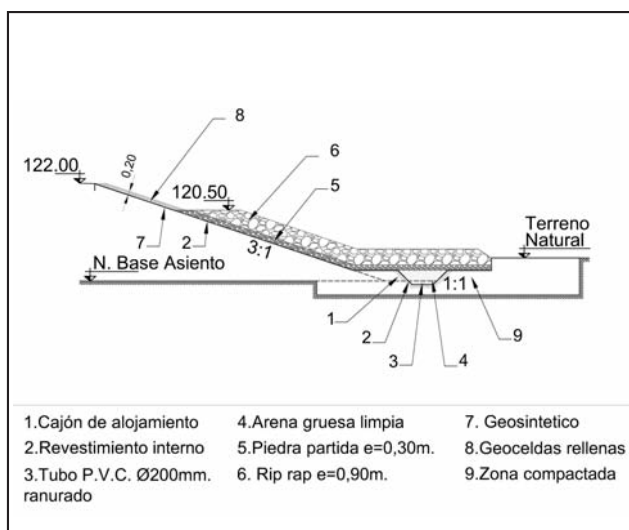


Figura 8. Rediseño del talud de aguas abajo.

La valoración obtenida por medio de la modelación matemática presentada se ha utilizado para rediseñar el pie de aguas abajo. De esta forma, se ha dispuesto bajo el pie de aguas abajo un dren longitudinal, el cual ha sido emplazado fuera de la proyección del talud y bajo el nivel de terreno natural, alojado en un sector adicionado al cuerpo de presa, y compactado con la misma metodología. El rediseño mencionado obedece a las mismas condiciones de estabilidad requeridas inicialmente para el conjunto de presa.

Las tareas necesarias, luego de finalizada la compactación desde la cota de fundación hasta el nivel de terreno natural, se resumen a continuación (Figura 8):

- 1- Excavación de un cajón corrido donde se alojará el filtro de pié.
- 2- Revestimiento de taludes y cajón corrido con geosintético no tejido de filamentos continuos 100% PET Poliéster unidos por agujado y estabilizados contra la radiación U.V. Tipo BIDIM Clase II NBR o similar.
- 3- Colocación de un tubo de P.V.C. (Policloruro de vinilo) reforzado de 200 mm de diámetro externo ranurado.
- 4- Ejecución de un relleno de arena limpia densificada con  $D_r=60\%$ .
- 5- Construcción de una capa de transición de piedra partida en 0,30 metros de espesor, densificada  $D_r=70\%$ .
- 6- Construcción de una capa de protección por rip-rap en 0,90 metros de espesor, acomodada manualmente.
- 7- Colocación de un geosintético no tejido de filamentos continuos 100% PET Poliéster unidos por agujado y estabilizados contra la radiación U.V. Tipo BI DIM Clase II NBR o similar. Solapado mínimo 1,00 metro de empalme.
- 8- Geoceldas rellenas con hormigón de resistencia característica a la compresión simple de 8MPa, designado como H-8.
- 9- Zona compactada al 90% del valor para el Proctor estándar.

La Figura 9 presenta la relación entre los factores de seguridad y las hipótesis de cálculo. La modelación de la estabilidad del talud aguas abajo muestra que la inclusión de un dren al pie permite elevar los factores de seguridad sobre los límites admisibles a bajo costo económico.

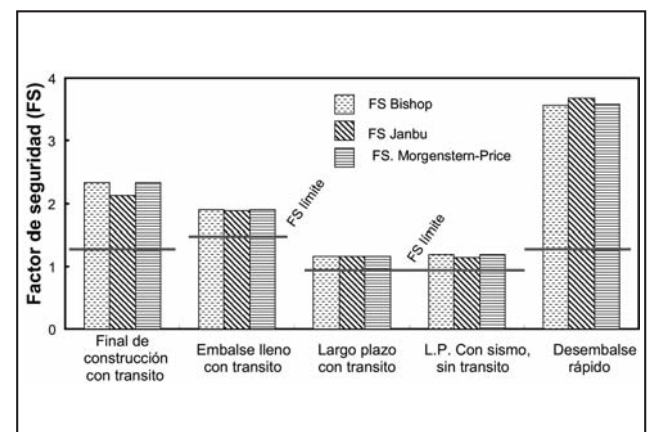


Figura 9. Factores de seguridad para la geometría rediseñada.



## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la revisión de las consideraciones de diseño de una presa de materiales sueltos en llanura que involucra la geología regional, los estudios de caracterización geotécnica y predicciones de comportamiento de los taludes en base a criterios de estado límite. Se empleó el criterio de falla de Mohr-Coulomb para obtener los factores de seguridad en hipótesis de cálculo que involucran acciones debidas al peso propio, condiciones de embalse lleno, tránsito y sismo. Los parámetros resistentes del suelo en su condición natural y compactada fueron establecidos por medio de análisis de laboratorio con material de muestreo obtenido sobre mantos de fundación y de distintos yacimientos.

Las principales conclusiones de este trabajo son:

- La obra reviste importancia estructural a pesar de poseer características de pequeña presa.
- Los parámetros geotécnicos presentan gran variabilidad y requieren una sectorización para su selección.
- Pequeñas modificaciones en la etapa de diseño provocan importantes modificaciones de la estabilidad de los taludes aguas abajo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaria de Ciencia y Tecnología y al Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AUGE, M., WETTEN, C., BAUDINO, G., BONORINO, G., GIANNI, R., GONZÁLEZ, N., GRIZINIK, M., HERNÁNDEZ, M., RODRÍGUEZ, J., SISUL, A., TINEO, A. Y TORRES, C., 2006.  
Hidrogeología de Argentina.  
*Boletín Geológico y Minero*, 117(1): 7-23.
- DUNCAN J.M. AND WRIGHT S.G., 2005.  
Soil strength and slope stability.  
*John Wiley & Sons*, 297 pp. New Jersey.
- GRIFFITHS, D. AND LANE P., 1999.  
Slope stability analysis by finite elements.  
*Geotechnique* 49. Nº3 pp. 387-403.
- HILF, J., 1956.  
An investigation of pore-water pressure in compacted cohesive soils.  
*PhD Thesis. Technical Memo Nº 654, United State Bureau of Reclamation, Denver.*
- INPRES-CIRSOC 103, 1991.  
Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes.  
*R. 103.*
- RUSSO, A., FERELLO, R.Y CHELBI, G., 1979.  
Llanura Chaco Pampeana.  
*Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*, 1:139-183. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina.
- USACE, 2003.  
US Army Corps of Engineers - Slope Stability.  
*EM 1110-2-1902.*
- USDI, 2005.  
US Department Of The Interior - Information on worldwide earthquake activity, earthquake science, and earthquake hazard reduction.  
*Earthquake Hazards Program. US Geological Survey.*





## Qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil

Nogueira Costa, Aline ✉ - Alves, Maria da Glória - Polivanov, Helena  
Cardoso da Silva, Gérson Jr. - Oliveira da Costa, Mirian Cristina

Recibido: 04 de junio de 2009 • Aceptado: 10 de marzo de 2011

### Resumo

*Este estudo visou investigar a qualidade das águas subterrâneas no Município de Campos dos Goytacazes - RJ, que faz parte da Bacia Sedimentar, a qual representa o maior potencial hídrico subterrâneo do Estado do Rio de Janeiro. Para esta finalidade, foram realizadas análises físico-químicas (aquíferos rasos e profundos) e bacteriológicas (aquíferos profundos). Os resultados apresentaram elementos fora dos padrões para água potável, tanto no aquífero raso (pH, condutividade, Fe, Pb), como no profundo (condutividade, turbidez, cloreto e nitrito). No aquífero raso o resultado mais preocupante está relacionado ao chumbo, pois das 16 amostras, 14 deram fora do padrão. Ainda no mesmo aquífero encontra-se o Fe, que ocorre de forma natural na região. No aquífero profundo, o que chamou atenção foi o nitrito ocorrer em concentrações altas. Este é fator de risco para região, pois as águas desses poços são distribuídas para a população que não reside no centro de Campos. Quanto a análise bacteriológica, em aquíferos rasos, trabalhos anteriores identificaram este tipo de contaminação, causada pela vulnerabilidade dos aquíferos. Já para os poços profundos não foi detectado este tipo de contaminação. De acordo com os resultados obtidos neste levantamento, conclui-se que as águas subterrâneas do município apresentam problemas de potabilidade para consumo humano.*

**Palavras-chave:** *Qualidade da água; águas subterrâneas; potabilidade; contaminação.*

### Abstract

*This study aimed to investigate the groundwater quality in the Municipality of Campos dos Goytacazes - RJ, part of the sedimentary basin, which represents the largest underground water potential of the State of Rio de Janeiro. For this purpose, we carried out physical and chemical analysis (shallow and deep aquifers) and bacteriological (deep aquifer). The results showed elements outside the standard for drinking water, both in the shallow aquifer (pH, conductivity, Fe, Pb), as in deep (conductivity, turbidity, chloride and nitrate). The most worrying in the shallow aquifer is related to the element lead because of the 16 samples, 14 occur outside of the standard. At the same aquifer the element iron is out of the default host, but this occurs naturally in the region. In the deep aquifer, which drew attention was the nitrite occur in high concentrations. This is a risk factor for the region, because the waters of these wells are distributed to people who do not live in downtown Campos. As for bacteriological analysis in shallow aquifers, previous studies have identified this type of contamination caused by the vulnerability of aquifers. As for the deep wells has not been detected this type of contamination. According to the results of this survey, it appears that groundwater in the city have drinking problems for human consumption.*

**Keywords:** *Water quality; groundwater; potability; contamination.*

Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio do Janeiro

✉ alinenog@ig.com.br

## INTRODUÇÃO

Uso de águas subterrâneas tem aumentado significativamente nas últimas décadas. Particularmente nas áreas rurais dos países em desenvolvimento, em regiões áridas e semi-áridas e nas ilhas. Em algumas mega-cidades (por exemplo, a Cidade do México, São Paulo, Bangkok) é a principal fonte de abastecimento de água e fornece quase 70% do abastecimento de água nos países da União Européia. A agricultura e sistemas de irrigação em particular, em muitas partes do mundo, dependem fortemente dos recursos hídricos subterrâneos (UNESCO 2007).

No entanto, o controle gerencial sobre o desenvolvimento dos recursos e da sua proteção é muitas vezes deficiente, o que leva à exploração descontrolada e contaminação dos aquíferos. A solução está intimamente ligada ao planejamento e a gestão da água sendo que o principal objetivo deste processo é assegurar a quantidade, qualidade, segurança e sustentabilidade das águas subterrâneas (Freeze & Cherry 1979).

Os modelos da U.S Environmental Protection Agency (USEPA 1975), World Health Organization European Standard (OMS 1970) recomendam concentrações limites aceitáveis para consumo humano. Freeze & Cherry (1979) e Fetter (2002) falam dos constituintes químicos das águas subterrâneas, contaminação e sua qualidade, mostrando que o modelo principal de uso é para o consumo humano; Santos (1997) apresenta valores permitidos para águas, dentro do padrão do uso estabelecido. No Brasil, alguns parâmetros físico-químicos são adotados para avaliação da qualidade da água para consumo humano e estão relacionados na Portaria nº 518/2004 (Brasil 2004), além de serem recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS 2004), no que tange à potabilidade da água.

Do ponto de vista hidrogeológico a qualidade é tão importante quanto a quantidade, a disponibilidade dos recursos

hídricos para determinados usos depende fundamentalmente da qualidade físico-química, biológica e radiológica das águas (Santos 1997).

O Município de Campos faz parte da Bacia Sedimentar de Campos, que representa o maior potencial hídrico subterrâneo do Estado do Rio de Janeiro, mas necessita de estudos para que esses recursos sejam bem gerenciados, auxiliando na orientação das políticas habitacionais, de agricultura e industriais da região, como também garantindo a sua preservação.

Este trabalho tem como objetivo contribuir para um melhor conhecimento das características hidrogeoquímicas dos aquíferos rasos e profundos e a vulnerabilidade dos aquíferos rasos, de modo a subsidiar o gerenciamento adequado dos aquíferos da Bacia Sedimentar de Campos, a maior reserva de água subterrânea do Estado do Rio de Janeiro.

## OBJETIVO

Analisar a qualidade das águas do aquífero raso de todo o Município de Campos e o do aquífero profundo da Baixada Campista e caracterizar o grau de potabilidade dessas águas, vulnerabilidade dos aquíferos livres e os problemas resultantes do consumo de água sem prévio conhecimento da sua qualidade.

## LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O Município de Campos dos Goytacazes (Figura 1) está localizado na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, aproximadamente a 279 km da capital estadual, Rio de Janeiro, com uma área de 4.037 km<sup>2</sup>, sendo o maior município do Estado e possuindo uma população de 434.008 habitantes (IBGE 2007).

Apresenta um relevo predominantemente suave, um clima ameno, uma hidrografia variada, com o Rio Paraíba do Sul atravessando todo o município e algumas lagoas, com destaque para a Lagoa Feia e a Lagoa de Cima.

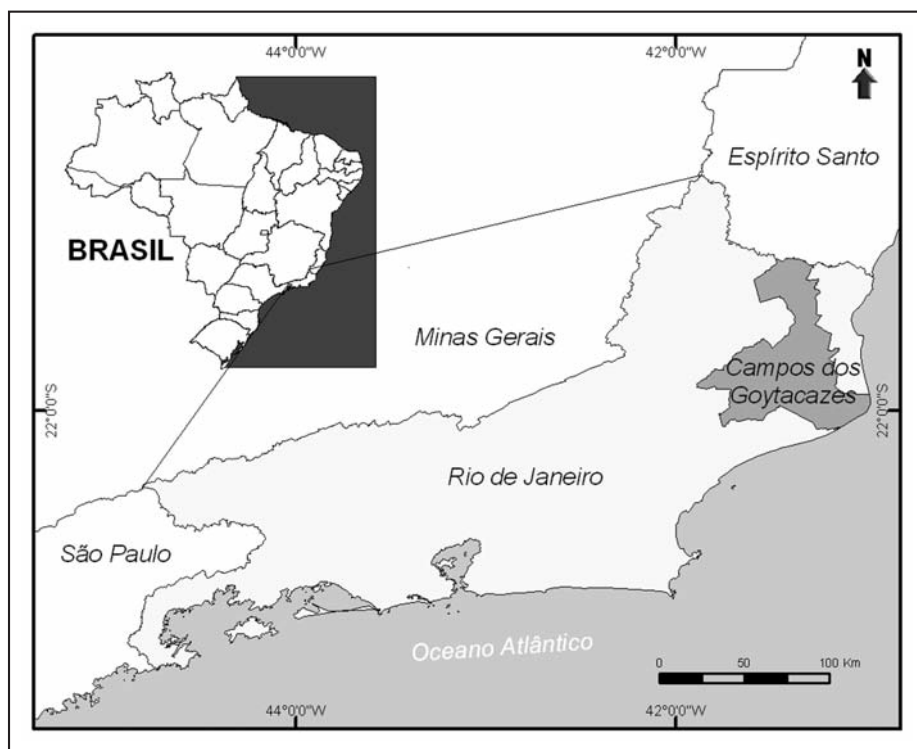


Figura 1. Localização da área, Município de Campos dos Goytacazes-RJ.

## Geologia

A descrição da geologia do Município foi elaborada utilizando dados de *Ferrari et al. (1981)* do Projeto Carta Geológica do DRM-RJ (Bloco Campos), escala de 1:50.000 e de *Fonseca et al. (1998)* do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro do DNPM, escala 1:400.000. A partir destes mapas compilaram-se as informações referentes ao Município de Campos.

A geologia de Campos pode ser dividida, resumidamente, em duas partes: Formação das Rochas do Embasamento Cristalino (Pré-Cambriano) e a Formação da Bacia Sedimentar (Fanerozóico). Formando o embasamento cristalino do Município de Campos são encontradas as rochas gnáissicas e os migmatitos sendo as de maior distribuição e extensão, entre todas as outras unidades pré-cambrianas. Em menor proporção são encontrados os charnockitos e os granitos. No Fanerozóico são encontrados os sedimentos Terciários e Quaternários abaixo descritos, com maior nível de detalhamento, pois o trabalho foi realizado na Bacia de Campos, parte emersa.

*Sedimentos Terciários (Tb)*: Os sedimentos Terciários ocorrem alongados segundo uma faixa diagonal que atravessa a área de estudo na direção NE-SW, interpondo-se, a grosso modo, entre o domínio das rochas Pré-Cambrianas e os sedimentos Quaternários.

Esta unidade é constituída por sedimentos continentais e representada por níveis descontínuos e alternados de material friável e mal selecionado, desde arenoso, areno-argiloso a argiloso, constituído principalmente de grãos de quartzo subangular abundante, grãos de feldspato caulinizado, aparecendo também níveis conglomeráticos com seixos arredondados de canal fluvial e horizontes de concreções lateríticas.

*Sedimentos Quaternários Litorâneos (Qc)*: formam os cordões litorâneos com corpos sedimentares individualmente estreitos e alongados, alturas individuais entre 1 a 3 m, paralelos entre si, separados por vales e apresentando como estrutura uma

estratificação plano-paralela. Estes sedimentos são constituídos de areias quartzosas litorâneas, de coloração esbranquiçada, por vezes amarelada e acastanhada.

*Sedimentos Quaternários Fluviais (Qp)*: Os sedimentos fluviais que compõem esta unidade ocupam a planície costeira de Campos, também denominada Baixada Campista, com cota máxima da ordem de 13 m e acompanham principalmente os baixos cursos dos rios Paraíba do Sul, Ururaí, Muriaé e Macabu. A sequência sedimentar desta unidade é composta por argilas, argilas-sílticas e siltes, de planície de inundação, geralmente micáceos, boa compactação e apresentam tonalidades que vão desde castanho-amarelo até cinza-escuro.

## Hidrogeologia

Vários autores vêm realizando estudos sobre os aquíferos e o potencial hídrico subterrâneo do município de Campos. O aquífero livre é representado pelos sedimentos da Formação Barreiras e os Sedimentos Quaternários. Quanto aos aquíferos profundos, existem diferentes definições (*Caetano 2000, CPRM/RJ 2001, Capucci 2003, Martins et al. 2006*). De acordo com *Caetano (2000) e CPRM/RJ (2001)*, Campos dos Goytacazes dispõe de um grande sistema aquífero Sedimentar Quaternário e Terciário composto de: Aquífero Flúvio-deltaico, Aquífero Emborê, Aquífero São Tomé I, São Tomé II e Aquífero Barreiras (Figura 2). Apesar dos aquíferos sedimentares da porção emersa da Bacia Campos terem sido alvo de vários estudos, ainda existem dúvidas quanto à sua divisão e compartimentação, devido à falta de consenso de sua estratigrafia.

A água desses aquíferos é de fundamental importância para a população do Norte Fluminense, uma vez que o sistema de abastecimento desses municípios, proveniente da ETA do Rio Paraíba em Campos, pode ser desativado por força da contaminação dos rios, como já ocorreu em 2003, e a população foi abastecida pela água proveniente de poços perfurados nos aquíferos profundos e por poços rasos do aquífero livre.

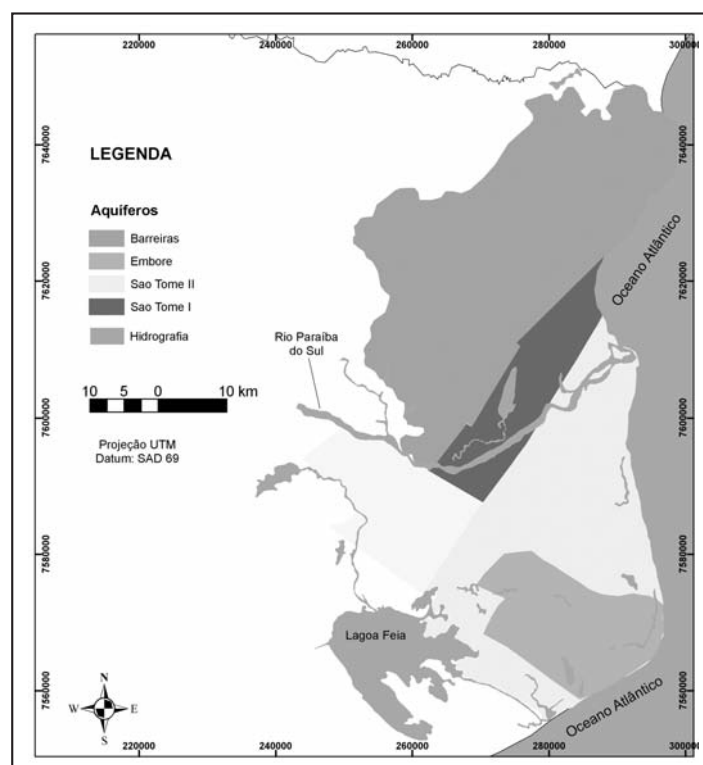


Figura 2. Mapa Hidrogeológico da Bacia da Campos/RJ (modificado de CPRM/RJ 2001).

### Potencial Hídrico Subterrâneo

De acordo com *Caetano (2000)* e *CPRM/RJ (2001)*, o Município de Campos dos Goytacazes dispõe de dois grandes sistemas aquíferos: o Sistema Fraturado e o Sedimentar.

- Sistema *Aquífero Fraturado* - está associado às zonas de fraqueza e ruptura das rochas do embasamento cristalino, e apresenta baixo potencial, com capacidade específica variando de 0,021 a 1,53 m<sup>3</sup>/h/m e valores médios de vazão de 5,73 m<sup>3</sup>/h (*Freitas 2003*). É considerado como aquífero descontínuo, de porosidade secundária (fissuras) e caráter livre a semiconfinado.

- Sistema Aquífero Sedimentar -se divide em:

O *Aquífero Barreiras* se faz presente em toda extensão da bacia, desde seu limite oeste até o litoral, apresentando parte desta aflorante e outra parte recoberta pelos sedimentos Quaternários. Situa-se a oeste da Bacia Sedimentar de Campos dos Goytacazes, tendo contato lateral com o embasamento cristalino, ocorrendo em uma área de aproximadamente 1.630 km<sup>2</sup>. Em sua constituição temos os sedimentos Terciários, aflorantes, compostos por argilas lateríticas e areias com óxido de ferro, sobrepostos ao embasamento cristalino, sendo o aquífero livre e pouco produtivo.

O *Aquífero Flúvio-deltaico* situa-se na margem direita do Rio Paraíba do Sul, a SW da cidade de Campos, ocorrendo em uma área de aproximadamente 304 km<sup>2</sup>. Compreende sedimentos Quaternários, aflorantes, compostos por areias e arenitos, finos a médios com matriz silteosa e bandas argilosas, o que resulta em águas de boa qualidade.

O *Aquífero Emborê*, presente nos arredores da localidade Farol de São Tomé, apresenta também boa qualidade de água, compreende sedimentos não aflorantes, tidos como Terciários, compostos por arenitos conchíferos variados, com feldspato, argilitos impuros e argilas orgânicas, ocorrendo em uma área de aproximadamente 350 km<sup>2</sup>. O aquífero é confinado ou semiconfinado, e encontra-se totalmente coberto por sedimentos Quaternários.

Em poços de Santa Clara, Grussaí e outros, encontrou-se a presença de feições características de sedimentação marinha, correspondentes à formação Terciária (*CPRM/RJ 2001*), indicando que esses sedimentos não eram correlacionáveis com a Formação Barreiras, recebendo este a designação de *Aquífero São Tomé*, que, mesmo apresentando homogeneidade litológica, foi dividido em *Aquífero São Tomé I* e *Aquífero São Tomé II*, em função da diferença de espessuras e de algumas variações das características hidrodinâmicas da região.

O *Aquífero São Tomé I* compreende a um eixo alongado no sentido NE-SW, ocorrendo em uma área de aproximadamente 380 km<sup>2</sup>. Trata-se de sedimentos Terciários, não-aflorantes, totalmente recobertos por sedimentos Quaternários, composto por arenitos avermelhados, lateríticos com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos.

O *Aquífero São Tomé II* ocorre em quase toda região, uma área de aproximadamente 910 km<sup>2</sup>, constituindo-se por sedimentos não-aflorantes, Terciários, com-

postos por arenitos avermelhados, lateríticos, com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos. O aquífero é um sistema confinado, totalmente coberto por sedimentos Quaternários, com águas geralmente de boa qualidade, podendo apresentar-se ferruginosas.

### Análise da Vulnerabilidade do aquífero livre

O Município de Campos apresenta certa fragilidade em termos de abastecimento, pois é feita pela captação no Rio Paraíba do Sul, que pode ser contaminado a qualquer momento, como já aconteceu durante o desastre, em 29 de março de 2003, quando o derrame de um grande volume de substâncias tóxicas (poluição aguda) deixou a população sem água, provocando um aumento na exploração dos recursos hídricos subterrâneos através de uma visão imediatista, colocando em risco a saúde dos usuários, pois não se tinha estudo sobre a qualidade das águas que estavam sendo consumidas.

Esse fato chamou a atenção sobre a necessidade de implementar estudos sobre vulnerabilidade dos aquíferos e da qualidade das águas subterrâneas, o que já vem sendo feito pela Universidade Estadual do Norte Fluminense/UENF em conjunto com a Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, o Departamento de Recursos Minerais/DRM entre outros (*Curty 2003, Rocha et al. 2003a, Rocha et al. 2003b, Rocha 2004, Rosa et al. 2004, Fonseca 2005, Coridola et al. 2005a, Coridola et al. 2005b, Coridola 2006, Costa 2009*). Nesses estudos foram observados problemas de contaminação e comprometimento na qualidade das águas subterrâneas, devido a vulnerabilidade dos aquíferos diante do uso do solo sem planejamento (Figura 3).

A vulnerabilidade associada à susceptibilidade de um determinado aquífero ou manancial subterrâneo em ser poluído por uma atividade antrópica é visto como uma das formas mais adequadas de se encarar a preservação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos (*Hirata 2000*). A idéia é adequar a atividade humana em função da capacidade de suporte do meio, fazendo uma parceria com as características naturais do terreno para uma ocupação ambientalmente responsável.

O termo vulnerabilidade de aquíferos foi inicialmente utilizado por *Le Grand (1964)*, nos EUA, e *Albinet & Margat (1970)*, na França, e mais amplamente na década de 80 por vários outros autores (*Aller et al. 1985, Bachmat & Collin 1987, Foster 1987, Foster & Hirata 1988*). Em função das condições hidrogeológicas descreve-se o grau de vulnerabilidade e através de mapas informam-se os perigos de contaminação de água subterrânea (*Hirata 2000*).

Dentre os métodos de vulnerabilidade existentes, alguns poucos como o DRASTIC, GOD, PLA, AVI, SI e SINTACX, servem para caracterizar uma cartografia geral de vulnerabilidade para qualquer tipo de atividade contaminante. Utilizando-se da metodologia GOD proposta por *Foster & Hirata (1991)*, *Rocha (2004)* elaborou o mapa de vulnerabilidade dos aquíferos livres da Baixada Campista. *Coridola (2006)* ampliou o estudo para todo o Município de Campos dos Goytacazes comparando os resultados da metodologia GOD, que utiliza apenas três parâmetros durante o processo de obtenção dos dados (tipo de aquíferos, litologia da zona não saturada e profundidade do nível freático), com a metodologia DRASTIC que determina a vulnerabilidade de um aquífero, utilizando a área de recarga, o tipo de solo, a topografia e a condutividade hidráulica, além dos dados utilizados na metodologia GOD, obtendo-se como resultados percentuais: vulnerabilidade crítica (10%)



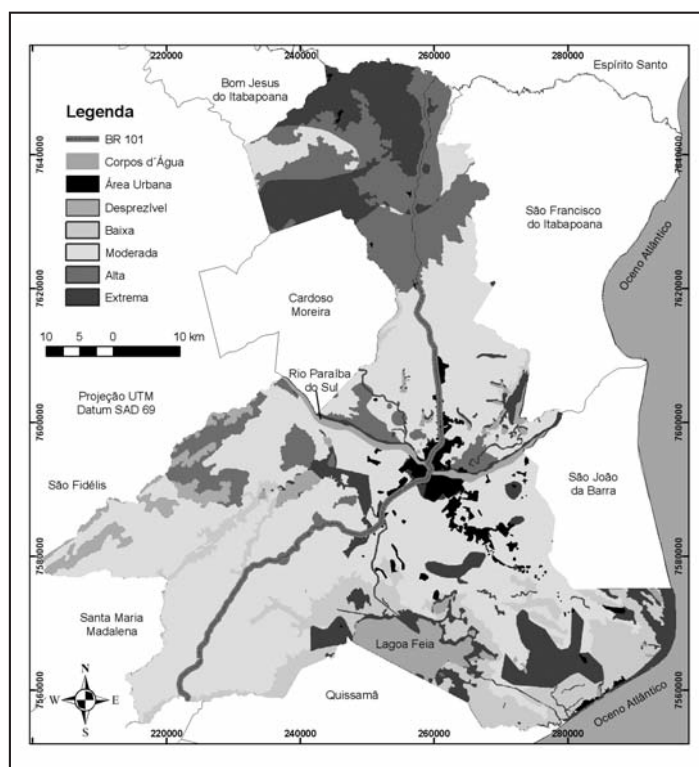


Figura 3. Carta de Vulnerabilidade dos aquíferos livres pela metodologia GOD (Costa 2009).

vulnerabilidade alta (40%) vulnerabilidade moderada (45%) e vulnerabilidade baixa (5%). Essas áreas se distribuem no município nas regiões urbanas e rurais. A área urbana de Campos está praticamente na sua totalidade distribuída em área de extrema e alta vulnerabilidade. Especificamente na Baixada Campista temos vulnerabilidade alta a extrema, o que é extremamente preocupante. Este cenário justifica que esforços sejam feitos para desenvolver trabalhos visando estabelecer parâmetros que possam orientar o poder público e comunidades carentes na ocupação racional e responsável do solo.

Segundo *Coridola (2006)*, ao utilizar o método DRASTIC e também o método GOD em seu trabalho, este último mesmo utilizando apenas três parâmetros ofereceu uma satisfatória integração dos dados, proporcionando simplicidade na elaboração do documento cartográfico final, se mostrando muito satisfatório para municípios com poucos dados existentes.

Dos trabalhos desenvolvidos na região ligados a área de saúde podemos citar o de *Bahia de Oliveira et al. (2003)*, que realizou um levantamento epidemiológico sobre a prevalência de toxoplasmose em 1436 indivíduos escolhidos aleatoriamente na cidade de Campos dos Goytacazes, constatando que 84% da população de classe sócio-econômica baixa, foi positiva para toxoplasmose, enquanto nas classes média e alta, essa porcentagem foi de 62% e 23%, respectivamente. Neste trabalho foi detectado que a ingestão de água não filtrada pareceu aumentar o risco de positividade para as classes mais baixas. Assim, é muito provável que a qualidade da água consumida pela população tenha um papel preponderante nesse quadro. Este quadro gerou uma pesquisa que levou em consideração a doença com a vulnerabilidade de aquíferos, o que vem dando resultados muito interessantes e preocupantes.

De acordo com os dados obtidos de *Fonseca (2005)*, relacionando não apenas a qualidade da água, mas também as condições de higiene e saneamento apresentados na comunidade de

Parque Santuário, em Travessão (Distrito de Campos dos Goytacazes-RJ) e de *Rosa et al. (2004)*, no Município de Campos, encontrou-se nas amostras analisadas a presença de coliformes fecais, sendo mais evidente após o período de chuvas, evidenciando a contribuição dos resíduos orgânicos e a vulnerabilidade da rede de esgoto local.

A água constitui fator de risco relevante para toda a sociedade, pois pode apresentar uma qualidade deficiente por questões naturais intrínsecas ao meio ambiente, sendo influenciada pelo material geológico no qual se insere, ou estar contaminada pela atividade humana. As características químicas das águas subterrâneas são diretamente influenciadas pela qualidade original da água de infiltração, pelo tipo de solos, litologias atravessadas e pela ação antrópica, gerando fontes de contaminação diretamente associadas à agricultura e pecuária, a despejos domésticos, industriais, ao chorume oriundo de aterros de lixo, esgotos, etc., que contaminam os aquíferos, além de promoverem a mobilização de metais naturalmente contidos no solo, como alumínio, ferro e manganês, entre outros.

Como o abastecimento de água tratada não atende a todas as comunidades, a população busca alternativas, onde a maneira mais econômica e prática encontrada tem sido a captação de água por meio de poços, quer seja de aquíferos rasos (a enorme maioria) ou dos aquíferos profundos. Infelizmente, a resolução de um problema, que é do abastecimento, acaba gerando outro, que é o da Saúde Pública, pois a maioria dessas águas de poços tem potencial de estar fora dos padrões de potabilidade, pelos parâmetros organolépticos, físicos, químicos, bacteriológicos ou radioativos.

## METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi dividida nas seguintes etapas:

- Coleta de dados básicos e inventário dos pontos de captação de água: banco de dados elaborado a partir dos documentos disponíveis em empresas ou organismos públicos;
- Coleta de amostras de água dos poços rasos e profundos para análise físico-química e bacteriológica;
- Compilação de dados pré-existentes (análises físico-químicas e bacteriológicas);
- Análise dos resultados das amostras no software Qualigraf;
- Georreferenciamento dos pontos de coleta das amostras;
- Produção de mapas no software ArcGis 9.1.

## RESULTADOS

### Inventários dos Poços Rasos (R) e Profundos (P)

Foi realizado um levantamento dos dados existentes, referentes aos poços rasos e profundos, no banco de dados da OFIGEO/UENF, e em trabalhos anteriores do Projeto Prioridade Rio (2008 2009). Após esta fase, ocorreram visitas de campo para o cadastro de poços rasos e profundos, que foram realizadas em núcleos urbanos e em algumas áreas rurais. Foi elaborada uma ficha identificando: dados dos usuários (nome, endereço e telefone) e do poço (ano de construção, profundidade, nível d'água e localização geográfica). Estes dados dos poços foram digitados em planilha do Excel (dbf) e inseridos no ambiente GIS, para serem espacializados, podendo ser vistos na Figura 4 (Poços Rasos e Poços Profundos).

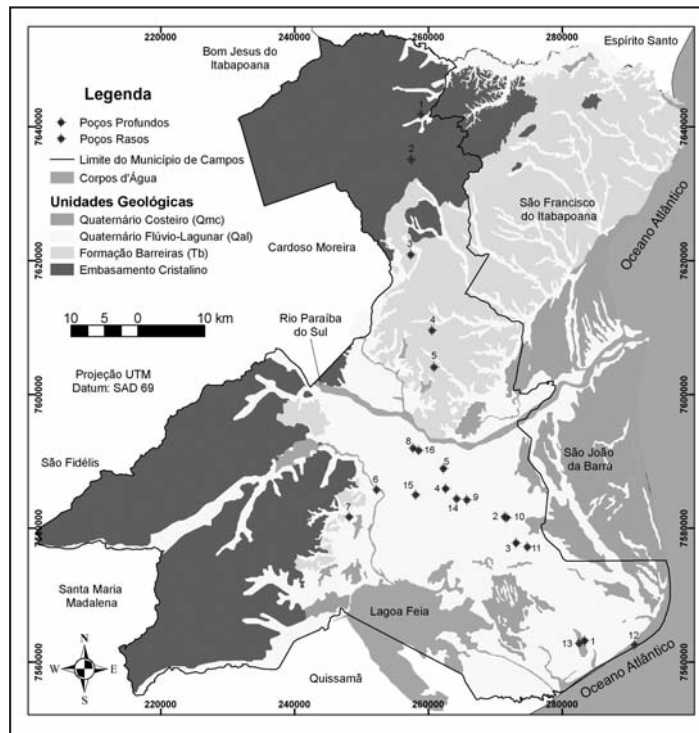


Figura 4. Cadastro e localização dos poços rasos(1-16) e profundos(1-5) no Município de Campos dos Goytacazes RJ.

### Avaliação da Qualidade das Águas

A avaliação da qualidade da água subterrânea, bem como suas características hidrogeoquímicas, constitui uma informação de grande importância para sua gestão e sua adequabilidade ao uso, seja consumo humano, industrial, irrigação ou dessedentação animal.

#### Poços Rasos

Os poços rasos de R1-R5 encontram-se em profundidade de 5 a 10 m, enquanto que os poços de R6-R16 estão todos localizados na Baixada Campista apresentando uma profundidade de até 5 m.

Foram realizadas coletas de amostras de água para análises físico-químicas buscando classificar as águas conforme sua tipologia hidrogeoquímica e sua possibilidade de uso.

As amostras foram coletadas nos poços, sem prévio tratamento, no mês de setembro de 2008 e levadas, em seguida,

a Fundenor - Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (Campos dos Goytacazes), onde foram realizados os procedimentos necessários para os ensaios de qualidade físico-química. Os resultados podem ser observados na Tabela 1.

As amostras foram coletadas em águas não tratadas, não cloradas. As técnicas de coleta e de transporte foram fornecidas pelo laboratório.

Os dados foram colocados em ambiente GIS, como mostra a Figura 4.

Esses resultados foram analisados no software Qualigraf e são mostrados a seguir.

#### pH

O termo pH (potencial hidrogeniônico) é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio nessa solução.

Tabela 1. Qualidade das águas subterrâneas dos poços rasos do Município de Campos dos Goytacazes RJ.

Poços visitados	Parâmetro					
	pH	$\mu\text{S/cm}$ Cond. Elétrica	mg/L $\text{CaCO}_3$ Dureza	mg/L Cl Cloretos	mg/L Fe Ferro	mg/L Pb Chumbo
R1	6,70	540	55,3	107,00	0,01	0,03
R 2	5,90	90	9,77	4,80	0,00	0,03
R 3	4,60	360	9,47	56,80	0,02	0,02
R 4	4,10	280	7,49	18,40	0,00	0,04
R 5	4,80	110	5,87	5,20	0,00	0,03
R 6	6,20	330	59,35	23,20	0,37	0,03
R 7	4,50	290	4,54	33,00	0,01	0,03
R 8	6,20	380	76,42	20,80	0,01	0,03
R 9	7,00	990	104,03	153,00	0,06	0,03
R 10	6,50	1490	175,87	233,00	0,21	0,04
R 11	5,90	1380	143,23	161,80	0,03	0,04
R 12	7,80	480	171,53	24,00	0,07	0,02
R 13	7,30	750	231,21	55,20	3,05	0,02
R 14	6,90	950	155,77	130,00	0,03	0,02
R 15	6,10	570	60,8	78,60	13,60	0,01
R 16	6,40	410	92,05	29,20	0,03	0,01
VMP	6,0-9,5	-	500	250,00	0,3	0,01

(Port. n° 518)

\*VMP = Valores Máximos Permitidos (Portaria n° 518)

A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade.

Para o consumo humano é recomendável a faixa entre 6 a 9,5, segundo a Portaria n° 518 do Ministério da Saúde. De acordo com estes dados, verificou-se que: das 16 amostras obtidas nos poços rasos visitados, seis encontram-se fora do padrão exigido pelo Ministério da Saúde para consumo humano.

#### Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente, e à alcalinidade, que tem relação direta com a presença e/ou ausência de carbonatos e bicarbonatos (Santos 1997).

Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem, ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, etc. (Ambiente Brasil 2008).

De acordo com os resultados encontrados pode-se notar duas amostras com valores maiores que 1000  $\mu\text{S/cm}$ , indicando maior presença de sais. Nota-se também que essas amostras estão concentradas em determinada região, e pode estar relacionado com o avanço e recuo do mar nessa área. Como também é uma área de camadas de argila, intercaladas por areia, pode ser que a camada de argila está servindo como um impedimento para que os sais sejam drenados.

#### Dureza (Mg, Ca)

Dureza é um parâmetro característico da qualidade de águas de abastecimento industrial e doméstico, sendo que, do ponto de vista da potabilização, são admitidos valores máximos relativamente altos, típicos de águas duras ou muito duras. Quase toda a dureza da água é provocada pela presença de sais de cálcio e de magnésio (bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos) encontrados em solução.

A dureza total da água compõe-se de duas partes: dureza temporária e dureza permanente. A dureza é dita temporária quando desaparece com o calor, e permanente, quando não desaparece com o calor, ou seja, a dureza permanente é aquela que não é removível com a fervura da água. A dureza temporária é a resultante da combinação de íons de cálcio e magnésio, que podem se combinar com bicarbonatos e carbonatos presentes.

Para efeito de potabilidade, são admitidos valores relativamente altos de dureza. No Brasil, a Portaria N.º 518 de 2004 estabelece o limite máximo de 500 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  para que a água seja admitida como potável. A objeção fica por conta do gosto, que eventualmente pode se considerado uma característica

desagradável de águas muito duras. Há, no entanto, águas naturais duras consideradas satisfatórias para consumo humano (Valores Máximos Permitidos = 500 mg/L).

Para um número vasto de aplicações, como combate a incêndio, regar o jardim, lavagem das ruas ou manter o barco a flutuar, a água teria de ser muito dura para causar problemas. Para outros usos tanto domésticos como industriais, no entanto, a água dura pode causar alguns inconvenientes. Um deles refere-se à menor capacidade de precipitar sabão da água dura.

Teores de dureza inferiores a 50 ppm não implicam em que a água seja considerada dura. Teores de 50 a 150 não incomodam para efeitos de ingestão, mas acima de 100 ppm provocam prejuízos sensíveis em trabalhos que envolvam o uso da água com sabão e originam precipitações com incrustações antiestéticas e até potencialmente perigosas em superfícies sujeitas a aquecimentos. Em geral a redução da dureza para concentrações inferiores a 100 ppm só é economicamente viável para

fins industriais, onde o produto final ou os equipamentos dependem de água de melhor grau de pureza.

Em termos de dureza em  $\text{CaCO}_3$ , a água pode ser classificada como (UFV 2008):

- Menor que 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$  - água mole
- Entre 50 e 150 mg/L  $\text{CaCO}_3$  - água com dureza moderada
- Entre 150 e 300 mg/L  $\text{CaCO}_3$  - água dura
- Maior que 300 mg/L  $\text{CaCO}_3$  - água muito dura

A despeito do sabor desagradável que referidos níveis podem suscitar, elas não causam problemas fisiológicos.

Das 16 amostras obtidas nos poços rasos visitados, cinco são consideradas água mole, sete são consideradas água com dureza moderada e quatro são consideradas água dura.

A Figura 5 mostra a dureza da água em relação a  $\text{CaCO}_3$  dos poços rasos visitados.

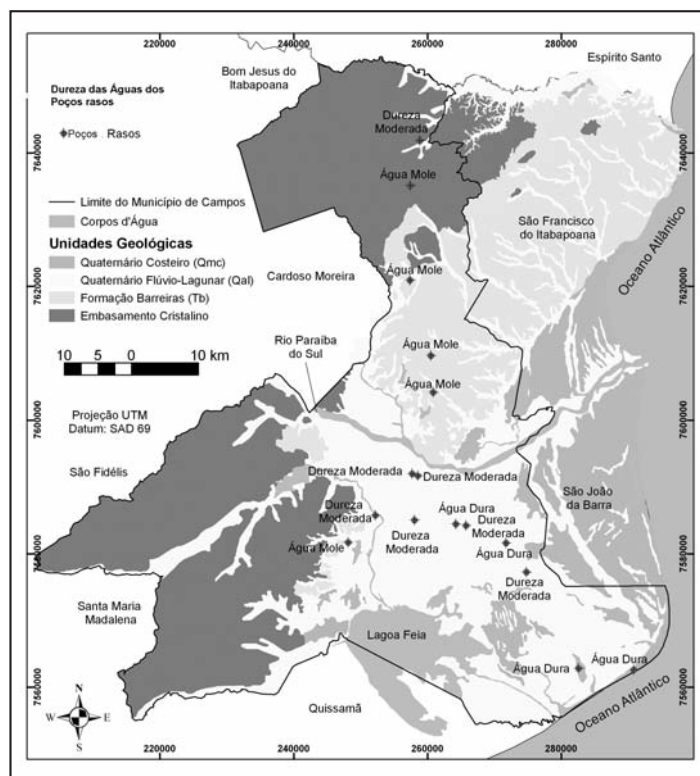


Figura 5. Dureza das águas dos poços rasos analisados de Campos dos Goytacazes-RJ.

### Cloretos

O cloreto é o ânion  $\text{Cl}^-$ , que se apresenta nas águas subterrâneas através de solos e rochas. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da cunha salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água (Cetesb 2001).

De acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 250 mg/L para consumo humano. Todas as amostras ficaram dentro do padrão exigido.

### Ferro

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água. Apesar de não se constituir em um tóxico, o ferro traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade (Cetesb 2001).



De acordo com a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 0,3 mg/L para o consumo humano. Conforme pode ser observado na Tabela 1, três amostras ficaram fora do padrão exigido.

### Chumbo

O chumbo está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos, nestes últimos, naturalmente, por contaminação e na embalagem. Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais como, por exemplo, os efluentes das indústrias de acumuladores (baterias), bem como devido ao uso indevido de tintas e tubulações e acessórios a base de chumbo (materiais de construção). O chumbo e seus compostos também são utilizados em eletrodeposição e metalurgia. Constitui veneno cumulativo, provocando um envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central com consequências bastante sérias. Outros sintomas de uma exposição crônica ao chumbo, quando o efeito ocorre no sistema nervoso central, são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, entre outros. Quando o efeito ocorre no sistema periférico, o sintoma é a deficiência dos músculos extensores. A toxicidade do chumbo, quando aguda, é caracterizada pela sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrointestinal, vômitos e diarreias (Cetesb 2001).

De acordo com a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 0,01 mg/L para o consumo humano. Conforme pode ser observado na Tabela 1, das 16 amostras coletadas nos poços rasos visitados, apenas duas ficaram dentro do padrão exigido.

### Bacteriológica

As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui os generos

Klebsiella, Escherichia, Serratia, Erwenia e Enterobactéria. Todas as bactérias coliformes são gran-negativas manchadas, de hastes não esporuladas, que estão associadas com as fezes de animais de sangue quente e com o solo (Cetesb 2001).

A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como: febre tifóide, febre paratifóide, desintéria bacilar e cólera (Cetesb 2001).

De acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, é recomendável ausência de coliformes na água para o consumo humano. Nos resultados de Rosa *et al.* (2004) foram encontradas 55 amostras fora do padrão microbiológico e 25 amostras dentro do padrão.

### Classificação da Água

A resolução CONAMA n.º 357 de 17 de março de 2005 (CONAMA 2005), do Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, estabelece a seguinte classificação:

- Águas Doces - com salinidade inferior a 0,5‰;
- Águas Salobras - com salinidade variando entre 0,5 e 30‰;
- Águas Salgadas - com salinidade superior a 30‰.

Os dados físico-químicos foram inseridos no Software Qualigraf, o que gerou os seguintes resultados:

Nos poços rasos visitados, 75% das amostras foram consideradas doce e 25% salobra, como pode ser visto na Figura 6.

De acordo com o diagrama de Piper, as águas coletadas nos poços rasos do Município de Campos dos Goytacazes são consideradas, em 56% das amostras, como Sulfatadas ou Clorretadas Cálcicas ou Magnesianas e consideradas Sulfatadas ou Clorretadas Sódicas em 44%, como pode ser visto na Figura 7.

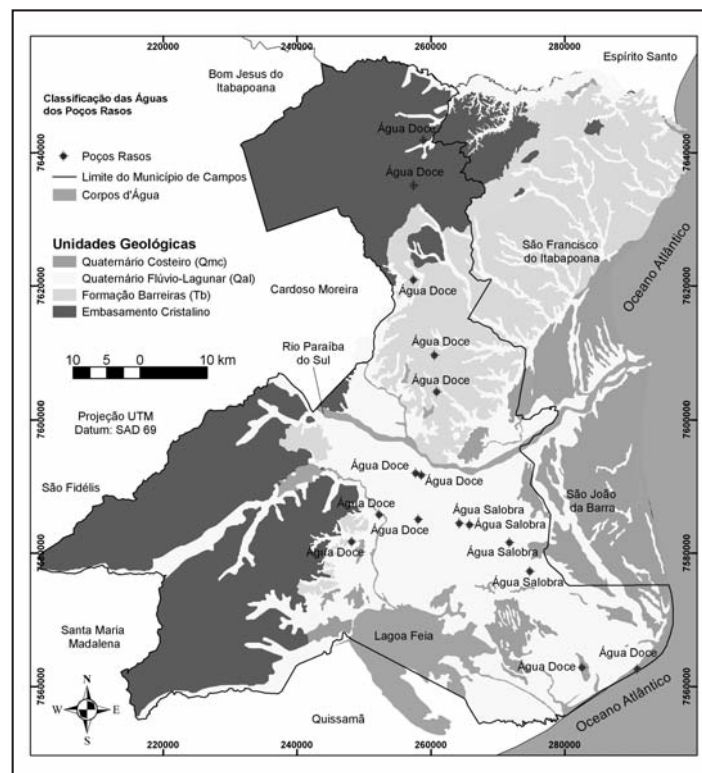


Figura 6. Classificação das águas dos poços rasos analisados de Campos dos Goytacazes-RJ.

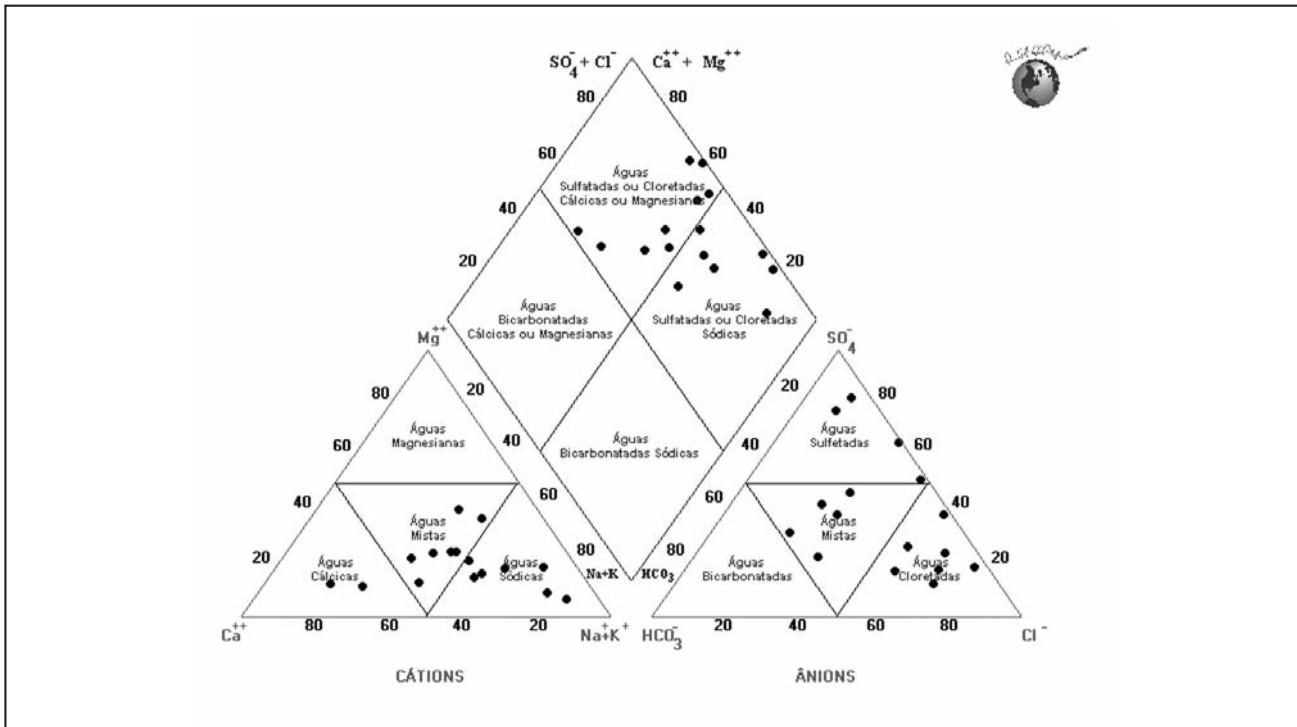


Figura 7. Diagrama de Piper das amostras de água analisadas dos poços rasos de Campos dos Goytacazes-RJ.

### Qualidade das Águas (Poços Profundos)

Foram coletadas no mês de novembro de 2008, 5 amostras em poços profundos (P1, P2, P3, P4 e P5), que foram levadas à Fundenor - Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (Campos dos Goytacazes) para ensaios de qualidade bacteriológica e à CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Rio de Janeiro), para ensaios de qualidade físico-química completa. Os resultados das análises físico-químicas podem ser observados na Tabela 2.

A Tabela 3 mostra a profundidade dos poços, o tipo de ocorrência e a qual aquífero pertencem.

### pH

De acordo com os resultados, verificou-se que todas as amostras encontram-se dentro do padrão exigido.

### Condutividade Elétrica

De acordo com os resultados encontrados, pode-se notar uma amostra com valores maiores que 1000 µS/cm, indicando presença de sais.

### Turbidez

Todos somos capazes de reconhecer uma água "clara" ou "turva", características relacionadas à presença ou ausência de turbidez. Se um líquido contém substâncias sólidas não dissolvidas, a luz que atravessa o líquido fica em parte absorvida. A turbidez se deve a partículas em suspensão ou colóides: argilas, limo, terra finamente dividida, etc. Um alto valor de turbidez prejudica a condição estética da água e estudos técnicos constatam o efeito de proteção física de microrganismos pelas partículas causadoras da turbidez, diminuindo a eficiência de tratamentos.

Tabela 2. Qualidade das águas subterrâneas dos poços profundos do Município de Campos dos Goytacazes-RJ.

Poços visitados	Parâmetro						
	pH	µS/m Cond. Elétrica	UT4 Turbidez	mg/L Cl Cloretos	mg/L Fe Ferro	mg/L Nitrito	mg/L CaCO <sub>3</sub> Dureza
P1	7,46	430,00	0,02	24,26	0,020	0,080	155
P 2	6,56	1598,00	133	407,90	0,003	0,005	220
P 3	7,35	415,00	2,33	38,15	0,017	4,00	125
P 4	6,82	979,00	7,6	226,03	0,006	5,00	200
P 5	6,57	246,00	17,1	37,01	0,002	0,005	50
VMP	6,0-9,5		5	250,00	0,3	1,00	500

\*VMP = Valores Máximos Permitidos (Portaria nº 518)

Tabela 3. Poços profundos do Município de Campos dos Goytacazes.

Poços visitados	Profundidade dos poços	Tipo de aquífero	Aquífero
1	220 m	Confinado	Emborê
2	170 m	Confinado	São Tomé II
3	137,5 m	Confinado	Emborê
4	104 m	Livre	Flúvio-Deltaico
5	70 m	Livre	Flúvio-Deltaico

De acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 5 UT<sub>4</sub> para o consumo humano. Conforme pode ser observado na Tabela 2, três amostras ficaram fora do padrão exigido.

#### Dureza (Mg, Ca)

Das cinco amostras obtidas nos poços profundos visitados, uma é considerada água mole, uma é considerada água com dureza moderada e três são consideradas água dura (Figura 7).

#### Cloretos

Conforme pode ser observado na Tabela 2, uma amostra ficou fora do padrão exigido.

#### Nitrito

O nitrito é um parâmetro simples, mas de fundamental importância na verificação da qualidade da água para consumo, pois sua presença é um indicativo de contaminação recente, procedente de material orgânico vegetal ou animal. O nitrito pode ser encontrado na água como produto da decomposição biológica, devido à ação de bactérias ou outros microorganismos sobre o nitrogênio amoniacal, ou ser proveniente de

ativos inibidores de corrosão em instalações industriais (Gadelha et al. 2005).

Nitrito é um estado intermediário do nitrogênio, tanto pela oxidação da amônia a nitrato como pela redução do nitrato. Estes processos de oxidação e redução podem ocorrer em estações de tratamento de água, sistemas de distribuição de águas e em águas naturais. Raramente ele é encontrado em águas potáveis em níveis superiores a 0,1 mg/L. Seu principal efeito na água em teores maiores que o permitido é uma doença conhecida como Metahemoglobinemia ou descoloramento da pele, causada pela alteração do sangue, tanto em bebês recém-nascidos, como em adultos com determinada deficiência enzimática (Gadelha et al. 2005).

De acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, é recomendável uma taxa de até 1 mg/L para o consumo humano. Conforme pode ser observado na Tabela 2, duas amostras ficaram fora do padrão exigido.

#### Ferro

Conforme pode ser observado na Tabela 2, todas as amostras ficaram dentro do padrão exigido.

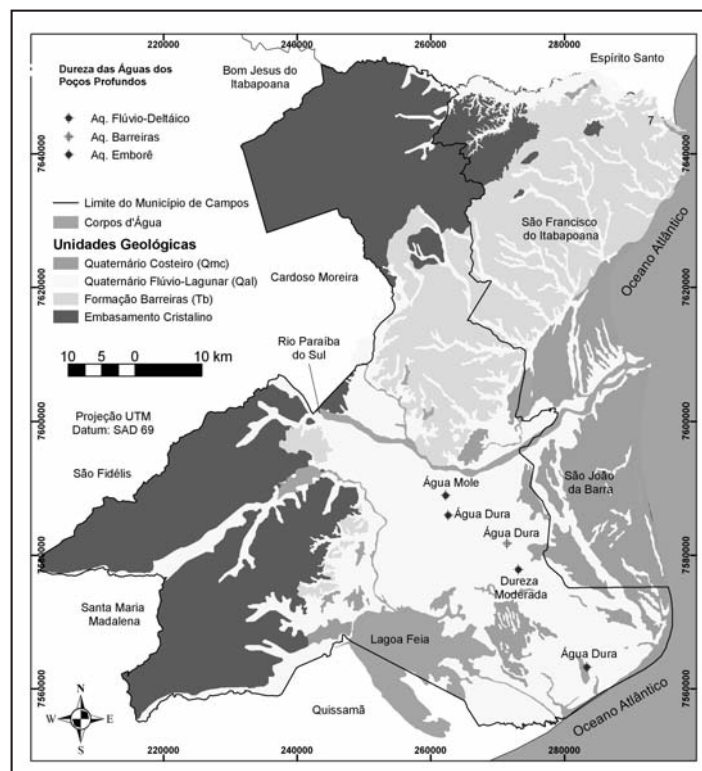


Figura 8. Dureza das águas dos poços profundos analisados de Campos dos Goytacazes-RJ.

### Chumbo

As amostras coletadas nos poços profundos visitados ficaram dentro do padrão exigido, pois apresentaram valores inferiores a 0,01 mg/L.

### Bacteriológica

As amostras coletadas nos poços profundos visitados ficaram dentro do padrão exigido.

### Classificação da Água

Os dados físico-químicos foram inseridos no Software Qualigraf, que gerou os seguintes resultados:

Nos poços profundos visitados três amostras foram consideradas doces e duas salobras, como pode ser visto na Figura 8.

De acordo com o diagrama de Piper, as águas coletadas nos poços profundos do Município de Campos dos Goytacazes são consideradas em três amostras como Sulfatadas ou Clorretadas Sódicas; como Bicarbonatada Sódica em uma amostra; e como Bicarbonatada Cálcica ou Magnésiana em uma amostra, como pode ser visto na Figura 10.

## CONCLUSÃO

O Estado do Rio apresenta grandes reservas de águas subterrâneas nas suas bacias sedimentares, sendo que a Bacia de Campos tem o maior potencial do Estado. Estudos realizados até o momento mostram que existem aquíferos com vazão de 200.000 l/h, como é o caso do Aquífero profundo Flúvio-Deltaítico que ocorre às margens do Rio Paraíba, com área 304 km e espessura de 60 a 90 m. Dessa forma, é urgente propor medidas de manejo adequado deste recurso, em que se leve em consideração a quantidade e a qualidade das águas para os diferentes usos, mas também a vulnerabilidade natural dos aquíferos rasos,

que são amplamente usados pela população para diversos usos. Os poços, do tipo cacimba, que as pessoas perfuram maciçamente na cidade de Campos dos Goytacazes, são vulneráveis a diversos tipos de poluição e/ou contaminação, como: por “fossas sépticas”, por tubulações de esgoto com fissuras, por disposição inadequada de resíduos sólidos e por muitas outras formas.

De acordo com os resultados obtidos neste levantamento, conclui-se que, de modo geral, as águas subterrâneas, dos poços rasos, no norte do município, apresentam melhor qualidade. Exceção para o elemento chumbo, que ocorre fora do padrão de potabilidade, não só nesta região, mas em todo o município, o que é muito preocupante.

O pH ocorre nas amostras R2, R3, R4, R5, R7 e R11 em limites fora do padrão. Mesmo esse elemento não sendo tóxico é importante ter certo cuidado, pois o sangue de um humano saudável tem um pH de 7,35 a 7,45 mas quando não consegue equilibrar o pH, o nosso corpo torna-se ácido e propenso à infestação por parasitas e todos os males que eles trazem. Um pH levemente alcalino do sangue aumenta a oxigenação das células e a imunidade.

Os outros parâmetros analisados foram: a condutividade, no qual as amostras R10 e R11 deram valores altos, 1490  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 1380  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente; a dureza das amostras se encontra dentro do padrão, sendo que a amostra R13 apresenta um valor de 231,21 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . O mesmo acontece com os clorretos, todos estão dentro do padrão, sendo que a amostra R10 apresenta um valor quase no limite de potabilidade.

Na chamada Baixada Campista ocorrem águas com maior concentração de elementos fora dos limites de potabilidade. A presença de substâncias inorgânicas como ferro, em concentrações acima dos padrões de potabilidade (amostras R6, R13 e R15), deve ocorrer de forma natural, pelo efeito do

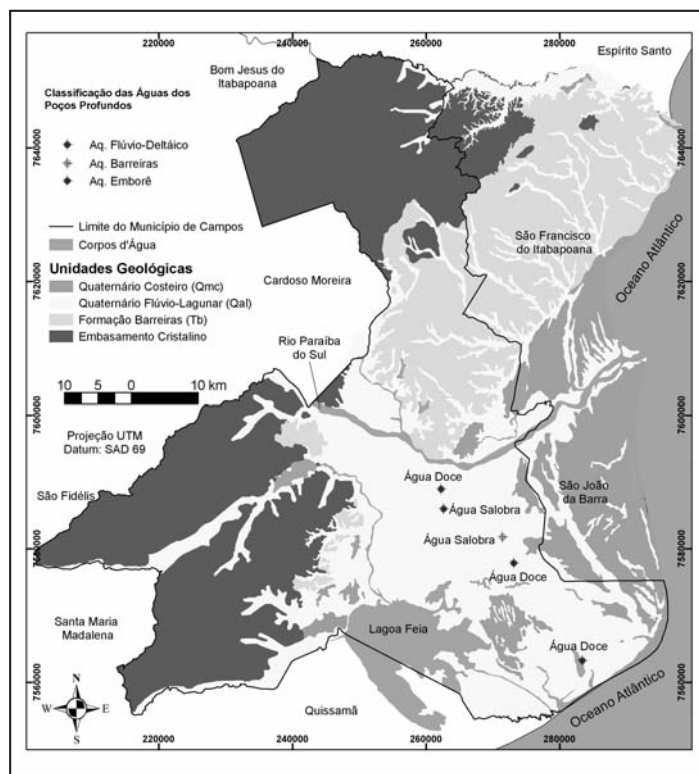


Figura 9. Classificação das águas dos poços profundos analisados de Campos dos Goytacazes RJ.



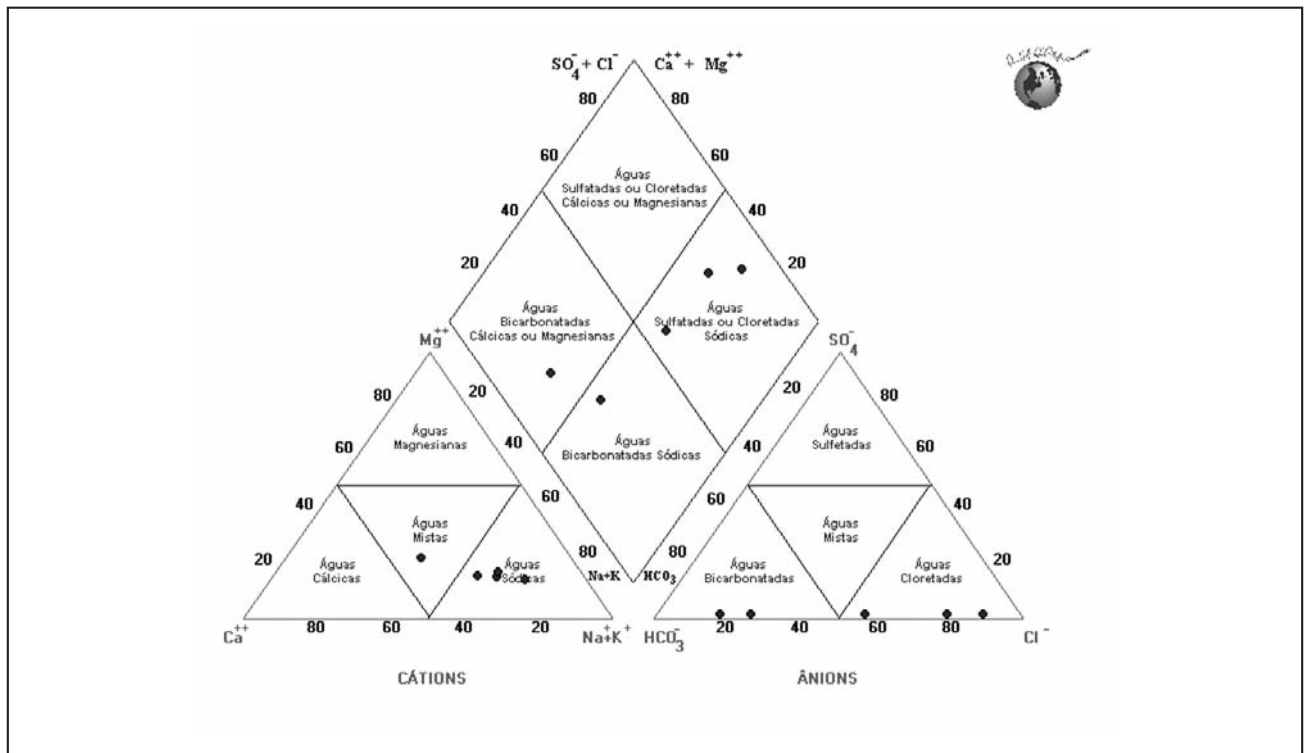


Figura 10. Diagrama de Piper das amostras de água analisadas dos poços profundos de Campos dos Goytacazes-RJ.

intemperismo sobre as rochas ricas em Fe existentes na região. De qualquer forma, deve ser feito um tratamento, para que esta água possa ser usada, pois o ferro em excesso provoca doenças intestinais graves. O poço onde foi retirada a amostra R15 deve ter uma nova avaliação, pois o valor está muito alto.

No caso do parâmetro chumbo, estima-se que a origem das contaminações observadas seja antrópica, e como das 16 amostras, 14 deram fora do padrão, uma atenção especial deve ser dada e um monitoramento deve ser realizado, pois a população usa essa água para diversos fins, inclusive para beber, o que é preocupante, pois na exposição prolongada são observados efeitos renais, cardiovasculares, neurológicos, nos músculos, ossos, entre outros. É um composto cumulativo que provoca um envenenamento crônico. Neste caso, só as amostras R14 e R15 deram valores dentro do limite aceitável.

As variações encontradas nas amostras dos aquíferos rasos estão principalmente na Baixada Campista, que é uma região com intercalações de sedimentos arenosos, argilosos e siltosos, tendo um nível freático muito alto e um uso do solo totalmente sem planejamento e ordenação, sendo uma área de alta vulnerabilidade. Outro agravante é o processo de construção e manutenção dos poços deste aquífero, muitas vezes a contaminação ocorre pela falta de um processo construtivo adequado, falta de manutenção e isolamento.

Quanto aos poços profundos, são encontrados poços perfurados no aquífero livre (amostra P4 e P5) e poços perfurados no aquífero confinado (amostras P1, P2 e P3). Estes poços encontram-se em profundidade que vai de 70 a 220 m. Em relação à potabilidade, os poços analisados deram fora dos limites para condutividade, turbidez, cloreto na amostra 2; o parâmetro nitrito deu fora do limite para as amostras 3 e 4, apresentando valores bem diferenciados das outras amostras. Esta

contaminação precisa ser melhor investigada, pois o poço 4 está perfurado a uma profundidade de 104 m em um aquífero livre e o poço 3 está perfurado a uma profundidade 137,5 m em um aquífero confinado. A esta profundidade não é esperado este tipo de contaminação, mas ela existe e é recente, mas não temos dados sobre os poços, principalmente sobre as localizações dos filtros para poder saber se está ocorrendo uma mistura das águas de diferentes aquíferos. A região é considerada Peri-urbana, pois apresenta urbanização, mas ainda tem agricultura e criação de animais.

Todos estes poços profundos pertencem a Concessionária Águas do Paraíba, que faz o abastecimento do município através do Rio Paraíba e de poços profundos. Durante o trabalho de campo, realizado juntamente com técnicos de tal concessionária, não foi observado nenhum problema de vedação dos poços, o processo construtivo teve o acompanhamento de equipe especializada; mas de qualquer forma foi realizado um relatório e entregue a concessionária mostrando o problema para que providências fossem tomadas, pois essas águas abastecem grande parte da população do município, principalmente em épocas de verão.

Como as análises dos poços rasos foram feitas na FUNDENOR (Campos dos Goytacazes) e as análises dos poços profundos foram feitas na CPRM (Rio de Janeiro), alguns parâmetros como turbidez e nitrito não foram analisados nos poços rasos, devido ao padrão do laboratório.

Deste modo, de acordo com os resultados obtidos neste levantamento, conclui-se que, de modo geral, as águas subterrâneas do município apresentam problemas de potabilidade para consumo humano e deve ser realizada uma avaliação das consequências na saúde da população e uma conscientização do poder público e da população.

## TRABALHOS MENCIONADOS NO TEXTO

- ALBINET, M.; MARGAT, J. 1970.  
Cartographie de la Vulnérabilité à la Pollution des Nappes d'eau Souterraine, Bull. BRGM 2me Series 3 (4).
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J. 1985.  
Drastic: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. U.S. EPA Report 600/2-85/018.
- AMBIENTE BRASIL. 2008.  
Avanço da Qualidade da Água.  
Disponível em:  
<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/agua/doce/index.html&conteudo=/agua/doce/artigos/qualidade.html>>. Acesso em: 10 setembro 2008.
- BACHMAT, Y.; COLLIN, M. 1987.  
Mapping to assess groundwater vulnerability to pollution.  
In: *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants* (W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh, eds.), TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceeding and Information No. 38, p. 297-307.
- BAHIA DE OLIVEIRA, L. M. G.; JONES, J.; SILVA, J. A.; CRESPO, C.; ORÉFICE, F.; ADDISS, D. 2003.  
Highly endemic waterborne toxoplasmosis in north Rio de Janeiro State, Brazil.  
*Emerging Infectious Diseases*, v. 9, n. 1, p. 55-62.
- Brasil 2004.  
Ministério da Saúde. Portaria nº 518.  
*Dispõe sobre o padrão de qualidade das águas*. Brasília (DF).
- CAETANO, L. C. 2000.  
Água Subterrânea em Campos dos Goytacazes - RJ: uma opção para o abastecimento.  
*Dissertação (Mestrado em Geociências)*. Programa de Pós-Graduação em Administração e Política em Recursos Minerais. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências - Campinas, SP. 112p.
- CAPUCCI, E. B. 2003.  
Água Subterrânea na Baixada Campista.  
*I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste*. Petrópolis, RJ. Anais. ABAS.
- CETESB 2001.  
Variáveis de qualidade das Águas. Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental. São Paulo; Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/>> Acesso em: 15 janeiro 2009.
- CONAMA 2005.  
Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.  
*Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em <[www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf)> Acesso em: 15 janeiro 2009.
- CORIDOLA, R.; ALVES, M. G.; ALMEIDA, F. T.; VIEIRA, E. M. 2005a  
Uso das Técnicas de Geoprocessamento na Elaboração de Mapa Preliminar de Vulnerabilidade dos Aquíferos do Município de Campos dos Goytacazes - RJ.  
In: *XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2005, Anais do XII Simpósio de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: INPE.
- CORIDOLA, R.; ALVES, M. G.; VIEIRA, E. M.; RODRIGUES, V. G.; ALMEIDA, F. T. 2005b.  
Diagnóstico das Atividades Potencialmente Contaminantes com Base na Vulnerabilidade dos Aquíferos Livres do Município de Campos dos Goytacazes-RJ.  
In: *XII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005, Macaé/RJ. Anais do XII Congresso Brasileiro de Cartografia*.
- CORIDOLA, R. 2006.  
Análise da vulnerabilidade de aquíferos livres em Campos dos Goytacazes-RJ utilizando a metodologia God e Drastic através de técnicas de Geoprocessamento.  
*Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)*. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. (no prelo).
- COSTA, A. N. 2009.  
Estudos Geológico-ambientais para o planejamento territorial do Município de Campos dos Goytacazes-RJ.  
*Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, 239p*.
- CPRM/RJ 2001.  
Projeto Rio de Janeiro. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. CD-ROM. Brasília.

- CURTY, L. A. 2003.  
Criação de Banco de dados para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Município de Campos dos Goytacazes/RJ.  
*Projeto de Extensão. Campos dos Goytacazes - Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.*
- FERRARI, A. L.; MELO, E. F.; VAZ, M. A. A.; DALCOMO, M.T.; BRENNER, T. L.; SILVA, V. P.; NASSAR, W. M. 1981.  
Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro - Bloco Campos -  
*Relatórios Técnicos, volume I 1981 - DRM - Geomitec, Geologia e Mineração Trabalhos Técnicos Ltda. 172p.*
- FETTER, C. W. 2002.  
Applied hydrogeology.  
*New Jersey, Prentice Hall. 691p.*
- FONSECA, M. J. G. ET AL. 1998,  
Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro.  
*Rio de Janeiro: DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 141p.*
- FONSECA, J. G. 2005.  
Novos conceitos sobre o problema da água. Dissertação (Mestrado em Biociências).  
*Programa de Pós-Graduação em Biociências e Biotecnologia, Laboratório de Biociências, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 1v. 80p.*
- FOSTER, S. S. D. 1987.  
"Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy"  
*In: W. Van Duijvanbooden and H.G. van Waegeningh (eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information. N° 38 of the International Conference held in the Netherlands.*
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. 1988.  
Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.  
*CEPIS-PAHO/WHO. Lima, 78p.*
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. 1991.  
Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas - una metodología basada en datos existentes.  
*2ª Edición. Lima, Peru: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organización Mundial de la Salud, 81p.*
- FREITAS, D. M. 2003.  
Águas Subterrâneas na Baixada Campista: Geometria, Qualidade e Dinâmica do Aquífero Quaternário Deltaico.  
*Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. 197p.*
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. 1979.  
Groundwater. Prentice Hall, Inc.  
*Engewood Cliffs. 604p.*
- GADELHA, F. J. S.; DOMINGOS, M. S. C.; NOGUEIRA, M. F. L.; SILVA, M. L. L.; MACEDO, R. E. F.; SOUZA, G. C.; NESS, R. L. L. 2005.  
Verificação da Presença de Nitrito em Águas de Consumo Humano da Comunidade de Várzea do Cobra em Limoeiro do Norte-CE.  
*In: Anais da 57ª Reunião Anual da SBPC - Fortaleza, CE - Julho/2005.*
- HIRATA, R. C. A. 2000.  
Recursos Hídricos.  
*In: Teixeira, W., Toledo, M. C. M., Fairchild, T. R., Taioli, F., Decifrando a Terra.*
- IBGE 2007.  
Contagem da População - Dados digitais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.  
*Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/>> Acesso em: 07/08/2008.*
- LE GRAND, H. 1964.  
System for evaluating contamination potential for some waste sites.  
*American Water Work Association Journal. V.56 (8):959-974.*
- MARTINS, A. M.; CAPUCCI, E.; CAETANO, L. C.; CARDOSO, G.; BARRETO, A. B. C.; MONSORES, A. L. M.; LEAL, A. S.; VIANA, P. 2006.  
Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro - Síntese e estágio atual do conhecimento.  
*In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Curitiba. Anais. Paraná. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2006. p.1-17.*
- OMS 1970.  
Índices de Calidad de Água e Salud.  
*Organizacion Mundial de la Salud Disponível em <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/2000globs6.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/2000globs6.pdf)> Acesso em: 10 abril 2010.*

- OMS 2004.  
Guidelines for Drinking-water Quality -  
Vol. 1, 3ª ed. *Organização Mundial de Saúde. Disponível em:*  
<[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3/en](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en)>. Acesso em: 23 outubro 2006.
- ROCHA, S. F.; ALVES, M. G.; ROSA, C. C. B.; ALMEIDA, F. T.; SANTOS, E. L. 2003a.  
Vulnerabilidade e Diagnostico da Potabilidade das águas dos Poços localizados na área urbana de Campos dos Goytacazes.  
*In: I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, 2003, Petrópolis. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste XIII Encontro de Perfuradores de Poços.*
- ROCHA, S. F.; ALVES, M. G.; ALMEIDA, F. T. 2003b.  
Estudo preliminar da vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos em Campos dos Goytacazes-RJ.  
*In: XI Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. XI Simpósio de Sensoriamento Remoto. São Paulo: INPE.*
- ROCHA, S. F. 2004.  
Análise da vulnerabilidade dos aquíferos livres com finalidade de investigação preliminar do risco de contaminação por saneamento in situ  
*Estudo de caso: Baixada Campista - Campos dos Goytacazes – RJ. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 73p.*
- ROSA, C. C. B.; ALMEIDA, F. T.; SANTOS JÚNIOR, E. L.; ALVES, M. G.; MARTINS, M. L. L. 2004.  
Qualidade Microbiológica de Água de Poços Provenientes de Áreas Urbanas e Rurais de Campos dos Goytacazes (RJ).  
*In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá.*
- SANTOS, A. C. 1997.  
Noções de Hidroquímica.  
*In: Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Coordenadores: Fernando Antônio Carneiro Feitosa / João Manoel Filho. Fortaleza. CPRM / LABHID - UFPE. 1ª Ed. p. 81-108.*
- UFV 2008.  
Qualidade da água. Universidade Federal de Viçosa.  
*Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/lqa/qualidade.htm>> Acesso em: 10 setembro 2008.*
- UNESCO. 2007.  
A Groundwater Resources Sustainability Indicators IHP -  
*VI Series on Groundwater N° 14 Published in 2007 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 7, Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP (France) Composed by Marina Rubio, 93200 Saint-Denis.*
- USEPA 1975. U.S.  
Environmental Protection Agency  
*Disponível em <[www.epa.gov/history/index.htm](http://www.epa.gov/history/index.htm)> Acesso em 10 abril 2010.*





## Cambios inducidos por obras portuarias en ambientes de playa, Quequen provincia de Buenos Aires, Argentina

del Río, Julio Luis <sup>1,5</sup> ✉ - Alperin, Marta <sup>2</sup> - Bó, María Juliana <sup>1</sup> - López de Armentia, Adriana <sup>1</sup>  
Álvarez, Jorge Rubén <sup>3</sup> - Camino, Mariana <sup>1</sup> - Bazzini, Sergio <sup>4</sup>

Recibido: 07 de diciembre de 2010 • Aceptado: 19 de abril de 2011

### Resumen

*La zona de estudio ha estado signada por la construcción del puerto de Quequén desde las primeras décadas del siglo XX. El puerto Quequén presenta una localización estratégica para la exportación de los productos agropecuarios de la región del Sudeste bonaerense. Este puerto está conformado por dos escolleras, una al Noreste de 572 m y otra al Sur de 1200 m. En el año 2005 se inició la reparación, remodelación y prolongación de la escollera Sur. La obra estuvo destinada a disminuir las condiciones de olas en el interior del canal de acceso y mejorar las condiciones de navegación reduciendo además el tiempo de acceso y egreso de los buques al puerto. Esta obra ha generado preocupación y controversia social sobre la agudización de la erosión costera en las playas de las localidades de Quequén y Costa Bonita situadas al Este del puerto. En el presente trabajo se analizan las variaciones trimestrales del ancho de playa relevadas sistemáticamente desde el año 2004 al 2009. En el periodo analizado no se han encontrado evidencias concluyentes de la erosión costera previstas y adjudicable en forma directa a la Obra de Ampliación del Puerto de Quequén, sino parcialmente lo opuesto. Sin embargo es importante señalar que el lapso relevado, es corto en términos de series temporales.*

**Palabras clave:** *Erosión costera, ancho de playa, puerto.*

### Abstract

*The study area has been marked by the construction of the Quequén port since the first decades of the XX century. Its strategic location is of extreme importance in the exporting of regional products manufactured in the South East area of Buenos Aires province. This port is formed by two breakwaters: one to the Northeast, of 572 m, and another one to the South, of 1200 m.*

*In 2005, repair, restructuring and extension works were carried out in the South breakwater. This work aimed at diminishing wave conditions in the inner part of the access canal, and enhancing navigation conditions as well as reducing the time used by ships to enter and leave the canal. These works have raised social concern and awareness over the intensification of coastal erosion in the beaches near Quequén and Costa Bonita, located at the East of the port.*

*The present work analyses three-monthly variations in the beaches width, systematically gathered between 2004 and 2009. Contrary to what was expected, in this period no*

1 Universidad Nacional de Mar del Plata, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario

✉ jldr@mdp.edu.ar

2 Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata

3 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

4 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

5 Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Nivel + 1,80, 7600, Mar del Plata.

*conclusive evidence has been found as to whether coastal erosion is directly associated to the works carried out in the port of Quequén. However, it is important to highlight that the analyzed period is rather short in terms of temporal series, so it can be argued that coastal erosion might, in part, be due to the Extension Works in the port.*

**Keywords: Coastal erosion, beach width, port.**

## INTRODUCCIÓN

La zona de estudio ha sido, desde las primeras décadas del siglo XX, objeto de una ocupación humana de singular intensidad signada por el desarrollo de la ciudad de Necochea y la construcción del puerto de Quequén en 1911.

Las ciudades de Necochea y Quequén, situadas a ambos lados de la desembocadura del río Quequén, y unidas por la dinámica económica, social y ambiental portuaria, cuentan con una población estable de 73.276 personas (INDEC 2001).

El puerto Quequén presenta una localización estratégica para la exportación de los productos agropecuarios de la región del Sudeste bonaerense, el 90 % del movimiento portuario corresponde a trigo, maíz y girasol, aceites y subproductos de estos. Las importaciones se circunscriben a fertilizantes a granel y combustibles (Pavarini, 2001). En la actualidad las principales actividades económicas regionales son la agrícola-ganadera, el turismo y la recreación, las nuevas urbanizaciones, la pesca y las actividades propias del puerto. Estas actividades, tan importantes en la economía regional, coexisten espacialmente con otras también relevantes compitiendo por los espacios costeros.

En efecto, si bien la mayor parte de la población local considera que en la actualidad la costa y las playas tienen una finalidad de uso destinados al goce recreacional, al momento de la construcción del Puerto, a principios del Siglo XX, el concepto de turismo de sol y playas estaba muy lejos de la importancia social y económica que tiene en la actualidad. Por tal motivo los diseñadores y constructores del Puerto seguramente no imaginaron que casi una centuria después nuevos actores sociales podían sentirse afectados negativamente por los efectos que, en la dinámica costera, pudieran provocar esta obra de ingeniería. Asimismo cabe mencionar que, tanto la ciudad de Quequén como su vecina Necochea, descargan sus efluentes cloacales en un sector de esta zona.

El puerto de Quequén está conformado por dos escolleras, una al Noreste de 572 m y otra al Sur de 1.200 m. En el año 2005 se inició la reparación, remodelación y prolongación de la escollera Sur. La obra estuvo destinada a disminuir las condiciones de olas en el interior del canal de acceso y mejorar las condiciones de navegación reduciendo además el tiempo de acceso y egreso de los buques al puerto. Esta obra de abrigo portuaria ha sido la más importante realizada en la primera década de siglo XXI en la República Argentina (Di Salvo, 2005), mientras que Isla (2006) ha considerado que "la escollera Sur del Puerto de Quequén indujo la acumulación de la playa de Necochea y provocó erosión al Este. Los trabajos de prolongación de estas escolleras provocarán peores perjuicios en el futuro".

Su remodelación implicó la utilización de 750.000 ton de rocas graníticas y la construcción de una coraza de hormigón del tipo monocapa (Core-Loc) para extender la escollera Sur 400 m con un cambio de enfilación que se aparta 15° hacia el SE con respecto al eje de la escollera original. El canal de acceso tiene una solera de 120 m de ancho y una profundidad en la zona protegida de 14 m (46 pies).

Si bien se logró mejorar la competitividad del Puerto Quequén al reducir en más de un 80% la cantidad de días de cierre del puerto y garantizar su operatividad durante casi todo el año, ha generado preocupación y controversia social sobre los posibles efectos negativos (en particular la inducción de la erosión costera) de la obra sobre el ambiente costero en localidades como Quequén (Bahía de los Vientos) y Costa Bonita situadas al Este del puerto.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar y caracterizar los efectos que ha tenido la reciente ampliación del Puerto Quequén sobre la dinámica de las playas situadas al Este del mismo.

## CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA

El área de estudio se ubica en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, en un sector de 6 km de playas comprendido entre Quequén (Bahía de los Vientos) y Costa Bonita, inmediatamente al Este de la localidad de Necochea (Figura 1).

Se encuentra localizada dentro de la zona litoral del dominio fisiográfico Pampa Interserrana (Frenguelli, 1950), entre las Sierras Australes y Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. Esta región con escaso gradiente tiene una superficie de 4.000 km<sup>2</sup>. El clima de la región según la clasificación de Burgos y Vidal (1951) es subhúmedo-seco, con nulo o pequeño exceso de agua. De acuerdo con su eficiencia térmica es mesotermal "B2". Kruse et al. (1996) y Varela y Teruggi (2001) establecen que la distribución de las precipitaciones anuales revelan una tendencia incremental desde fines del siglo XIX (550 mm/año) hasta el 2000 (900 mm/año), por lo tanto la caracterización climática se tornaría subhúmeda-húmeda, mesotermal, con nula deficiencia de agua en la actualidad.

La zona soporta diversas condiciones meteorológicas que son responsables de la generación de olas de alta capacidad erosiva. Celemin (1984) las sintetiza como: ondas frontales, centros de baja presión próximos a la costa y líneas de inestabilidad. Las dos primeras son las que mayor significación tienen en la generación de temporales intensos y persistentes que llegan a producir olas de gran altura. También son responsables del desarrollo de lluvias, nieblas, tormentas eléctricas y fuertes vientos, y generalmente, desembocan en fuertes temporales del SW (Pamperos) y del SE (Sudestadas).

Las mareas presentan amplitudes medias de sicigias de 1,28 m y 0,91 m en cuadraturas (Lanfredi y D'Onofrio, 1988). El régimen de marea es de tipo de desigualdades semidiurnas con una amplitud astronómica máxima de 1,86 m y una duración de la bajante de 6,40 minutos. La bajamar astronómica más baja en 19 años pasa a 0,98 m por debajo del nivel medio, mientras que la pleamar astronómica más alta para el mismo periodo es 2,10 m (Fiore et al., 2009). Para un ciclo de 64 años de alturas horarias de marea se ha registrado una tendencia incremental de 1,6 mm/año (Lanfredi y D'Onofrio, 1988).

Pugh y Maul (1999), D'Onofrio et al. (2003) encontraron tendencias positivas del nivel medio del mar para la costa Ar-

gentina. Para Puerto Quequén, *Lanfredi et al. (1998)* obtuvieron una tendencia positiva de  $0.16 \pm 0.01$  cm/año para el período 1918-1981.

La playa de este sector se destaca por presentar una zona de acumulación inmediatamente al ENE de la escollera Noroeste del Puerto Quequén y un área con rasgos cada vez más erosivos hacia el E de esta zona, como acantilados y plataformas de abrasión labrados sobre limos entoscados Cuaternarios. En la zona de acumulación el perfil dinámico de la playa supramareal se encuentra comprendido por extensas playas frontal y distal, y un espaldón que articula con una duna costera poco vegetada y móvil (*del Río et al., 2004*). El campo de dunas presenta, como forma dominante, dunas parabólicas muy erosionadas y degradadas con una longitud entre 300-600 m, 200-350 m de ancho y una altura 4-6 m sobre el terreno circundante (*Teruggi et al., 2001*).

Es necesario señalar, que hacia el Este, a 1.500 m de la escollera Norte, aflora durante la bajamar una plataforma de abrasión de unos 700 m de largo que luego es parcialmente cubierta por sedimentos arenosos. Esta plataforma de abrasión reaparece expuesta a los 2.500 m de distancia de dicha escollera y se extiende hacia el Este por unos 1.700 m más.

Por otra parte, desde un punto de vista granulométrico, las playas aledañas a la escollera, muestran una importante participación de arenas finas tanto en la playa distal como en la frontal, como respuesta a la participación del agente eólico en el transporte de sedimentos en todos los sectores de playa. En el extremo oriental de la zona de estudio, correspondiente a la localidad de Costa Bonita, la playa distal muestra un típico

aspecto de playa de tormenta, con importantes acumulaciones de material pefítico, conocidas como rodados de tormenta. Algo semejante también se revela en la playa de bolsillo situada en el área central a 3 km de la escollera, donde los sedimentos de granulometría gruesa (guijarro) son muy habituales (*del Río et al., 2010*).

#### ANTECEDENTES

La zona estudiada ha sido objeto de numerosos trabajos, particularmente en tiempos recientes, como resultado de la preocupación tanto de la comunidad local como científica, respecto a los efectos y alcance de los impactos ambientales generados por las obras de ampliación y canalización del Puerto.

Ya en los trabajos tempranos de *Teruggi (1959)*, sobre las características texturales y mineralógicas de las arenas de playa de la provincia de Buenos Aires, se reconocía este sector costero como de características erosivas. *Kokot y Otero (1999)* y *Corizzo e Isla (2000)* reconocen la existencia de un proceso erosivo de la costa de Quequén influido por el efecto de pantalla provocada por las escolleras que alteran la deriva litoral principal. *del Río et al. (2003)* reconocen, además de la mera presencia de las escolleras, una concurrencia de acciones antrópicas vinculadas a la urbanización que potencian los efectos erosivos en esta costa.

*Marcomini y López (2005)* analizan los rasgos morfológicos de la costa Sur de la provincia de Buenos Aires entre las localidades de Las Grutas, Necochea, Quequén y Costa Bonita. Desde una perspectiva geomorfológica, reconocen la presencia de acantilados activos, el desarrollo de rampas eólicas,

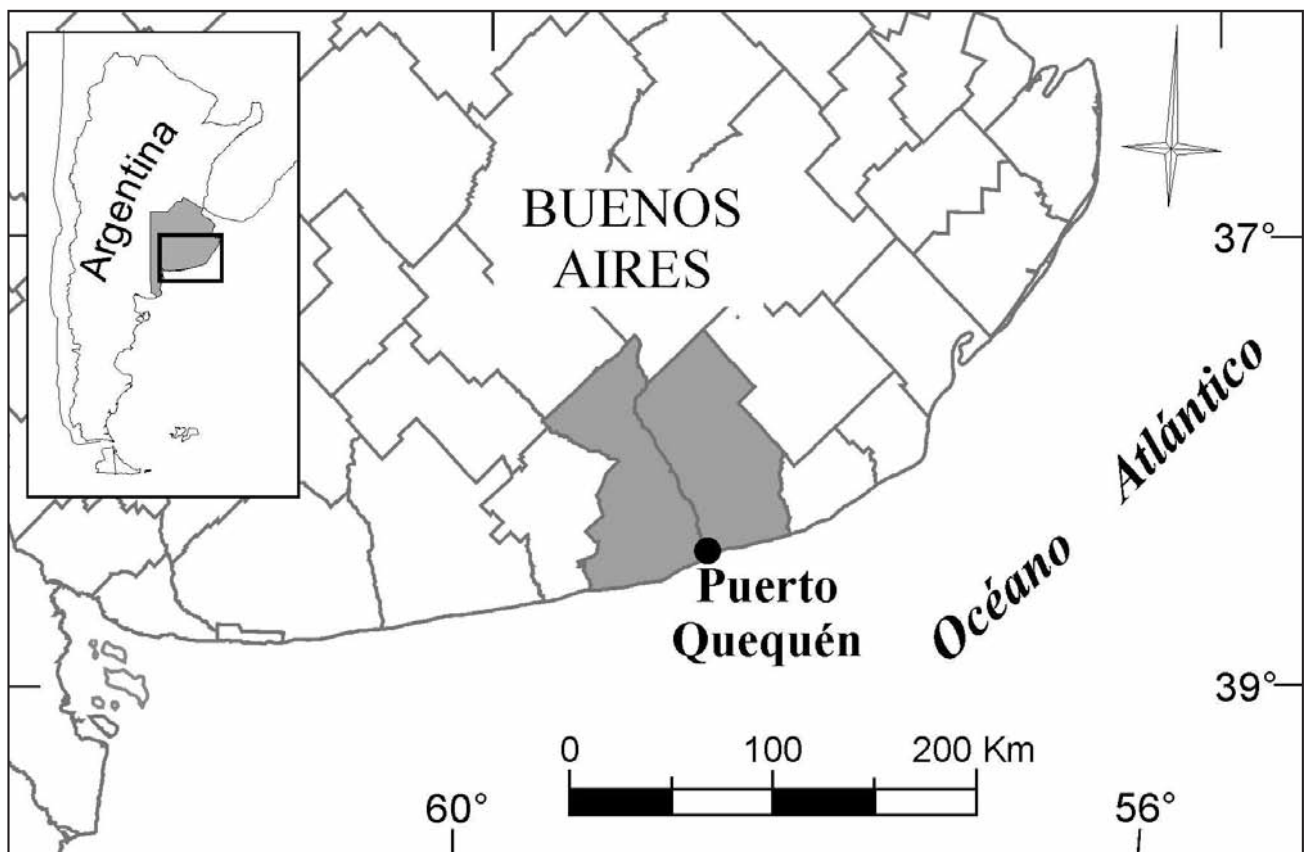


Figura 1. Mapa de Ubicación.

las que se generan por lo general en acantilados cubiertos por campos de dunas activos y playa. Estos autores identifican la construcción de las escolleras como un factor de alteración en la hidrodinámica costera que ha ocasionado un desbalance en la deriva neta.

*Isla (2006), Isla y Bértola (2006) e Isla et al. (2009)* observan estas características erosivas donde se conjugan acciones antrópicas y naturales, y proponen distintas alternativas para su control.

*Marcomini et al. (2007)* determinaron la vulnerabilidad costera en función de geoindicadores. Estos autores destacan la relevancia del aporte sedimentario eólico en la estabilidad de los acantilados y el perfil costero.

*Isla et al. (2009)*, han analizado recientemente un estudio de la costa entre de Lobería y Necochea. En este trabajo enuncian que la construcción de las escolleras del puerto de Quequén indujo a la acumulación de arena en el sector Oeste (Costa de Necochea), y proceso erosivo de los acantilados y en las playas del Este del Puerto (Costa de Quequén). Consideran en general que las playas de la zona de Quequén presentan una mayor variabilidad como resultado de la escasa cantidad de arena.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

**Trabajos de campo**

Se ha iniciado en el año 2004 un programa de monitoreo estacional tendiente a determinar los efectos y consecuencias que han tenido, sobre el recurso playa, las obras relacionadas con la extensión de la escollera Sur.

Se realizaron relevamientos del ancho de playa (parte proximal y distal) con teodolito en nueve perfiles topográficos perpendiculares a la línea de costa, con una periodicidad trimestral, partiendo de puntos fijos relacionados con la red del Instituto Geográfico Nacional (Tabla 1, Figura 2).

Las mediciones fueron realizadas durante la estoa en bajamar desde la orilla de la playa o el inicio de plataformas de abrasión hasta la base del acantilado, o base de la duna. El sector relevado cubre una extensión de 6 km y el lapso considerado abarca desde septiembre de 2003 a diciembre del 2009.

**Tabla 1. Ubicación de los perfiles**

Perfil	Latitud S	Longitud W	Azimut
1	38° 34' 33,2"	58° 41' 41,2"	156°
2	38° 34' 23,8"	58° 41' 11,9"	170°
3	38° 34' 19,8"	58° 40' 46"	177°
4	38° 34' 18"	58° 40' 33,8"	172°
5	38° 34' 13,8"	58° 40' 13,5"	172°
6	38° 34' 12,5"	58° 40' 05,4"	175°
7	38° 34' 10,9"	58° 39' 41,7"	173°
8	38° 34' 04,8"	58° 39' 02,8"	160°
9	38° 33' 47,2"	58° 37' 48,7"	176°

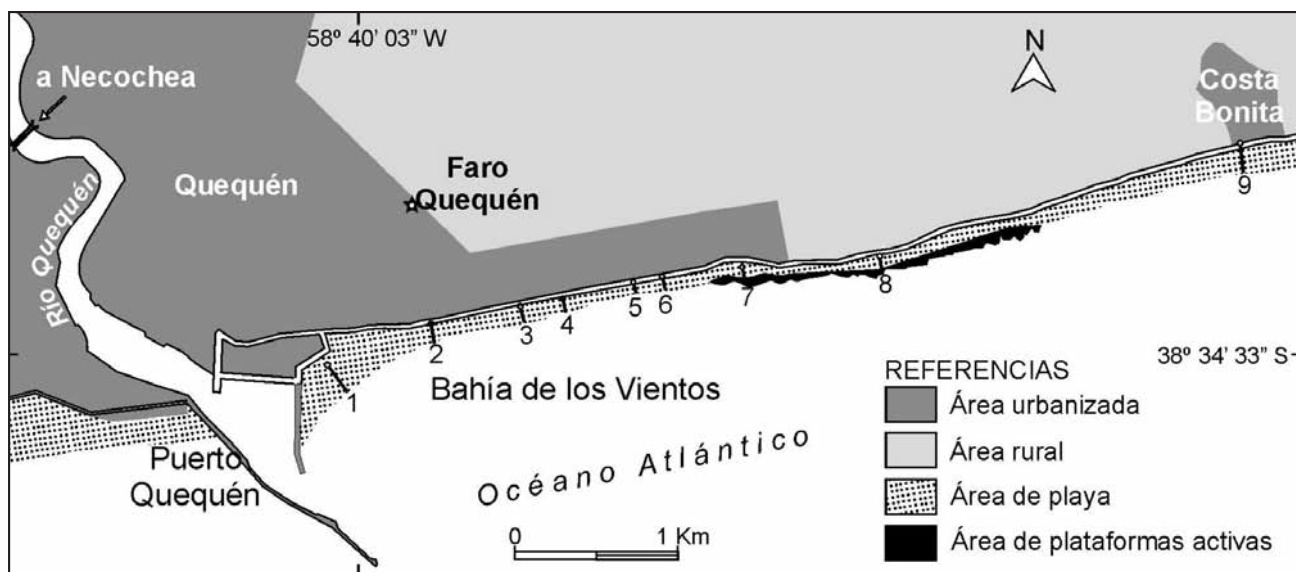
*Morton (1996)* propone el ancho de la playa, la morfología de la costa y la composición de la playa intermareal como geoindicadores para establecer los movimientos de la línea de costa. En este trabajo se presentan los resultados del monitoreo del primero de ellos.

Además, sobre estos perfiles se procedió al muestreo del material de playa, tomándose muestras de sedimentos representativas de playa frontal, playa distal y duna para su caracterización general y posteriores estudios específicos.

**Análisis estadístico de las variaciones del ancho de la playa**

Para analizar la evolución temporal del ancho de playa de los perfiles para el periodo mencionado se utilizó la metodología tradicional de análisis de series de tiempo puesto que se contaba con 26 mediciones para los perfiles 1 a 8 y 16 mediciones para el perfil 9 que fue incorporado al relevamiento en el otoño de 2005. Cabe aclarar que durante el 2009 el perfil 5 fue afectado por la construcción de un rompeolas paralelo al pie del acantilado que impidió su levantamiento.

Se efectuaron 4 mediciones por año en fechas que rondan el 21 de cada mes de cambio de estación. De algún modo, estas mediciones efectuadas en marzo, junio, septiembre y



**Figura 2. Ubicación perfiles de playa**



diciembre reflejan los eventos ocurridos en el verano, el otoño, el invierno y la primavera, respectivamente.

A los efectos de poder realizar comparaciones entre perfiles se utilizó el estadístico coeficiente de variación (CV) que se calcula como el cociente entre el desvío estándar y la media.

Las series se ajustan a modelos multiplicativos

$$y_t = T_t \cdot VE_t \cdot C_t \cdot R_t \quad (1)$$

donde:

y: ancho de playa

T: es la tendencia

VE: son las variaciones estacionales

C: es la componente cíclica

R: son las fluctuaciones irregulares

Se exploró la existencia de tendencias calculando las rectas que mejor ajustan a cada serie con el método de mínimos cuadrados. Se estudió la presencia de la componente estacional utilizando medias móviles centradas de periodo 4 y se calcularon los índices específicos de variación estacional correspondientes (SI: cociente entre dato y media móvil centrada del mismo periodo para el año siguiente). Se realizó un ANOVA para evaluar las diferencias entre índices estacionales.

Las series son cortas para aislar la componente cíclica pero se evaluó lo sucedido en tres periodos relacionados con la construcción de la obra con pruebas de ANOVA (se utilizó un nivel de significación de 5%). Las tres etapas consideradas fueron:

*Etapas anterior a la obra (A):* comprende los muestreos realizados en septiembre y diciembre de 2003, marzo, junio, septiembre y diciembre de 2004.

*Etapas de construcción de la obra (C):* abarca los muestreos de marzo, junio, septiembre y diciembre de 2005, marzo, junio, septiembre y diciembre de 2006.

*Etapas posterior a la obra (P):* incluye los muestreos de marzo, junio, septiembre y diciembre de 2007, 2008, y 2009.

De acuerdo con el modelo de serie temporal al que se ajustan los datos, la variación del ancho de playa sufrida durante una estación del año puede ser analizada como el cociente entre el ancho de playa de una estación del año respecto a la estación anterior:

$$\text{Cambio} = y_t / y_{t-1} \quad (2)$$

donde

y: ancho de playa

t=tiempo

t-1=tiempo anterior a t

Se define una fase de ampliación (A) como aquella en la que el ancho de playa aumenta respecto a la estación anterior y una fase de reducción (R) como aquella en la que el ancho de playa disminuye respecto a la estación anterior.

Importó también analizar el patrón de sucesión de estados de reducción y ampliación. Para este análisis se utilizó el Test de Rachas de Wald-Wolfowitz (se utilizó un nivel de significación de 5%; (Davis, 2001). Se utilizó un Índice de Coincidencias (ICo) para explorar la existencia de auto asociación. ICo es igual al cociente entre el número de coincidencias ocurridas simultáneamente (ampliación y reducción) y el número total de posibles comparaciones y se realizaron pruebas de significación (Davis, 2001). Se utilizaron desfases de 1 y 4 pasos.

Por último se compararon los patrones de variación entre perfiles sucesivos con el Índice de Coincidencias.

## RESULTADOS

### Análisis del ancho de la playa durante el 2003-2009

#### Tendencias

El ancho promedio de playa cambia de perfil en perfil a través del periodo analizado. El perfil 1, el más cercano a la escollera, presentó el ancho de playa promedio mayor (154 m) seguido por el perfil 9 de Costa Bonita (68 m) situado en el extremo Este de la zona de estudio. Las playas de menor ancho promedio fueron las de los perfiles 7, 6 y 5 (24, 25 y 28 m respectivamente). El perfil 8, considerado como una playa de bolsillo, presenta la menor variabilidad (CV 19%). Los perfiles 6, 4 y 5, situados en un sector de transición entre el extremo lindante con la escollera y la zona acantilada situada al Este, son los perfiles más variables (CV 63%, 62% y 44% respectivamente), aquellos en los que en algún monitoreo la playa no estaba desarrollada (ancho cero) (Tabla 2).

Tabla 2: Tabla de datos estadísticos. DE: Desvío estándar, CV: Coeficiente de variación.

Perfil		Etapa											
		Septiembre/03-diciembre/09			Anterior a la Obra			Construcción de la Obra			Posterior a la Obra		
		Media (m)	DE (m)	CV (%)	Media (m)	DE (m)	CV (%)	Media (m)	DE (m)	CV (%)	Media (m)	DE (m)	CV (%)
P1	154	35	23	114	31	27	138	18	13	177	23	13	
P2	55	13	23	60	12	20	49	11	23	48	9	20	
P3	48	14	30	46	16	34	50	15	29	43	12	27	
P4	42	26	62	37	20	53	28	11	38	43	31	72	
P5	28	12	44	19	7	35	30	8	27	31	17	54	
P6	25	16	63	18	15	85	32	16	50	25	17	68	
P7	24	6	25	30	5	16	23	5	21	22	5	25	
P8	30	6	19	30	9	28	32	3	8	29	4	13	
P9	68	16	23	--	--	--	75	11	15	63	16	26	

Los cambios en el ancho de la playa son diferentes en todos los perfiles. En el perfil 1 hay evidencias de una tendencia hacia el ensanchamiento, en tanto los perfiles 2 y 9 tienden hacia la reducción (aunque el ajuste es malo en todos los casos, las pendientes pueden considerarse significativas,  $p > 0,001$ ). La playa de los perfiles 3, 4, 5, 6, 7 y 8 no presentan ninguna tendencia (Figura 3 a, b, c).

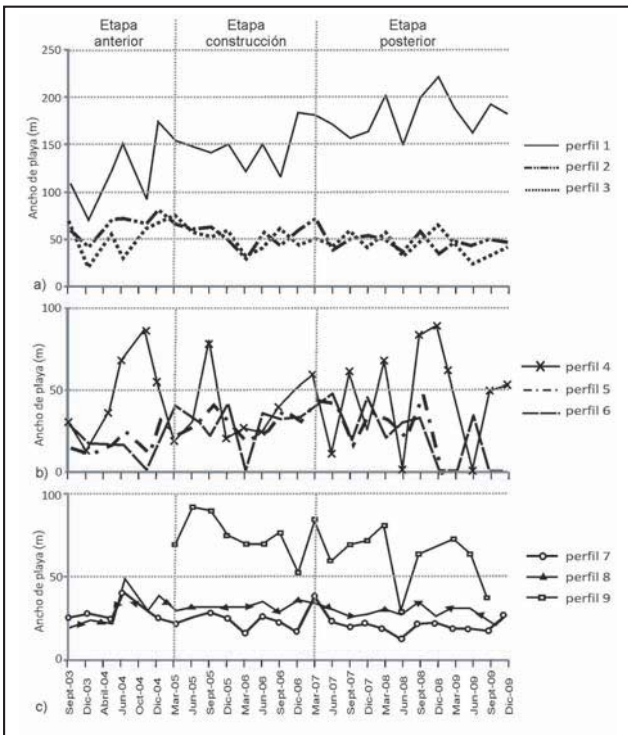


Figura 3. Evolución del ancho de playa durante el periodo estudiado. a) Perfiles 1, 2 y 3. b) Perfiles 4, 5 y 6. c) Perfiles 7, 8 y 9.

### Cambios estacionales

Los cambios del ancho de playa no presentan una componente estacional. Los resultados de las pruebas de hipótesis de ANOVA realizadas con los índices estacionales (SI) fueron no significativas en todos los perfiles ( $p < 0,05$ ) (Figura 4). Se destacan, sin embargo tres índices: en el perfil 4 el valor máximo de invierno (1,77) y el mínimo de otoño (0,64) que indican ampliación y disminución excepcionales del ancho de playa, en tanto en el perfil 6 el índice de otoño es un máximo (1,45).

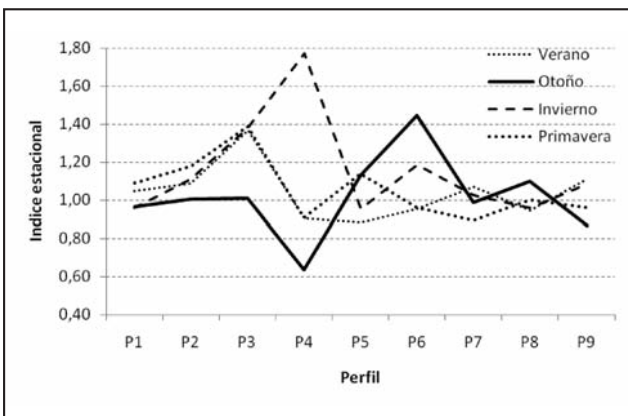


Figura 4. Índices estacionales.

### Análisis diacrónico del ancho de playa en relación a la obra de ampliación del puerto

El análisis del cambio en el ancho de playa durante las etapas consideradas revela diferencias entre los perfiles. Las pruebas de ANOVA realizadas detectaron que los perfiles ubicados en el sector intermedio (3, 4, 5 y 6) y los más alejados (8 y 9), no presentan cambios. Los perfiles más cercanos a la escollera (1 y 2) y el perfil 7 mostraron diferencias significativas durante las tres etapas. En el perfil 1, si bien el ancho aumentó durante las etapas de C y P respecto a la etapa A, solo el ancho medio de la etapa P es significativamente mayor que el de las etapas A y de C. En los perfiles 2 y 7 el ancho de playa disminuyó desde la etapa A y se mantuvo con el mismo ancho en las etapas C y P ( $p \geq 0,05$ ) (Tabla 2, Figura 5).

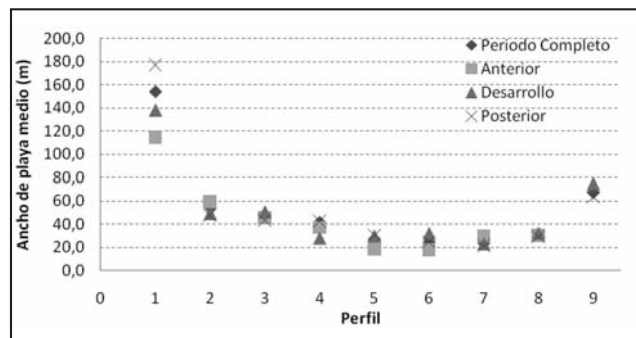


Figura 5. Ancho de playa promedio por etapas.

### Ampliación y reducción del ancho de playa.

#### Patrón de variación. Similitudes y diferencias entre perfiles

En la mayoría de los perfiles predominan los episodios de ampliación de la playa entre estaciones consecutivas, solo en los perfiles 1 y 8 hay más eventos sucesivos de reducción (Tabla 3). Por otra parte los episodios de ampliación y reducción se producen al azar, no hay evidencias de rachas, no hay memoria de lo ocurrido en la estación anterior ni patrones estacionales ( $p \geq 0,05$ ) (Tabla 4).

El análisis de las semejanzas del patrón de cambios (ICo) indica que para el periodo total los únicos perfiles parecidos entre sí son el 1 y el 2. Por otro lado, durante la etapa anterior a la obra sólo los perfiles 1 y 2 muestran un patrón idéntico, en tanto en la etapa de construcción los perfiles no presentan semejanzas entre sí, y sólo el patrón de los perfiles 3 y 4 es idéntico en la etapa posterior a la obra (Tabla 5).

### INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el periodo en el cual se ha desarrollado el presente estudio se ha podido establecer un conjunto de aspectos que en gran medida relativizan algunos de los supuestos e hipótesis originales.

En efecto, aunque la mayoría de las opiniones que se vertieron al momento de la realización de la obra de ampliación de la escollera del puerto auguraban que se desencadenaría un proceso agudo de erosión de playa y costero en la zona situada al Este de la escollera (Isla, 2006, Isla et al., 2009; Kokot y Otero, 1999; Marcomini y López, 2005, Marcomini et al., 2007) las tendencias evidenciadas en los monitoreos de ancho de playa revelan que tales pronósticos no se han concretado tal como se estimaba. Si bien Isla et al. (2009) enuncian que las playas

Tabla 3. Eventos de reducción (R) y ampliación (A) del ancho de playa. O: otoño, I: invierno, P: primavera, V: verano, N°C: número de comparaciones, N°A: número de eventos de ampliación, N°R: número de eventos de reducción.

	I-P/03	P/03-V/04	V-O/04	O-I/04	I-P/04	P/04-V/05	V-O/05	O-I/05	I-P/05	P/05-V/06	V-O/06	O-I/06	I-P/06	P/06-V/07	V-O/07	O-I/07	I-P/07	P/07-V/08	V-O/08	O-I/08	I-P/08	P/08-V/09	V-O/09	O-I/09	I-P/09	N° C	N°R	N°A
P1	R	A	A	R	A	R	R	R	A	R	A	R	A	R	R	R	A	A	R	A	A	R	R	A	R	25	14	11
P2	R	A	A	R	A	R	R	A	R	R	A	R	A	A	R	A	A	R	R	A	R	A	R	A	A	25	12	13
P3	R	A	R	A	A	A	R	R	A	R	A	A	R	A	R	A	R	A	R	A	A	R	R	A	A	25	11	14
P4	R	A	A	A	R	R	A	A	R	A	R	A	A	A	R	A	R	A	R	A	A	R	R	A	A	25	10	15
P5	R	A	A	R	A	R	A	A	R	R	A	A	R	A	R	R	A	R	R	A	R	A	A	A	A	25	11	14
P6	R	R	R	R	A	A	R	R	A	R	A	R	A	A	R	A	R	A	A	R	A	A	R	A	A	25	12	13
P7	A	R	A	R	R	R	A	A	R	R	A	R	R	A	R	R	A	R	R	A	A	R	A	R	A	25	14	11
P8	A	R	A	R	A	R	A	A	A	A	A	R	A	R	R	R	A	A	R	A	R	A	A	R	A	25	10	15
P9							A	R	R	R	R	R	A	R	R	A	A	A	R	A	A	A	R	R	A	18	9	9

Tabla 4. Índice de Coincidencias (ICo). Prueba de significación de ICo Chi cuadrado con nivel de significación de 5%.

	Perfiles								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Desfasaje 1 paso	0,33	0,25	0,29	0,38	0,38	0,38	0,33	0,33	0,53
Desfasaje 4 pasos	0,45	0,68	0,41	0,36	0,64	0,50	0,50	0,41	0,60

Tabla 5. Índice de Coincidencias (ICo). Prueba de significación de ICo Chi cuadrado con nivel de significación de 5%. En *italicas* los valores significativos.

ICo	Perfiles							
	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6	P6-P7	P7-P8	P8-P9
<b>I Co Total</b>	0,72	0,52	0,64	0,55	0,46	0,52	0,68	0,67
<b>I Co Anterior</b>	<i>1,00</i>	0,57	0,57	0,71	0,43	0,29	0,29	
<b>I Co Construcción</b>	0,63	0,38	0,25	0,38	0,38	0,38	0,38	0,63
<b>I Co Posterior</b>	0,30	0,50	<i>1,00</i>	0,33	0,83	0,78	0,70	0,70

situadas al Oeste del puerto son muy extensas mientras que las del Este se reducen a solo 40-60 m, es necesario precisar en qué porciones del segmento costero entre la escollera y Costa Bonita se dan estas longitudes, toda vez que desde la escollera hacia el Este se produce un acuanamiento del ambiente de playa sumamente ostensible con la reducción de los distintos subambientes de acumulación (*del Río et al., 2004*) con valores promedios extremos entre 24 y 154 m.

Los relevamientos estacionales realizados trimestralmente desde septiembre de 2003 a diciembre de 2009, indican que los cambios en el ancho de la playa son diferentes en todos los perfiles. Si bien no se perciben variaciones con un patrón estacional, ocurren variaciones de perfil en perfil que difieren en magnitud y en carácter. Sólo en el perfil 1, el más cercano a la escollera, hay evidencias estadísticamente significativas de una ampliación del ancho de playa, en tanto los perfiles 2 y 9 tienden hacia la reducción. Los restantes perfiles relevados no muestran tendencias definitivas.

El perfil 1 presentó el mayor ancho de playa promedio, seguido por el perfil 9 de Costa Bonita situado en el extremo

Este de la zona de estudio. Por otro lado, las playas de menor ancho promedio fueron las de los perfiles 7, 6 y 5. Los perfiles 4, 6 y 5, son los más variables y son aquellos en los que, en algún monitoreo, la playa no estaba desarrollada. El perfil 8 es el que presenta menor variabilidad.

Por otra parte, durante el periodo de la construcción de la escollera el ancho de la playa se modificó sólo en el sector de los perfiles próximos a la obra (1 y 2) y los ubicados más al Este (7, 8 y 9). Una vez concluida la obra se restauró el ancho original o aumentó.

Desde un punto de vista granulométrico, las playas de los perfiles extremos 1 y 9 presentan un aspecto contrastante, en el caso del primero predominan arenas finas y medianas donde es posible advertir sobre la playa frontal y distal extensos mantos formados por ondulaciones de arena eólica; mientras que en el último, junto a arenas medianas y gruesas, se encuentran abundantes rodados de tormenta (Figura 6). En el resto de los perfiles predominan las arenas gruesas (3 al 6) y muy gruesas (7 y 8) (*del Río et al., 2010*).





Figura 6. Vista lateral a) Perfil 1 b) Perfil 9

Estas características permiten inferir que en el sector más próximo a la escollera la participación eólica en los procesos es más importante, mientras que hacia el oriente de la zona de estudio dominan las olas de alta energía en tanto los procesos de acumulación eólica son menos destacados.

Por todo lo expuesto, el sector costero analizado comprendido entre la escollera Norte hasta Costa Bonita, en función de sus rasgos morfológicos, del comportamiento dinámico de los perfiles de playas y sus características texturales es susceptible de ser subdividido en cuatro sectores (Figura 7):

1. Sector de acumulación proximal a la obra: Playa extensa con una playa distal muy bien desarrollada con predominio de arenas medianas a finas, con tendencia a la acumulación de sedimentos y alta participación de la componente eólica en el proceso de transporte y sedimentación. Corresponde al sector entre los perfiles 1 y 2.
2. Sector de transición: Playas de arenas con una porción distal pobremente desarrollada o ausente, con habitual exposición de plataformas de abrasión (restingas) en el perfil. Corresponde al sector, situado entre los perfiles 2 y 6, afectado fundamentalmente por la difracción de las

olas en la escollera Sur. Caracterizado por una gran variabilidad tanto en la extensión de las playas, como en el balance erosión-depositación (*del Río et al., 2010*). En el sector más oriental se forman barras intermareales que se mueven lateralmente hacia el Oeste alimentando los sectores de playa frontal y eventualmente aportan a la construcción de una playa distal en general pequeña. Por efecto de tormentas del otoño e invierno, estas barras suelen ser erosionadas y transportadas hacia la zona inframaral o incluso costa afuera.

3. Sector de playas de bolsillo: Playas con destacada presencia de material arenoso muy grueso a psefítico, de pequeña extensión, con porciones distales muy pobremente desarrolladas o ausentes, muy estables y con amplias plataformas de abrasión en la porción inferior del perfil. Corresponde al sector, situado al Este del perfil 6 hasta sector situado al Oeste del perfil 9.
4. Sector distal: Playas arenosas bien desarrolladas o con fuerte presencia de rodados de playa en la porción distal, en general son estables a erosivas y con presencia de plataformas de abrasión. Corresponde al sector, situado al Este del perfiles 8 hasta costa Bonita (perfil 9).

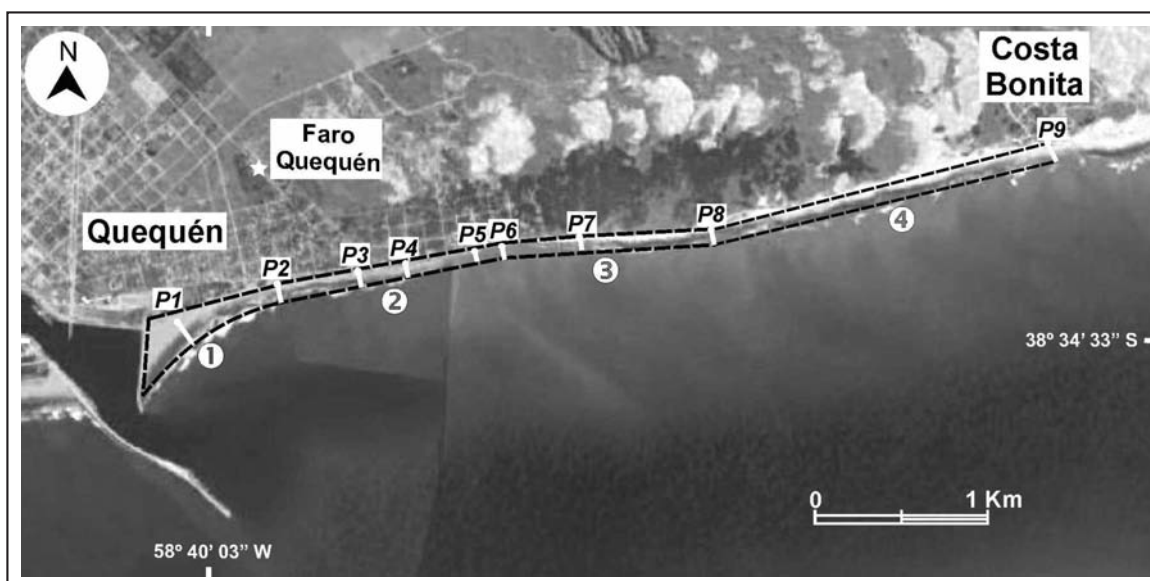


Figura 7. Sectores identificados en el área de estudio. P: Perfil, 1: Proximal, 2: Transición, 3: Playa de bolsillo, 4: Distal



## CONCLUSIONES

De acuerdo con lo expuesto previamente, son los sectores de acumulación proximal a la obra y de transición los que con mayor sensibilidad han respondido a las obras de ampliación del Puerto sobre el ambiente de playa.

Es en particular el perfil 1 (correspondiente al primer sector) el que más definitivamente ha mostrado una tendencia acrecional durante el lapso analizado, por efecto esencialmente de contraderiva.

El segundo sector ha revelado una gran variabilidad del ancho de playa a través de todo el periodo de observación, alternando épocas de erosión y de acreción.

Los sectores de playas de bolsillo y distal, situados más al Este, no parecen reflejar una influencia significativa de la obra en cuestión, en particular en la variación y la dinámica del ancho de playa.

En síntesis podemos concluir que para el periodo analizado no se han determinado los fenómenos de erosión costera previstos y adjudicables en forma directa a la Obra de Ampliación del Puerto de Quequén. Sin embargo es importante señalar que el periodo relevado, es corto en términos de series temporales, por lo que no se puede pensar que el comportamiento descripto se vaya a mantener de manera indefinida.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los profesionales y las autoridades del Consorcio de Puerto Quequén por las facilidades aportadas y la autorización para utilizar y publicar los datos emergentes del contrato de asistencia técnica con la UNMDP.

Agradecemos a los revisores por sus correcciones y sugerencias efectuados sobre el manuscrito que contribuyeron a mejorar el presente trabajo.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BURGOS, J. J. Y A. L. VIDAL, 1951.  
Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite.  
*Rev. Meteoros, N° 1(1): 3-32. Buenos Aires.*
- CELEMÍN, A.H., 1984.  
Meteorología práctica.  
*Edit. del Autor. 313 pp. Mar del Plata.*
- CORTIZO, L. C. AND F. I. ISLA, 2000.  
Land cover and cliff retreat along the coasts of Necochea and Lobería. Argentina.  
*IX simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Actas en CD.*
- DAVIS, J. C., 2001.  
Statistics and data analysis in geology.  
*3rd Edition. Ed. John Wiley and Sons Limited. 638 pp. New York.*
- DEL RÍO, J.L., LÓPEZ DE ARMENTIA, A., ÁLVAREZ, J.R., CAMINO, M., MARTÍNEZ ARCA, J. Y M. J. BO, 2003.  
Análisis sedimentario y topográfico del sector costero de bahía de los vientos, Quequén, Provincia de Buenos Aires.  
*Informe Dycasa Sociedad Anónima - Dragados Obras y proyectos S.A. -UTE. 60 pp.*
- DEL RÍO, J. L., LÓPEZ DE ARMENTIA, A., ÁLVAREZ, J. R., BÓ, M. J., MARTÍNEZ ARCA, J. Y M. CAMINO, 2004.  
Erosión costera por inducción antrópica en Quequén-Costa Bonita, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.  
*Actas del IV Congreso Uruguayo de Geología - II Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, en CD.*
- DEL RÍO, J. L., LÓPEZ DE ARMENTIA, A., BÓ, M. J., ALVAREZ, J., ALPERÍN, M., BAZZINI, S. Y M. CAMINO, 2010.  
Auditoría Geoambiental y Monitoreo Sistemático Estacional de las playas de Quequén, Prov. de Buenos Aires.  
*Informe Inédito. Consorcio de Gestión del Puerto Quequén - UNMDP.*
- D'ONOFRIO E. E., FIORE M. Y M. E. SOBRE-CASAS, 2003.  
Estimación de niveles extremos en el Puerto de Buenos Aires contemplando el ascenso del nivel medio.  
*V Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar. Mar del Plata, Argentina.*
- DI SALVO, C.A., 2005.  
La importancia del efecto de escala en la resistencia de rocas como materiales de construcción, Escollera Sur del Puerto de Quequén, Pcia. de Buenos Aires.  
*Rev. Geol. Apl. Ing. Amb. N° 21: 91-101.*
- FIORE M., D'ONOFRIO, E., HERRERO, F., STADELMANN M., Y M.M. SOBRE-CASAS, 2009.  
Análisis de bajantes en Puerto Quequén.  
*Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Copinaval, Montevideo. 14 pp.*
- FRENGUELLI, J., 1950.  
Rasgos generales de la morfología y geología de la Provincia de Buenos Aires,  
*Lemit, Serie 2 (33): 1-72.*
- INDEC, 2001.  
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas - Habitantes en la Argentina.

- ISLA, F. I. Y G. BÉRTOLA, 2006.  
Distribución de arenas en las playas infralitorales: posibilidades de repoblamiento de las playas de Villa Gesell y Quequén.  
*VI Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Puerto Madryn. Resúmenes: 227.*
- ISLA, F.I., 2006.  
Erosión y defensa costera.  
*En Isla F. I. y C. A. Lasta (Eds.) Manual de Manejo Costero para la Provincia de Buenos Aires. Mar del Plata, Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata (1): 125-147.*
- ISLA, F.I., BÉRTOLA, G. MERLOTTO, A., FERRANTE, A. Y L. CORTIZO, 2009.  
Requerimientos y disponibilidad de arenas para la defensa de las playas de Necochea y Lobería.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina 65 (3): 446-456.*
- KOKOT, R. Y M. OTERO, 1999.  
Factores ambientales y riesgo geológico en el área costera de Puerto Quequén, provincia de Buenos Aires.  
*Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 13: 87-100.*
- KRUSE, E., ROJO, A. Y P. LAURENCENA, 1996.  
Escenarios geoambientales en la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires.  
*En: Caracterización ambiental de la provincia de Buenos Aires. C.I.C. La Plata, Año II, 15: 13-31.*
- LANFREDI, N.W., POUSA, J.L. and E.E. D'ONOFRIO, 1998.  
Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research 14(1): 47-60.*
- LANFREDI, N.W. AND E.E. D'ONOFRIO, 1988.  
Variations of the mean sea level in the southwest Atlantic Ocean.  
*Continental Shelf Res. 3: 1211-1220.*
- MARCOMINI, S. C. Y R. A. LÓPEZ, 2005.  
Morfodinámica costera entre Punta Florida y Costa Bonita, Provincia de Buenos Aires.  
*16° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 553-558.*
- MARCOMINI, S.C., LÓPEZ, R. A. Y A. SPINOGLIO, 2007.  
Uso de la morfología costera como geoindicador de susceptibilidad a la erosión en costas cohesivas, Necochea, Buenos Aires.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina 62 (3): 396-404.*
- MORTON, R.A., 1996.  
Geoindicators of coastal wetlands and shorelines. In Berger, A. y W. Iams (Eds). *Geoindicators. Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems. Balkema. 207-230.*
- PAVARINI, J., 2001.  
Necochea-Quequén, Evolución de la actividad portuaria, incidencia en la economía regional.  
*En Teruggi, L. B. (Ed) Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Planificación Territorial. Mar del Plata, Buenos Aires. 39-43.*
- PUGH, D.T. AND G.A. MAUL, 1999.  
Coastal Ocean Prediction.  
*Coastal and Estuarine Studies, 56: 377-404.*
- TERUGGI, M.E., 1959.  
Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre cabo San Antonio y Bahía Blanca.  
*L.E.M.I.T. Serie II 77: 37 pp.*
- TERUGGI, L.B., DEL RÍO, J.L., MARTÍNEZ, G.A. E M. TÓMAS, 2001.  
Geomorfología e composizione tessiturale delle dune costiere del sud-est della provincia di Buenos Aires, Argentina.  
*GeoSed 2001. Riunione del Gruppo Informale di Sedimentologia del CNR. 92-95.*
- VARELA, L.B. Y L.B. TERUGGI, 2001.  
Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires.  
*En Teruggi, L. B. (Ed) Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Planificación Territorial. Mar del Plata, Buenos Aires. 19-29.*



## Estudio hidroquímico del subsistema geohidrológico activo en la cuenca de los arroyos Martín-Carnaval, Buenos Aires, Argentina

González, Nilda <sup>1</sup>✉ - Trovatto, M. M. - Alvarez, M. del P. - Hernández, M. A.

Recibido: 14 de abril de 2011 • Aceptado: 28 de abril de 2011

### Resumen

*Se caracteriza hidroquímicamente el recurso subterráneo, única fuente disponible, en una cuenca de llanura terminal tributaria del río de la Plata. Desarrollada en 130 km<sup>2</sup>, bajo excesos hídricos de 243 mm/año (clima subhúmedo-húmedo), pendiente del orden de 1.10<sup>-3</sup> a 2.10<sup>-4</sup> en su sector inferior y suelos Molisoles desarrollados sobre sedimentos pleistocenos (Pampeano), alberga un sistema geohidrológico conformado por un acuífero freático y semilibre asociado y otro semiconfinado (Puelche), sobre un acuicludo que limita el subsistema activo. En una homogeneidad de aguas dulces (TSD menor a 1100 mg/l) se reconocen dos facies hidroquímicas, una mayoritaria bicarbonatada sódica y otra subordinada bicarbonatada cálcica y/o magnésica en el acuífero freático y solamente una bicarbonatada sódica en el semiconfinado, analizándose su origen. La afectación antrópica radica fundamentalmente en que parte de la población carece de saneamiento básico, se utilizan productos agroquímicos en el sector flori-hortícola periférico y existe un regular número de industrias desagrupadas.*

**Palabras clave:** hidroquímica, acuíferos de llanura, cuenca arroyos Martín-Carnaval

### Abstract

*The groundwater resource of a flatland basin -an affluent of the de la Plata river- constituting the only available water source is characterised hydrochemically. Extending over 130 km<sup>2</sup>, with a water surplus of 243 mm/yr (subhumid-humid climate), a slope of 1.10<sup>-3</sup> to 2.10<sup>-4</sup> in its lower portion and Mollisol soils developing over Pleistocene sediments (Pampean), its geohydrologic system consists of a coupled phreatic/semi-confined aquifer and a semi-confined one (Puelche), and an underlying aquiclude bounding the active subsystem. In a homogeneous freshwater sample (TDS below 1100 mg/l) two hydrochemical facies can be identified: a predominant one (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> -Na<sup>+</sup>) and a subordinate one (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Ca<sup>2+</sup> / HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Mg<sup>2+</sup> in the phreatic aquifer, and a single facies (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Na<sup>+</sup>) in the semi-confined one; their origin was analysed. The anthropic impact mainly lies in that part of the population lacks basic sanitation, agricultural chemicals are used in the outlying horticultural area, and there is a regular number of scattered industries.*

**Keywords:** hydrochemistry, flatland aquifers, basin of Martín-Carnaval streams

<sup>1</sup> Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP)  
Av.60 y 122. Te: +54221- 4236684 i.116. La Plata.

✉ nilda\_h@sinectis.com.ar

## INTRODUCCIÓN

La cuenca de los arroyos Martín-Carnaval tributaria del río de la Plata, se incluye en la región hidrogeológica Noreste de la Provincia de Buenos Aires, representativa de las que se desarrollan desde la conurbación Sur del área metropolitana hacia el SE. Ha sido objeto de estudio por parte de la Cátedra de Hidrogeología de la Universidad Nacional de La Plata desde el año 1994.

Inicialmente, con base en dos estaciones experimentales, Estancia Chica y Parque Ecológico, se trabajó en el seguimiento hidrodinámico e hidroquímico de la Zona No Saturada (ZNS) y acuífero freático, con el establecimiento de un "background" ambiental referido a la presencia de nitratos, nitritos, metales pesados e hidrocarburos y plaguicidas (Hernández et al. 1994; González et al. 1997; González et al. 2001; Hernández et al. 2001).

Con la incorporación de la hidrodinámica del acuífero Puelche y una caracterización química general, se definió un modelo conceptual de funcionamiento para el subsistema activo, que permitió aplicar un modelo matemático y de simulación del flujo de agua subterránea, sólo en el sector medio y superior de la cuenca (González et al. 2003).

En esta contribución se aborda para el mismo ámbito, el análisis hidroquímico detallado de los acuíferos freático-Pampeano y Puelche.

### Metodología

Sobre la base de los antecedentes mencionados, suficientes para entender la dinámica del sistema, se elaboraron los resultados analíticos para ambos acuíferos, procedentes de una densa red de monitoreo periódico, que incluyó 73 sitios para el Pampeano y 62 en el Puelche. Razones de representatividad areal y vertical, calidad del análisis, y la perforación, aconsejaron seleccionar 50 y 23 puntos, respectivamente.

Previo caracterización espacial sobre mapas de contenidos para diferentes analitos, se realizaron distintas correlaciones iónicas respecto al Total de Sólidos Disueltos (TSD).

Se recurrió al tratamiento estadístico (diagramas de cajas SPSS) y sistemas de representación gráfica convencionales, con el cual pudieron identificarse facies hidroquímica distintivas para uno y otro acuífero.

La labor permitió generar un modelo conceptual de los procesos originales de adquisición de sales en el agua subterránea y la participación de los fenómenos modificantes.

### Características Generales

La cuenca se ubica en el Partido de La Plata, su extensión es de 130 km<sup>2</sup>, en un ambiente de llanura extrema. Corresponden a los sectores medio y superior sólo 90,7 km<sup>2</sup> (Figura 1). Limita al NW con la de los arroyos Pereyra - San Juan, al SE con la del arroyo Rodríguez, al S-SW con la cuenca del río Samborombón y al N-NE con el río de la Plata.

Bajo un clima subhúmedo-húmedo, la precipitación media anual es de 1042 mm (récord centenario). Son sustraídos por la evapotranspiración real 799 mm/año resultando disponibles excesos del orden de 243 mm/año.

El drenaje fluvial muestra en nacientes un diseño dendrítico, que se simplifica hacia el sector medio-inferior donde coalescen los arroyos Martín-Carnaval, completando su recorrido hacia la desembocadura en el río de La Plata a través del canal Villa Elisa.

En el paisaje se reconocen dos geoformas principales, la llanura alta y la planicie costera, con pendientes del orden de  $1 \cdot 10^{-3}$  a  $2 \cdot 10^{-4}$ . La primera, modelada en sedimentos del Pleistoceno Superior (Fm Pampeano) con limos loessoides calcáreos, y la segunda, en remanentes de una ingresión marina holocena (Fm La Postrera, arenas y limos; Fm Las Escobas Miembro Cerro de la Gloria, conchillas y arenas conchilíferas; Fm Destacamento Río Salado, arcillas, limos y arenas finas marinas con restos conchiles). Las geoformas menores son los propios valles de los arroyos, los interfluvios y pequeños bajos.

Dentro de los suelos, diferenciados a partir de procesos continentales, fluvial estuárico y de transición entre ambos, se reconoce el predominio de Argiudoles vérticos y acuérticos, Natracuoles y Natracualfes en los sectores medio y superior, Natracuertes en la planicie aluvial, y Rendoles en coincidencia con los cordones conchiles que marcan la interfase entre las geoformas mayores (IGS 2006).

La actividad socioeconómica principal es agrícola intensiva, subordinándose la industrial. Se incluyen radicaciones urbanas de importancia, como las ciudades de Villa Elisa y City Bell y las localidades de Arturo Seguí, Abasto y Colonia Urquiza que albergan en conjunto aproximadamente 54.000 habitantes, abastecidos en su totalidad por aguas subterráneas.

### Geohidrología

El sistema se compone de la ZNS con espesores medios de 4 m para la cuenca superior y media, y extremos de hasta 10 m en coincidencia con los interfluvios.

El acuífero freático-Pampeano de espesor promedio del orden de 35 m, tiene un comportamiento hidráulico unitario, apoyado sobre un acuitardo basal de los sedimentos pampeanos, con potencia media de 6 m.

A continuación se dispone el acuífero semiconfinado Puelche, constituido por las arenas de la formación homónima con promedio 22 m de espesor, principal fuente de provisión de agua en la región y el país. Por último, como límite del subsistema activo, yace un acuícludo, representado por la sección arcillosa o cuspidal de la Formación Paraná.

### Hidrodinámica

En la Figura 2 se muestra el mapa equipotencial del acuífero freático-Pampeano correspondiente a mediciones realizadas en la red. La morfología es de tipo radial con sentido de escurrimiento SW-NE. La recarga general, autóctona directa para el acuífero freático más el semilibre, y autóctona indirecta (a través del acuitardo) para el semiconfinado Puelche. Los gradientes hídricos están en el orden de  $1,7 \cdot 10^{-3}$  y la velocidad efectiva de flujo media es de 0,02 m/día.

Se produce la descarga regional en la planicie costera y río de la Plata, directamente y como caudal básico de los arroyos, de comportamiento ganador. Ocurre además la de origen antrópico, originada por la extracción para el servicio público en City Bell y Villa Elisa, sumada a la producida por la actividad florihortícola en el sector superior de la cuenca.

Para caracterizar geohidrologicamente a los acuíferos y acuitardo, se mencionan valores de coeficiente de Permeabilidad K de 1-10 m/d para el freático-Pampeano, con porosidad efectiva de 0,10. Para el Puelche, K entre 10 y 50 m/d y coeficiente de Almacenamiento  $5 \cdot 10^{-3}$ . En el acuitardo, el coeficiente de Permeabilidad vertical K' está entre  $8 \cdot 10^{-3}$  y  $5 \cdot 10^{-4}$  m/d (Auge 1995).



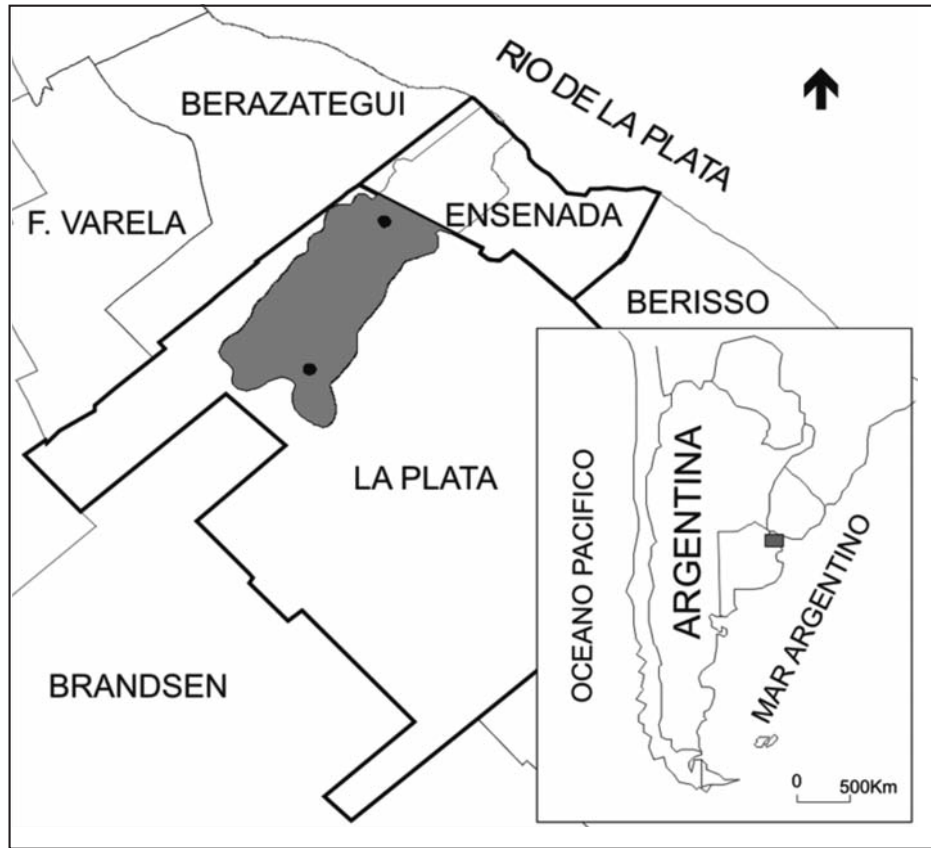


Figura 1. Mapa de ubicación

**Resultados y discusión**

La caracterización química de los acuíferos del sistema activo se realiza en conocimiento de su fuerte interrelación dinámica y química por filtración vertical, y de las limitaciones que le imponen las napas captaciones (Auge 2005).

**Acuífero freático-Pampeano**

El agua es dulce con TSD medio de 665 mg/l y extremos de 315 y 1100 mg/l (inferior a 800 mg/l en el 82% del total de muestras y sólo superior a 1000 mg/l en el 4%). Exclusivamente bicarbonatada y preferentemente sódica (67%), se subordina la de carácter cálcico y/o magnésico. El enriquecimiento salino es según el sentido de flujo (Figura 2) desde tenores menores a 400 mg/l, en coincidencia con la divisoria principal y sectores superiores de las secundarias, a los apenas mayores a 1000 mg/l en el tránsito del sector medio al inferior.

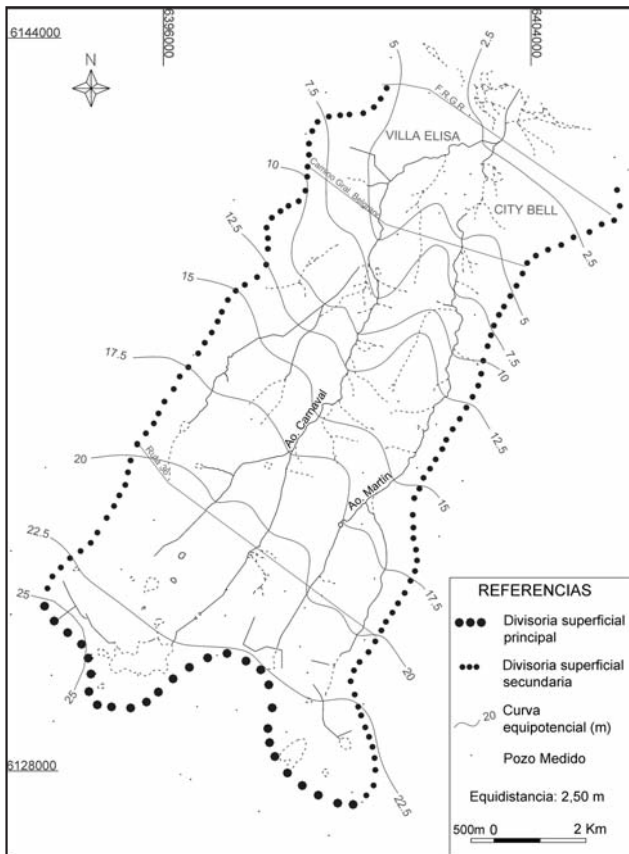


Figura 2. Mapa equipotencial. Acuífero freático-Pampeano

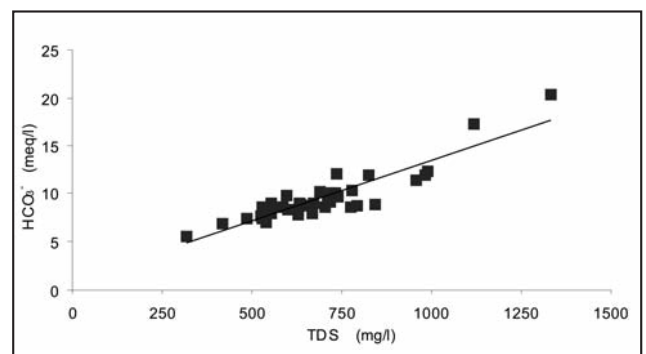


Figura 3. Correlación TSD-bicarbonatos

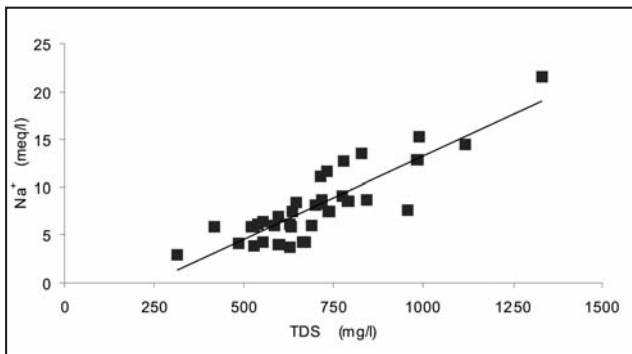


Figura 4. Correlación TSD-Sodio

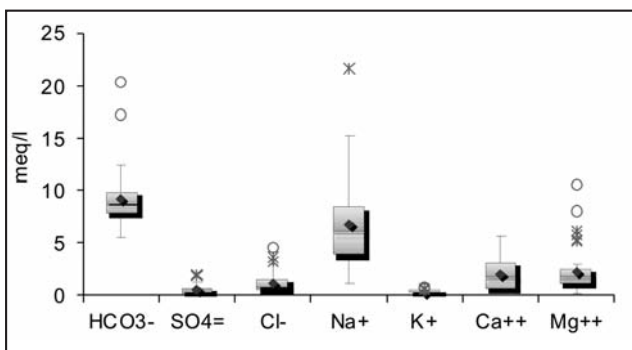


Figura 5. Acuífero freático-Pampeano

Se produce mayoritariamente a expensas del aumento en  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Na}^+$  (Figura 3 y 4).

Sobre los estadísticos descriptivos de los componentes mayoritarios sintetiza el diagrama de cajas de la Figura 5.

El orden de concentración de los aniones es  $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ , (valor medio en meq/l  $9,2 > 1,1 > 0,5$ ). El bicarbonato, con extremos de 5,6 meq/l y 20,3 meq/l, es de distribución asimétrica positiva por mayor dispersión de los tenores superiores a la mediana (8,6 meq/l).

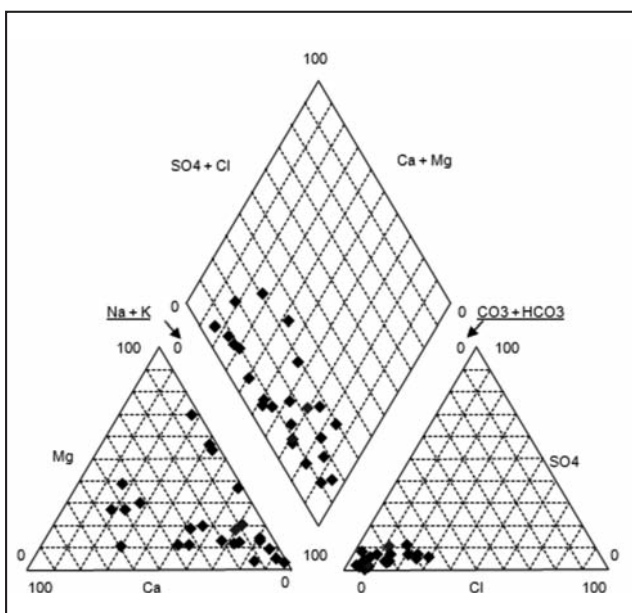


Figura 6. Diagrama de Piper. Acuífero freático-Pampeano.

Notoriamente prevalente constituye el 85% de la composición. La relación  $r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$  se da en el 82% de las muestras, mientras que en el resto el  $\text{SO}_4^{2-}$  iguala o apenas supera al  $\text{Cl}^-$ .

En los cationes,  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$  (valor medio en meq/l  $6,8 > 2,3 > 2,2$ ), con extremos para el  $\text{Na}^+$  de 1,1 meq/l y 21,6 meq/l. El valor de la mediana es 6,0 meq/l y la distribución relativamente simétrica, conformando el 60%. Que el  $\text{Mg}^{2+}$  sea ligeramente superior a  $\text{Ca}^{2+}$  está dado por "outliers" que alcanzan hasta 10,6 meq/l, ya que en el 62% de las muestras el  $\text{Ca}^{2+}$  es mayor que el  $\text{Mg}^{2+}$ .

La Figura 6 muestra la homogeneidad aniónica (exclusivamente bicarbonatada) frente a una distribución catiónica más diversa identificándose una facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica y otra, bicarbonatada sódica.

**Facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica**

Representativa del agua de recarga, con TSD medio de 580 mg/l y extremos de 341 y 690 mg/l, la abundancia de alcalino-térreos la identifican como el "agua dura" del Pampeano (275-550 mg/l de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ). Se corresponde con las ya mencionadas zonas de divisorias. Responde la configuración a fenómenos originales de disolución y ataque químico por hidrólisis (Schoeller 1962). El  $\text{HCO}_3^-$  se origina en la disolución del  $\text{CO}_2$  atmosférico y del edáfico producto de la actividad biológica y descomposición de materia orgánica. También en la hidrólisis del  $\text{CO}_3\text{Ca}$  de los horizontes BC del suelo (IGS 2006) y limos de la zona saturada ("tosca") y en la de los silicatos según Martínez y Osterrieth (1999). El proceso es facilitado por el pH ácido dado por el  $\text{CO}_2$  y ácidos orgánicos. Los cationes reconocen su fuente originaria en ambos procesos de hidrólisis. La Figura 7 muestra los estadísticos de los iones mayoritarios.

El comportamiento corresponde al 23% de las muestras. Se conserva la relación aniónica anterior, el valor medio del  $\text{HCO}_3^-$  es 7,9 meq/l (extremos de 6,3 y 9,4 meq/l). De escasa dispersión, su distribución muestra asimetría negativa (mediana 8,1 meq/l). Constituye el 84% del total.

Los cationes singularizan la facies con  $r\text{Mg}^{2+} > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+$ , representando los dos primeros el 72%. El  $\text{Mg}^{2+}$  valor medio 4,2 meq/l (extremos de 0,8 y 10,6 meq/l) muestra fuerte asimetría positiva (mediana 2,9 meq/l). Para  $\text{Ca}^{2+}$  la media es 3,0 meq/l (extremos 0,3 y 5,7 meq/l), y la asimetría negativa (mediana 3,6 meq/l). En el 64%, el  $\text{Ca}^{2+}$  es mayor que el  $\text{Mg}^{2+}$ .

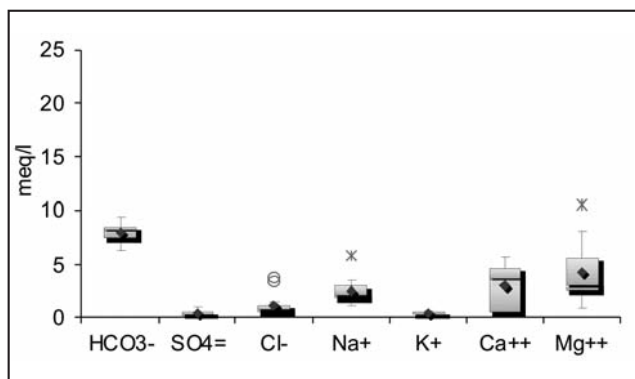


Figura 7. Facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica

**Facie bicarbonatada sódica**

Respecto a la anterior, el TSD medio es algo mayor (690mg/l) con extremos de 315 y 1100 mg/l y notoriamente menor la dureza (156 mg/l). Muy expandida en el sector medio, donde prepondera la circulación con velocidad efectiva muy baja, pone de manifiesto el ablandamiento del agua de la facies anterior. Debería su origen al cambio de bases, en el que los cationes  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  ocupan posiciones en las superficies de intercambio de las arcillas desalojando al  $Na^+$  que pasa a la solución. En relación a la fuerza de retención, cuando la concentración de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  es igual, la arcilla fijará más el primero (Custodio 2001). El sostenimiento y/o incremento de la alcalinidad se explica por la recarga areal autóctona y disolución de carbonatos cuando domina el intercambio de bases (Manzano 2009).

Como se aprecia en la Figura 8, en mérito a su abundancia ésta facies impone el sello a las aguas del freático-Pampeano, por lo que se repiten las mismas relaciones iónicas, siendo dominantes  $HCO_3^-$  (85%) y  $Na^+$  (72%). El  $HCO_3^-$ , (media 9,8 meq/l, extremos de 5,6 y 20,3 meq/l), con asimetría positiva (mediana 9,0 meq/l). Con una media de 8,6 meq/l, extremos de 3,0 y 21,6 meq/l y mediana de 7,5 meq/l el  $Na^+$  exhibe ligera asimetría positiva.

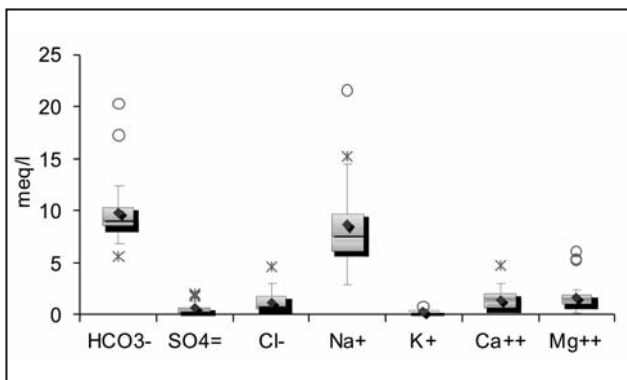


Figura 8. Facie bicarbonatada sódica

Entre ambas facies y con carácter transicional, debe mencionarse a las aguas bicarbonatadas sódico cálcicas (10%) yacentes preferentemente en los interfluvios, con TSD 620 mg/l y dureza de 249 - 290 mg/l.

**Acuífero Puelche**

Las aguas son dulces (TSD 397 a 906 mg/l), incrementándose la salinidad, como en el acuífero superior, desde cabeceras y con dureza de 100 mg/l en  $CO_3Ca$ . Explicaría el bajo tenor del TSD la dilución del caudal de filtración vertical en el de afluencia subterránea, al prevalecer este último por mayor permeabilidad del acuífero ( $K=10$  a  $50$  m/d) respecto a la vertical del acuitardo. ( $K'=8.10^{-3}$  a  $5.10^{-4}$  m/d).

Son exclusivamente bicarbonatadas sódicas. Su origen ha sido mencionado para el acuífero superior generador, además del intercambio catiónico durante el tránsito a través del acuitardo.

La Figura 9 asevera tal condición. Con carácter ilustrativo, se incluyen dos muestras con el cloruro como ión secundario, situadas ya en el ámbito de la cuenca baja. Los estadísticos de sus componentes mayoritarios son reproducidos en la Figura 10.

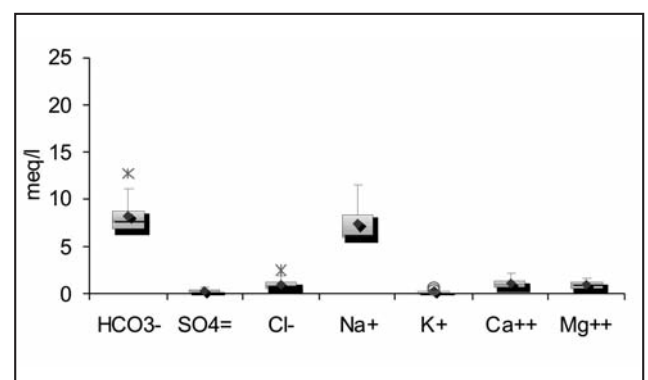


Figura 10. Acuífero Puelche

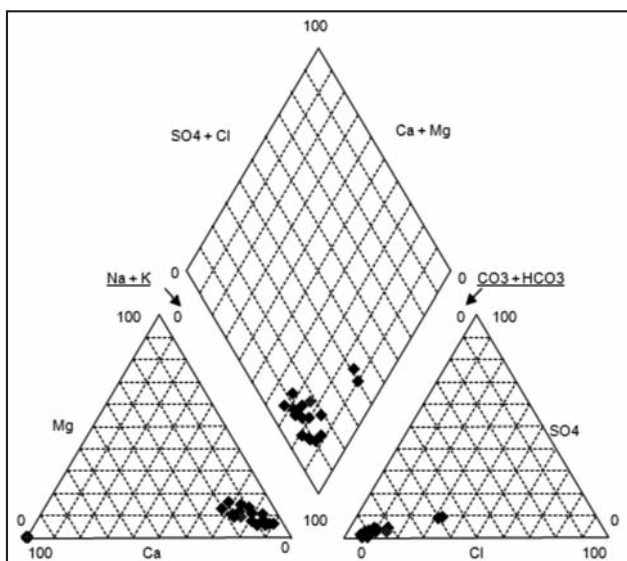


Figura 9. Diagrama de Piper. Acuífero Puelche

Puede apreciarse que el  $HCO_3^-$  (87%) y el  $Na^+$  (78%) vuelven a ser prevalentes diferenciándose de los de la facies anterior en su menor dispersión. El primero (media 8,3 meq/l, extremos de 6,5 y 12,7 meq/l y mediana 7,6 meq/l) aproxima a una distribución simétrica mientras en el  $Na^+$  (7,4 meq/l de media, extremos de 5,7 y 11,4 meq/l y mediana de 6,3 meq/l) la asimetría positiva es muy marcada.

En la Tabla 1 se sintetizan valores medios para ambos acuíferos. Las mayores diferencias entre los acuíferos radican en la participación porcentual catiónica resaltándose el aumento del Sodio en profundidad y la disminución de los alcalino-térreos, dentro de los cuales la mayor diferencia se da con el Magnesio. De las facies distinguidas en el freático-Pampeano, la distinción como su denominativo lo indica, se da entre los contenidos catiónicos.

Tabla 1. Síntesis de concentraciones iónicas medias de los componentes mayoritarios

	Freático - semilibre						Puelche					
	General			Facies HCO <sub>3</sub> -Ca <sup>2+</sup> y/o Mg <sup>2+</sup>			Facies HCO <sub>3</sub> -Na <sup>+</sup>			Puelche		
	meq/l	mg/l	%	meq/l	mg/l	%	meq/l	mg/l	%	meq/l	mg/l	%
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,2	561	85	7,9	482	84	9,8	598	84	8,3	506	87
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,5	24	5	0,4	19	4	0,6	29	5	0,3	14	3
Cl <sup>-</sup>	1,1	39	10	1,1	39	12	1,2	43	10	1,0	35	10
Na <sup>2+</sup>	6,8	156	60	2,5	58	25	8,6	198	72	7,4	170	78
K <sup>+</sup>	0,3	12	2	0,4	16	4	0,3	12	2	0,2	8	2
Ca <sup>2+</sup>	2,0	40	18	3,0	60	30	1,4	28	12	1,0	20	11
Mg <sup>2+</sup>	2,3	28	20	4,2	51	42	1,7	21	14	0,9	11	9

## CONCLUSIONES

Destácase el carácter dulce de las aguas, predominando entre los aniones el bicarbonato y el Sodio entre los cationes. Es escasa la participación de sulfato y cloruro y entre los cationes Calcio y Magnesio adquieren relevancia en el acuífero freático-Pampeano.

Se reconocen dos facies en el acuífero superior (bicarbonatada sódica y cálcico y/o magnésica) y sólo una bicarbonatada sódica en el Puelche.

Entre los procesos hidroquímicos actuantes fueron identificados la disolución y el ataque químico, en este último fundamentalmente la hidrólisis.

El intercambio de bases y la dilución se destacan entre los fenómenos modificantes, en ese orden.

La alta dureza en la facie bicarbonatada cálcico-magnésica del Pampeano podría ser un factor limitante en el uso del agua. Este tipo de análisis ayuda a la comprensión no sólo de los sucesos hidroquímicos, sino también a validar las asunciones hidrodinámicas de los sistemas geohidrológicos.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AUGE, M.P. 1995.

Manejo del agua subterránea en La Plata. Argentina. *Inédito. La Plata. 3 T: 1-149.*

AUGE, M.P. 2005.

Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos.

*En: R. E. de Barrio, R. O. Echeverry, M. E. Caballé y E. Llambías (edit.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congr. Geol. Arg., La Plata. Cap. XVIII: 293 – 312.*

CUSTODIO, E. Y LLAMAS, R. M. 2001.

Hidrología Subterránea. *2da ed. Omega. Barcelona.*

GONZÁLEZ, N., HERNÁNDEZ, M. A. Y RUIZ DE GALARRETA, A. V. 1997.

Balace hidrológico a nivel de la zona no-saturada en un área de la cuenca de los arroyos Martín y Carnaval. La Plata, Pcia. de Bs. As. Argentina. *III Seminario Hispano-Argentino sobre temas actuales de Hidrología Subterránea, B. Blanca, 97-106.*

GONZÁLEZ, N., M. M. TROVATTO Y M. A. HERNÁNDEZ. 2001.

La zona no-saturada en áreas de llanura. Estimación de la velocidad de infiltración por correlación diaria aportes – freatigrafía. *En: Medina y Carrera (eds.) Las caras del Agua Subterránea. IGME, Madrid. I: 249-254.*

GONZÁLEZ, N., TROVATTO, M. M. Y HERNÁNDEZ, M. A. 2003.

Modelo conceptual hidrodinámico en una cuenca tributaria del Río de la Plata (Bs. As., Argentina). *Revista Latino-Americana de Hidrogeología, (3): 85-92.*

HERNÁNDEZ, M. A., RUIZ DE GALARRETA, A.V. Y MINGHINELLI, L. 1994.

Reconocimiento de la zona no saturada y características ambientales del acuífero freático en las Cuencas de los Arroyos Martín y Carnaval. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *2º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Santiago de Chile, I: 55-66.*

HERNÁNDEZ M. A., GONZÁLEZ, N. Y M. M. TROVATTO. 2001.

La zona no-saturada en áreas de llanura. Estimación de la evapotranspiración real por medio del balance hidrológico en la ZNS. *En: Medina y Carrera (eds.) Las caras del Agua Subterránea. IGME, Madrid, I: 241-247.*



- INSTITUTO DE GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS. 2006.  
Análisis Ambiental del Partido de La Plata - Aportes al Ordenamiento Territorial.  
*M. Hurtado Ed. CFI. La Plata, 124 pp y CD.*
- MANZANO, M. Y GUIMARAES, M. 2009.  
El origen del fondo químico natural del Sistema Acuífero Guaraní.  
*En: E.E. Mariño y C.J. Schulz (eds.). Aportes de la Hidrogeología al Conocimiento de los Recursos Hídricos, AIH GA - Amerindia, Santa Rosa II: 551-560.*
- MARTÍNEZ, D. E. Y OSTERRIETH, M. 1999.  
Geoquímica de la sílice disuelta en el acuífero pampeano en la vertiente sudoriental de Tandilla.  
*En: A. Tineo (ed.) Hidrología Subterránea. Serie de Correlación Geológica, 13: 241-250.*
- SCHOELLER, H. 1962.  
Les eaux souterraines.  
*Ed. Masson. París.*



## Regionalización de precipitaciones máximas acumuladas de 7, 15 y 30 días para las provincias de Chaco y Formosa

Mendez, Guillermo José<sup>1</sup> - Ruberto, Alejandro Ricardo - Pilar, Jorge Victor - Depettris, Carlos Alberto

Recibido: 07 de abril de 2011 • Aceptado: 28 de abril de 2011

### Resumen

*El presente documento resume el trabajo de regionalización de precipitaciones máximas de siete, quince y treinta días de duración para las provincias de Chaco y Formosa. Se ajustaron las curvas de probabilidad regional para precipitaciones máximas acumuladas de duraciones de 7, 15 y 30 días, luego fueron realizados mapas de dichas variables para una recurrencia mínima e interanual de 2,33 años, a fin de obtener la variabilidad espacial de este valor. Estos resultados permitieron la comparación con otros estudios de regionalización en las provincias de Chaco y Formosa enfocados en precipitaciones máximas acumuladas de 1, 2 y 3 días y evaluar la evolución de dicha variable hidrológica en función de la cantidad de días acumulados.*

*Para tiempos de recurrencia de 2,33 años las precipitaciones máximas acumuladas de 7 días presentan una variación de 130mm a 210mm; las de 15 días de 170mm a 280mm y las de 30 días de 225mm a 375mm.*

*En todos los casos se presenta un gradiente negativo de sureste a noroeste, y al ir aumentando los días acumulados de la variable hidrometeorológica analizada, los sectores que se apartan del mencionado gradiente van morigerando su diferencia con la tendencia regional.*

**Palabras clave:** regionalización, precipitaciones, llanura chaqueña

### Abstract

*This document summarizes the regionalization process considering the annual seven, fifteen and thirty days precipitation amounts for the provinces of Chaco and Formosa. Regional probability curves were adjusted for the annual maximum of seven, fifteen and thirty and then, the maps of these variables were developed for a minimum and annual recurrence of 2.33 years, in order to obtain the spatial variability of these values. These results allowed the comparison with other studies of regionalization in the provinces of Chaco and Formosa focused on maximum accumulated rainfall of 1, 2 and 3 days. And therefore evaluate the evolution of the hydrological variable depending on the number of days.*

*The annual maximum of seven day precipitation amounts, for recurrence of 2.33 years, vary from 130mm to 130mm, those of fifteen day vary to 170mm a 280mm and those of thirty day vary to 225mm to 375mm.*

*All the cases present a negative gradient from southeast to northwest and those sectors which deviate from the regional tendency reduce their differences when the number of day growth.*

**Keywords:** regionalization, precipitations, Chaco flatlands

<sup>1</sup> Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Nordeste (UNNE) - Av. Las Heras 727 (CPA H3500COI), Resistencia, Chaco, Argentina.

✉ guillermojosemendez@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

Siendo que las precipitaciones diarias son una variable hidrológica relativamente fácil de medir, la falta de estaciones de medición en zonas de baja densidad poblacional o errores sistemáticos en las mediciones de las precipitaciones son frecuentes en la región de la Llanura Chaqueña. Los datos de precipitaciones son recolectados por distintos organismos provinciales y nacionales, a través de sus respectivas estaciones meteorológicas, sin que exista hasta la fecha una base de datos unificada, verificada y actualizada con un mismo criterio.

A través de la regionalización se busca estimar valores numéricos de variables hidrometeorológicas, por ejemplo precipitación, en zonas donde existen vacíos de información. Se basa en la hipótesis de la similitud estadística regional (Tucci, 1997).

La regionalización utiliza un conjunto de datos espacialmente diseminados de cierta variable, observados en distintos puntos de una región, para estimar cuantiles asociados a diferentes probabilidades de excedencia para un cierto lugar dentro de esa región. El análisis de frecuencias regional puede ser usado para aumentar la confiabilidad de cuantiles calculados de un punto, o bien, para calcular los cuantiles en lugares sin registro de datos (Naghettini y Pinto, 2007). Cabe aclarar que la regionalización, como cualquier técnica matemática o estadística, no puede crear información sino que permite explorar mejor los datos existentes.

Existen varias metodologías de regionalización entre las que se destaca: i) el método de los valores seleccionados, donde se regionalizan los cuantiles asociados a un riesgo; ii) el método de los parámetros, donde se regionalizan los parámetros de una distribución estadística y iii) el método de la curva adimensional, que adimensionaliza la variable a regionalizar relacionándola con una variable explicativa. El método de índice de precipitaciones, se cataloga dentro de la última metodología y parte del principio de que existe una proporcionalidad fija entre las precipitaciones de diferentes tiempos de retorno.

El presente documento resume el trabajo de regionalización de precipitaciones máximas de siete, quince y treinta días de duración para las provincias de Chaco y Formosa, mediante el método de índice de precipitaciones (IP).

## ZONA DE ESTUDIO

La zona estudiada se limitó a las provincias de Chaco y Formosa situadas en el nordeste de la República Argentina, región de la Llanura Chaqueña, abarcando una superficie de 175.290km<sup>2</sup> (correspondiente al 6% de la superficie del territorio nacional). En la Figura 1 se indica la ubicación de la zona de estudio en la República Argentina.

Esta región se caracteriza por tener un relieve plano, sin accidentes geográficos sobresalientes y presenta un suave declive en dirección NO - SE. Tiene un clima subtropical con estación seca y en verano se producen las mayores y más intensas precipitaciones. La frecuencia de las mismas y el total precipitado anual presentan un gradiente negativo de este a oeste.

La irrupción alternada de masas de origen tropical y polar determina el ritmo meteorológico normal de las planicies del norte argentino.

Durante el invierno se destaca la menor actividad de los frentes fríos como productores de lluvia, ya que se trata de frentes que reemplazan aire continental por un nuevo aire continental. El más frecuente de los tipos pluviales lo constituye la

lluvia moderada o llovizna, mientras que los aguaceros más intensos, si bien son menos recurrentes, aportan la cuota mayor al total de la estación. La franja comprendida entre los meridianos 59°30' y 60°30' comprende el límite oriental de la zona con dominio de sequías invernales.

La estación cálida es la más propicia a la producción de lluvias. Ello se debe más a la calidad del aire, que interviene en las perturbaciones, que a la frecuencia de los procesos frontales. En verano la distribución de la humedad relativa presenta una franja de valores altos en los valles aluvionales de los ríos Paraná y Paraguay y los frentes calientes tienen mayor representación que en el invierno, ya que la actividad ciclónica pasa por un mínimo. Estas condiciones atmosféricas del período cálido son potencialmente las más propicias para la producción de altas precipitaciones y aún cuando la frecuencia de empujes polares pasa por un mínimo, cuando ellos se producen, el contraste con el aire húmedo es tan marcado que se generan procesos pluviales violentos. Así el más frecuente de los tipos pluviales del verano es el chaparrón intenso y la frecuencia de precipitaciones superiores a 10mm y 50mm muestra un eje de altos valores que es coincidente con la línea de inestabilidad Formosa - Pehuajó (Bruniard, 1981).

## DATOS UTILIZADOS

Se utilizaron datos de precipitaciones diarias de 44 estaciones del Chaco, 54 estaciones de Formosa, 4 estaciones de Santa Fe y 1 estación de Salta.

Los datos del Chaco fueron suministrados por la Administración Provincial del Agua (APA) de la provincia del Chaco, los de Formosa por la Dirección de Recursos Naturales de esta provincia y los de Santa Fe y Salta por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación de la República Argentina.

En la Figura 2 se ilustra la ubicación de las estaciones utilizadas, notándose que en el noroeste del Chaco la densidad de estaciones es escasa, coincidente con una baja densidad poblacional.

## METODOLOGÍA

El procedimiento utilizado para realizar la regionalización fue una variante del Método del Índice de Crecientes - MIC (Tucci, 2002), que fue adoptado por ser simple y de fácil resolución. Para aplicar el método de regionalización se siguieron los siguientes pasos:

- Análisis de frecuencias: se ajustaron curvas de probabilidades de ocurrencia de precipitaciones de cada estación.
- Índice de Precipitaciones (IP): se determinaron los índices de precipitaciones de cada estación, que se utilizan como variable adimensionalizada para el procesamiento regional.
- Prueba de homogeneidad: se verificó que las estaciones analizadas cumplieran con el criterio de homogeneidad hidrológica desde el punto de vista de las precipitaciones.
- Determinación de la curva regional: se ajustaron curvas de probabilidades de la variable adimensionalizada para la región.
- Trazado de los mapas de regionalización: se trazaron las isohietas para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días.

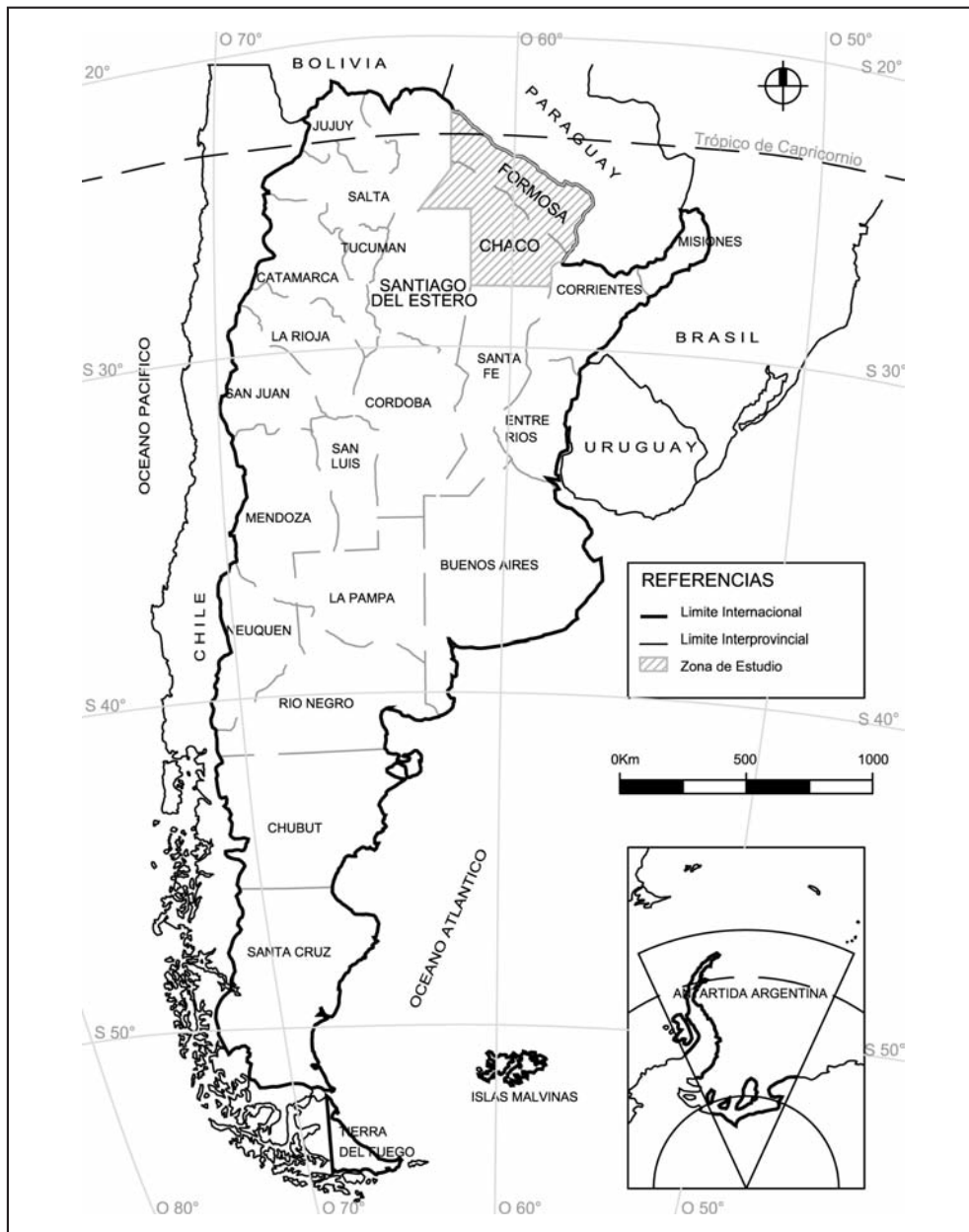


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en la República Argentina.

**Análisis de frecuencia**

Para el ajuste de la curva de probabilidades de ocurrencia de precipitaciones se utilizó el software AfMulti, desarrollado por Paoli y Cacik, de la FICH - UNL (Paoli et al., 1991), que permite ajustar distribuciones de probabilidades a series de datos.

Se determinaron las probabilidades de excedencia de precipitación acumuladas para 7, 15 y 30 días de duración, para TR de 50, 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5, 2,33 y 2 años. La bondad del ajuste se determinó en base a los tests de “Chi cuadrado” y “Kolmogorov – Smirnov”.

Para la adopción de la distribución de probabilidad se optó por aquella que presentaba el menor error cuadrático medio de la variable (ECMV). La distribución que presentaba menor ECMV para las precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7 días fue la de “Valores Extremos Generalizados” (GEV), en

tanto que para 15 y 30 días fue “Log Pearson”. En la Tabla 1 se indican los ECMV promedio de todas las estaciones analizadas para las distribuciones de GEV y Log Pearson, que en todos los casos, presentaron los menores valores respecto a las demás distribuciones analizadas.

**Tabla 1. Error cuadrático medio de la variable promedio de todas las estaciones analizadas**

Días	ECMVprom	
	GEV	Log Pearson
7	11,41	11,44
15	14,29	14,02
30	16,60	16,30



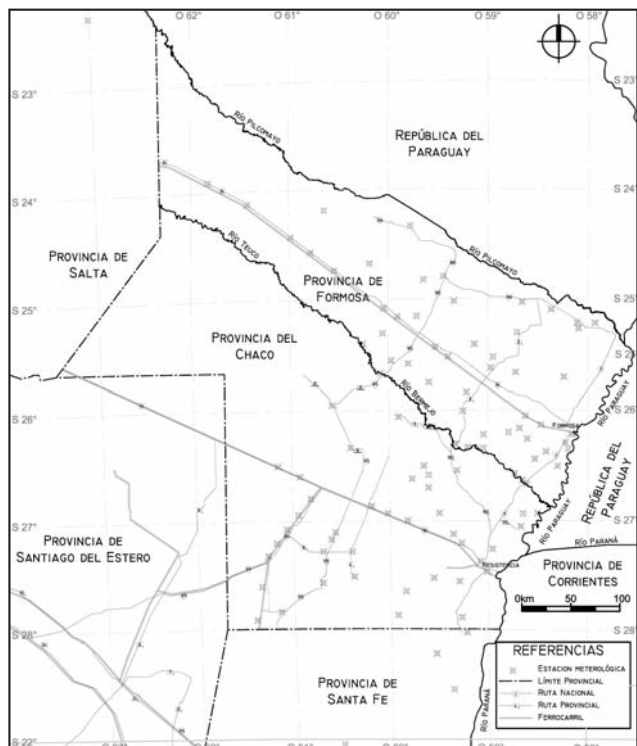


Figura 2. Ubicación de las estaciones de Chaco, Formosa, Santa Fe y Salta

Para el ajuste de precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 se utilizó la distribución GEV debido a: i) la diferencia de ECMV promedios entre los distribuciones Log Pearson y GEV es despreciable; ii) es la misma distribución utilizada por Mendez, et al (2009) para las precipitaciones máximas acumuladas de 1, 2 y 3 días.

**Índice de precipitaciones locales**

En la regionalización de caudales se utiliza el índice de crecientemente que es calculado como la relación entre el caudal medio de desborde (TR de 1,5 a 2 años) y el caudal medio de largo período, factor que permite analizar la amplitud de las crecientes con relación a las condiciones medias de un río (Tucci, 2002).

Por analogía con este índice, se definió el índice de precipitación (IP) que se calculó como la relación entre la precipitación máxima anual para un determinado TR y la precipitación máxima media anual, que en este estudio fue estimada como de 2,33 años de tiempo de recurrencia. Para su cálculo se utilizó la ecuación mostrada en (1).

$$I_{TRj} = \frac{P_{TRj}}{P_{Mj}} \tag{1}$$

donde:

ITRj: Índice de Precipitaciones para un tiempo de recurrencia (TR) de la estación “j”;

PTRj: Precipitación máxima anual para un tiempo de recurrencia (TR);

PMj: Precipitación máxima media anual para un TR de 2,33 años.

Fueron calculados los IP locales para lluvias máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días de duración y TR de 50, 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5 y 2 años.

En líneas generales, se observó que esos IP locales no presentan gran variación de una estación a otra, aunque se destaca que la dispersión de dichos valores aumenta con el TR y la duración de la precipitación. En la Tabla 2 son mostrados: el promedio, valores máximos y mínimo de los IP locales para precipitaciones máximas anuales de 7, 15 y 30 días de duración.

**Prueba de homogeneidad hidrológica**

Para la prueba de homogeneidad hidrológica se aplicó el criterio de Langbein (Dalrymple, 1960) en precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días, que consistió en realizar:

- Para cada estación se determinaron las precipitaciones con tiempo de recurrencia de 2,33 años (PM) y 10 años (P10) mediante la distribución de probabilidades GEV.
- Se calculó el promedio de los IP locales de todas las estaciones para tiempos de recurrencia de 10 años (IP10prom).

Tabla 2. Parámetros estadísticos de los IP locales.

Días	Parámetro	Tiempo de Recurrencia [años]							
		50	40	30	25	15	10	5	2
7	Máximo	3,00	2,77	2,51	2,36	1,97	1,71	1,37	0,95
	Mínimo	1,58	1,55	1,51	1,49	1,41	1,34	1,19	0,92
	Promedio	2,12	2,02	1,91	1,85	1,66	1,51	1,27	0,94
	Desvio Estándar	0,33	0,29	0,24	0,22	0,15	0,10	0,04	0,01
25	Máximo	2,85	2,64	2,40	2,26	1,91	1,67	1,35	0,96
	Mínimo	1,51	1,49	1,45	1,43	1,36	1,30	1,18	0,92
	Promedio	1,97	1,89	1,80	1,75	1,59	1,46	1,25	0,94
	Desvio Estándar	0,30	0,26	0,21	0,19	0,14	0,10	0,04	0,01
30	Máximo	2,55	2,39	2,21	2,11	1,82	1,62	1,32	0,96
	Mínimo	1,49	1,46	1,43	1,41	1,35	1,29	1,17	0,92
	Promedio	1,86	1,79	1,72	1,67	1,54	1,43	1,24	0,95
	Desvio Estándar	0,25	0,21	0,18	0,16	0,11	0,08	0,04	0,01

- Para cada estación se multiplicó PM con el IP10prom, para obtener una precipitación de 10 años de recurrencia de cada estación (TRc), pero esta vez obtenida mediante un parámetro regional.
- Se graficaron los TRc de cada estación versus la longitud del registro de lluvias de la misma. Si los puntos de las estaciones están dentro de la faja delimitada, la región es homogénea, en tanto que las estaciones que quedaron fuera fueron excluidas del proceso de regionalización.

En las Figuras 3, 4 y 5 se ilustran los resultados de las pruebas de homogeneidad para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días de duración respectivamente.

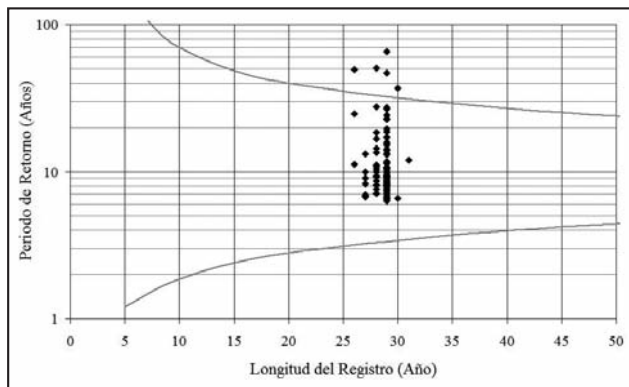


Figura 3. Prueba de homogeneidad hidrológica para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7 días de duración.

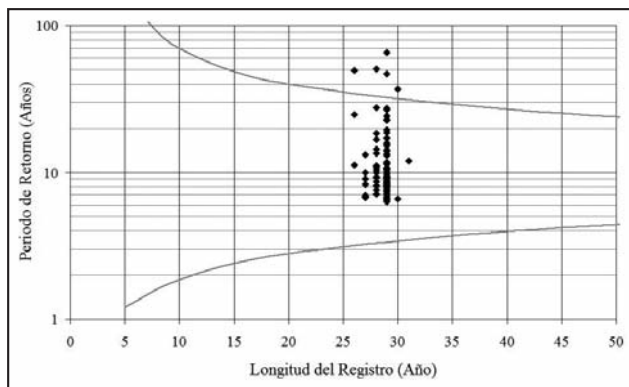


Figura 4. Prueba de homogeneidad hidrológica para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 15 días de duración.

En la Tabla 3 se detallan las estaciones descartadas por la prueba de Langbein para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días.

#### Curva regional de probabilidades

Se determinaron los IP regionales mediante la curva de probabilidades regional, que permite resumir las curvas de probabilidades locales en un solo gráfico.

La determinación de la curva de probabilidades regional, se realizó ajustando la ecuación (2).

$$I_{TR} = a - b \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \quad (2)$$

donde:

$I_{TR}$ : Índice de Precipitaciones regional para un TR dado;  
a y b: parámetros de ajuste de la curva de probabilidades regional.

La expresión (2) proviene de la variable reducida de la distribución de Gumbel, expresada en función del tiempo del retorno.

El ajuste de los parámetros a y b fue realizado mediante la herramienta "solver" de Excel, con el cual se buscaron los valores de dichos parámetros que presentaban el R2 más cercano a 1. Así se obtuvieron esos valores para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días, que conjuntamente con los parámetros obtenidos para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 1, 2 y 3 días, obtenidas por *Mendez y otros (2009)*, se detallan en la Tabla 4:

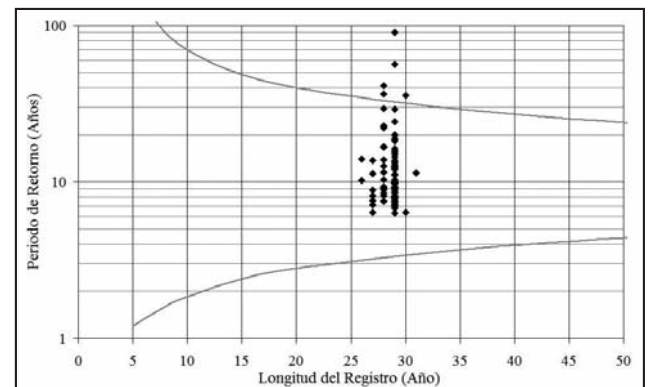


Figura 5. Prueba de homogeneidad hidrológica para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 30 días de duración.

Tabla 3. Estaciones descartadas por prueba de Langbein.

7 Días	15 Días	30 Días
Cnias Unidas	Las Garcitas	Las Palmas
Lag Limpia	B. Gomez	B. Gomez
Apeyerey	Colonia Aborigen	Cnia Aborigen
B. Gomez	Irigoyen	El Resguardo
Cnia Aborigen	Loma Senez	Irigoyen
Herradura	Mansilla	Mansilla
Ing. Juarez	Naick Neck	Naick Neck
Loma Senez	Villa Escolar	Uriburu
Mansilla		Villa Escolar
Naick Neck		Esc N 1256
Uriburu		Florencia
Villa Escolar		
Esc N 1256		
Florencia		

Tabla N°4. Parámetros de la curva de probabilidades regional

Duración	A	b	R <sup>2</sup>
1 día	0,799	0,325	0,78
2 días	0,779	0,351	0,80
3 días	0,786	0,342	0,76
7 días	0,796	0,330	0,81
15 días	0,827	0,288	0,80
30 días	0,850	0,257	0,82

Mapas de regionalización

Se trazaron las isohietas de precipitaciones para un tiempo de recurrencia de 2,33 años y duraciones de 7, 15 y 30 días.

Los mapas de regionalización permiten observar la variación espacial de la variable regionalizada y utilizando los mapas de regionalización trazados por *Mendez y otros (2009)* es posible observar la evolución de las isohietas al ir aumentando la cantidad de días en que se acumula la altura total precipitada. Los mapas de regionalización trazados para precipitaciones máximas acumuladas de 1, 2, 3, 7, 15 y 30 días son mostrados en las Figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

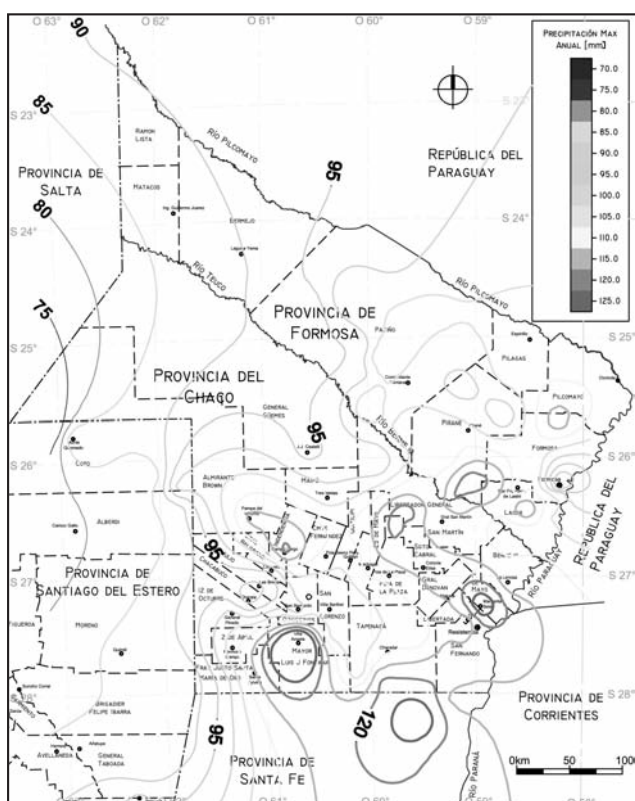


Figura 6. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 1 día y 2,33 años de TR.

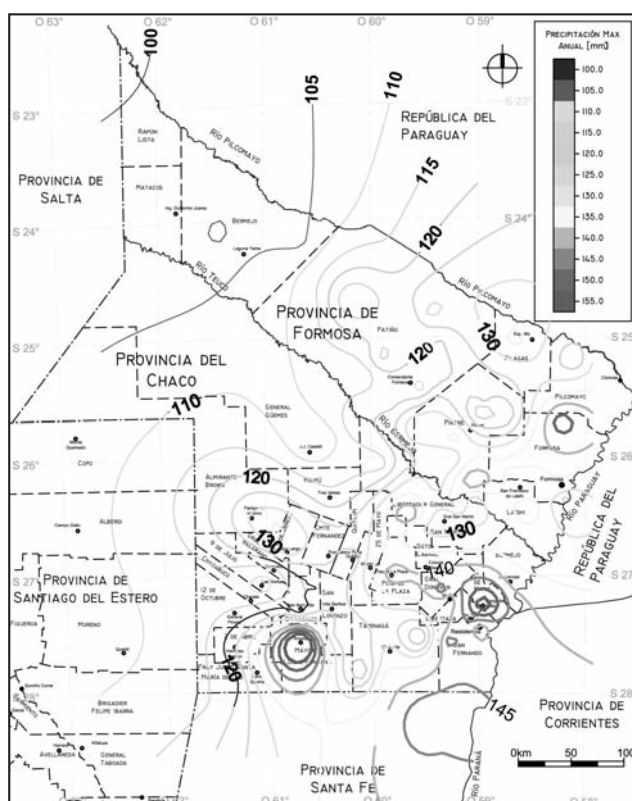


Figura 7. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 2 días y 2,33 años de TR.

CONCLUSIONES

En los mapas de regionalización para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días se constata una variación espacial similar a los de 1, 2 y 3 días obtenidos por *Mendez y otros (2009)*. En todos los casos se presenta un gradiente negativo de sureste a noroeste, lo que coincide con el comportamiento hidrológico de la zona. Al ir aumentando los días acumulados de la variable hidrometeorológica analizada es posible constatar que aquellos sectores que se apartan del mencionado gradiente van morigerando su diferencia con la tendencia regional. Esto puede deberse a la influencia de los eventos convectivos, de gran variabilidad espacial, sobre la altura total precipitada en análisis de corta duración (*Pilar et al., 2002*).

Para tiempos de recurrencia de 2,33 años las precipitaciones máximas acumuladas de 7 días presentan una variación

de 130mm a 210mm, las de 15 días de 170mm a 280mm y las de 30 días de 225mm a 375mm.

Todas las curvas de probabilidades regionales ajustadas presentan un R<sup>2</sup> aceptables, en torno a 0,80; sin que exista una variabilidad en dicho valor en función de los días acumulados de la variable hidrometeorológica.

AGRADECIMIENTOS

Al área Estudios Básicos de la Administración Provincial de Agua (APA) de la provincia del Chaco, a la Unidad Provincial Coordinadora del Agua (UPCA) de la provincia de Formosa y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación por los datos suministrados.

A la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT), por la financiación otorgada.



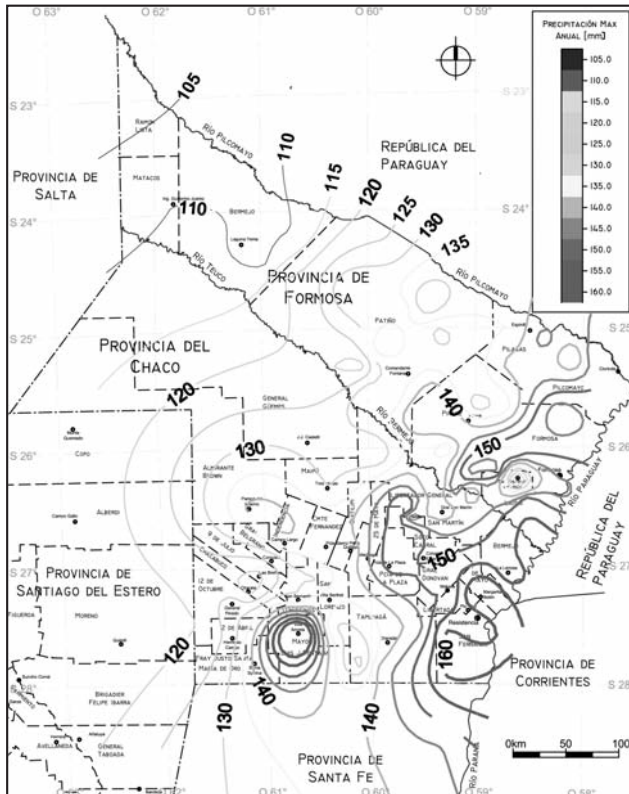


Figura 7. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 3 días y 2,33 años de TR.

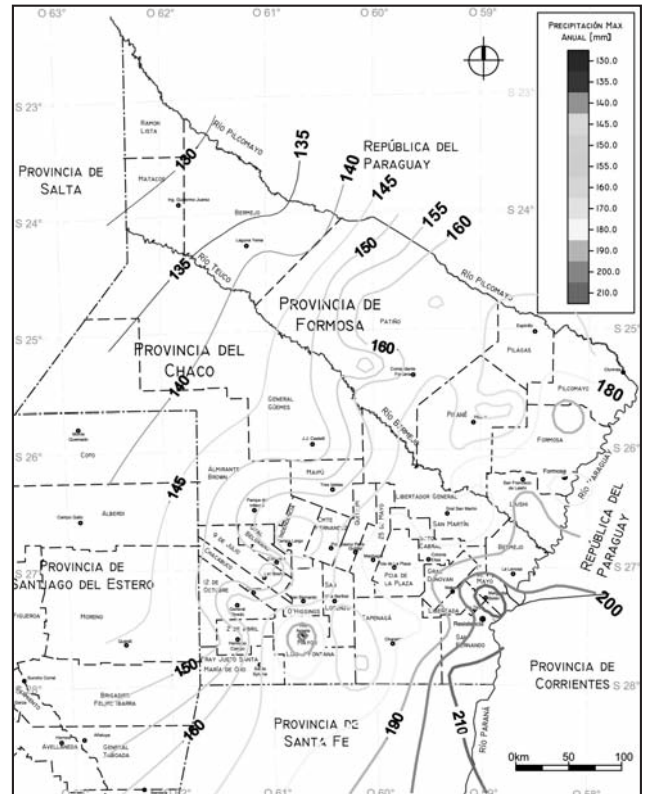


Figura 9. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 7 días y 2,33 años de TR.

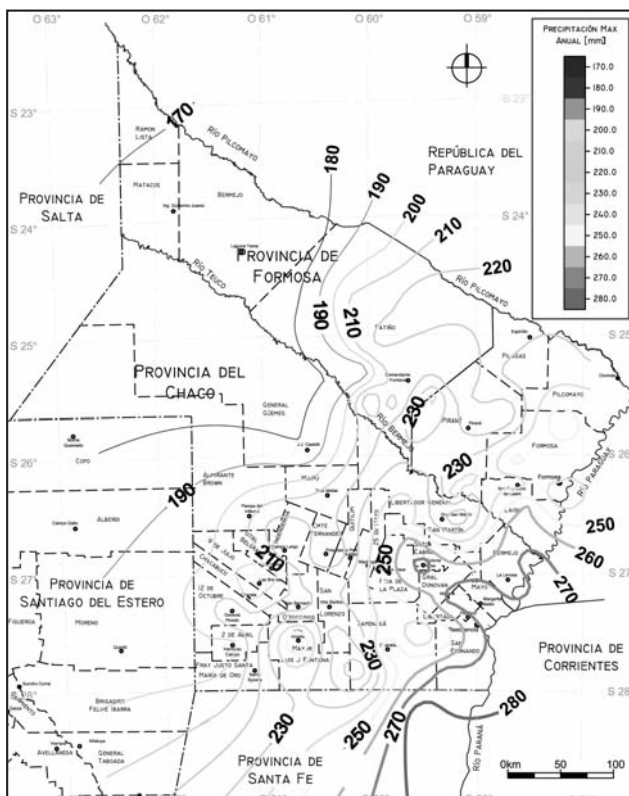


Figura 10. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 15 días y 2,33 años de TR.

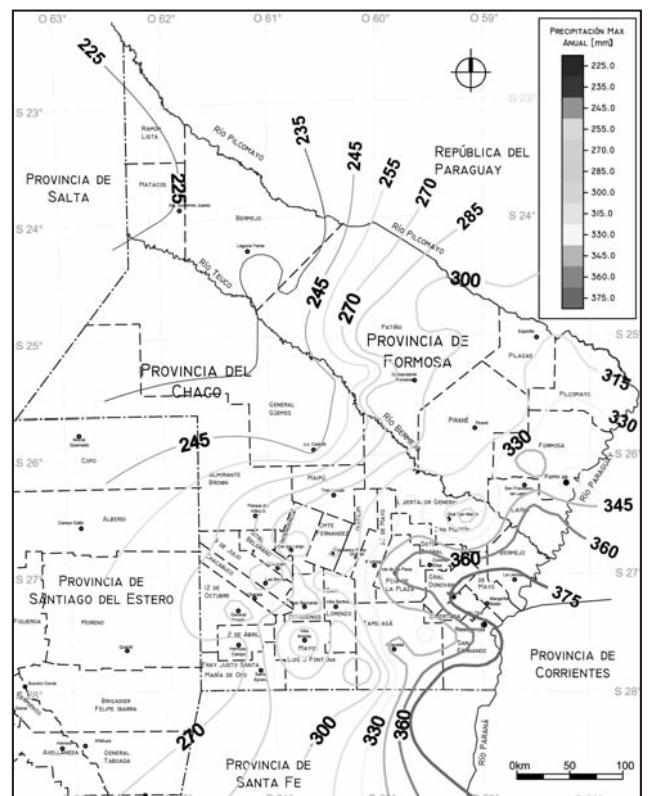


Figura 11. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 30 días y 2,33 años de TR.



## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BRUNIARD, E.D., 1981.  
El Clima de las Planicies del Norte Argentino (Ensayo metodológico de geografía de los climas).  
*Tesis de Doctorado en Geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste.*
- DALRYMPLE, T., 1960.  
Flood frequency analyses.  
*Paper 1543-A. Manual of Hydrology: Part 3. Flood Flow Techniques. Geological Survey Water, Supply paper.*
- MENDEZ, G., RUBERTO, A. Y PILAR, J. 2009.  
Regionalización de Precipitaciones para las Provincias de Chaco, Formosa y Santiago del Estero.  
*XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut.*
- NAGHETTINI, M., PINTO, E.J.A., 2007.  
Hidrología Estadística. Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional Belo Horizonte.  
*Belo Horizonte, Brasil.*
- PAOLI, C., CACIK, P. Y BOLZICCO, J., 1991.  
Manual del programa AfMulti.  
*Convenio Agua y Energía Eléctrica - Facultad de Ingeniería y Ciencia Hidricas, UNL, 46 pp. Santa Fe.*
- PILAR, J., DEPETTRIS, C. Y BRONER, S., 2002.  
Estimación de la PMP en la cuenca del río Negro (Chaco).  
*XXI Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, Córdoba.*
- TUCCI, C.E.M., 1997.  
Hidrologia. Editora da UFRGS,  
*Porto Alegre, Brasil.*
- TUCCI, C.E.M., 2002.  
Regionalização de Vazoes.  
*Editora da UFRGS, Porto Alegre, Brasil.*



## Elaboración del mapa de usos del suelo para los cierres previstos sobre el río Colorado provincia de La Pampa y Río Negro - República Argentina

Rodríguez, Karina Mónica ✉ - Celli, Alejandro Emmanuel - Reynal, Héctor Raúl

Recibido: 30 de octubre de 2009 • Aceptado: 02 de mayo de 2011

### Resumen

*El objetivo del presente trabajo consistió en determinar, a través de herramientas de teledetección y trabajo de campo, el uso del suelo dado a la zona de influencia de los cierres previstos entre Casa de Piedra y Salto Andersen a lo largo del río Colorado, obras cuya finalidad es la de generar recursos hidroeléctricos y de riego.*

*Los estudios, financiados por el Consejo Federal de Inversiones, se encuentran aún a nivel de inventario a excepción del cierre de Huelches, que se halla a nivel de Prefactibilidad.*

*La caracterización del área de estudio permitió elaborar un mapa de uso del suelo y cobertura vegetal en base a la adaptación de la Clasificación para el proyecto de ocupación del suelo de España (CORINE - Land Cover 2000), donde se tomaron dos grandes grupos: (A) Suelos productivos y (B) Suelos improductivos, ambos con 5 categorías a saber: para el primero (1) zonas de uso agrícola; (2) de uso forestal; (3) de praderas; (4) de vegetación de áreas húmedas continentales; (5) superficies de aguas. Para el segundo grupo: (6) superficies edificadas e infraestructuras; (7) obras de ingeniería, industriales y de transportes; (8) zonas de extracción minera, vertederos y de construcción; (9) zonas verdes no agrícolas; (10) espacios abiertos con vegetación joven a nula. Todas las categorías presentan unidades de menor jerarquía.*

*De la cartografía obtenida resulta evidente que el desarrollo de dichas categorías está en función del hecho de que el río Colorado, según Linares et. al (1980), atraviesa en el tramo en cuestión tres ambientes geológicos diferentes: Sierras Pampeanas hacia el este; Sanrafaelino Pampeana en el sector central y Cuenca Neuquina al oeste.*

**Palabras clave:** Usos del suelo, Cobertura vegetal, Teledetección, CORINE Land Cover.

### Abstract

*This work consisted of determining, across teledetection tools and field work, the land use of the areas that would be affected by the dams planned between Casa de Piedra and Salto Andersen, along Colorado River, whose purpose is to generate hydroelectric resources and irrigation.*

*The studies, financed by Consejo Federal de Inversiones, are still in an inventory level with the exception of Huelches axis, which is in a Prefeasibility level.*

*The characterization of the area allowed us to elaborate a map of land use and vegetal coverage, based on an adaptation of the Classification used on the soil occupation project in Spain (CORINE - Land Cover 2000), where two groups were considered: (A) productive Soils and (B) unproductive Soils, with five categories each; for the first one: (1) Agricultural usage*

✉ kmrgeoconsult@gmail.com

zone; (2) Forestall; (3) Meadows; (4) Humid continental vegetation; (5) Water surfaces. For the second one: (6) Built-up surfaces and infrastructures; (7) Building sites, industrial and transport zones; (8) Mining, dumping and construction; (9) Green non-agricola zone; (10) Open space with young or none vegetation. All the categories present minor hierarchical units.

From the obtained cartography, it results evident that the development of those is in function of the fact that Colorado River, according to Linares et. al (1980), crosses in the section of matter, three different geologic environments: Sierras Pampeanas on the East; Sanrafaelino Pampeana on the middle and Cuenca Neuquina on the West.

**Keywords:** Land use, Vegetal coverage, Teledetección, CORINE Land Cover.

## INTRODUCCIÓN

La caracterización preliminar del uso del suelo y cobertura vegetal se puede realizar a partir de la información que proveen tanto las imágenes satélites, mediante estudios multispectrales y pancromáticos, como las fotografías aéreas que permiten, entre otras cosas, clasificar dicha información.

A través de técnicas de análisis con softwares como ENVI 4.5 se puede diferenciar la cobertura natural, íntimamente relacionada con la topografía, geomorfología y suelo, de la antrópica por su disposición espacial y respuesta espectral, pudiéndose agrupar en una primera etapa en diversas categorías, a través de la *Clasificación Supervisada*, herramienta que presenta el programa.

Caracterizar el uso del suelo del área de estudio mediante teledetección precisó combinaciones de bandas, coeficientes, algoritmos matemáticos e índices de vegetación, que permitieron discriminar diferentes tipos de cubiertas debido a su comportamiento radiométrico particular. En especial la firma espectral que posee, por ejemplo, la vegetación en las bandas que captan las longitudes de onda del visible e infrarrojo medio y cercano, depende de la especie y su estado de salud. Si se trata de rocas, suelos e incluso áreas urbanizadas u obras ingenieriles, su respuesta dependerá para cada banda del tipo de litología que se trate, composición química, grado de alteración, cohesión de los materiales, entre otros, lo cual no sólo conferirá una coloración especial, sino también una textura particular a la imagen ya sea evaluada individualmente o en una combinación RGB.

## OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo consistió en realizar un mapa de usos y cobertura del suelo para cada uno de los cierres propuestos a lo largo de la zona de estudio, en escala 1:50.000, bajo una categorización común, para lo cual se adaptó la Clasificación para el proyecto de ocupación del suelo en España (*CORINE - Land Cover 2000*), utilizando técnicas de teledetección y trabajo de campo.

## METODOLOGÍA

Se ha utilizado los datos correspondientes a los satélites Landsat 5TM, evaluando las imágenes de fechas 1987/02/20, 1988/12/24 y 2008/02/14, obtenidas del sitio web de la Universidad de Maryland los dos primeros, y de CONAE el tercero; y Landsat 7 ETM+ de fecha 2004/02/12, también de la Universidad de Maryland. Como apoyo se ha utilizado en el ámbito de estudio material del Google Earth.

Respecto al procesamiento de las imágenes se ha trabajado con el programa ENVI 4.5, realizando innumerables combinaciones RGB para obtener aquellas más exitosas, siendo estas las combinaciones multispectrales color natural RGB 321 y

las falso color: RGB 421, RGB 453, RGB 432 RGB 754 y RGB 742. A partir de las mismas fue posible distinguir los sectores productivos de los improductivos, los sectores con intervención antrópica, los diferentes tipos de coberturas y, dentro de las vegetales, agrupar las mismas en aquellas utilizadas para el cultivo y en las que la vegetación natural domina en mayor o menor medida el paisaje.

Respecto de las imágenes pancromáticas, es la banda 8 de Landsat7 ETM+ la que capta la reflectancia de energía del espectro visible e infrarrojo cercano, lo cual permite obtener en una única banda mayor información. La resolución espacial es de 15 m., por lo que la fisiografía del terreno se define mejor que en cualquier otra de sus bandas o combinación de ellas aunque se pierde parte de otro tipo de información, como ser aquella que es identificable en un rango acotado del espectro, por ejemplo, litología. Aunque se ha trabajado con las imágenes pancromáticas sin modificar, se han ajustado contrastes y utilizado filtrados para realzar rasgos de interés.

En la identificación de la vegetación se utilizó el cociente de la banda roja del espectro visible y el infrarrojo cercano, así como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI), que permite identificar distintos tipos de poblaciones vegetales y grado de stress, dado que este índice está ligado a la actividad fotosintética de la vegetación, variando entre -1 y 1. El hecho de utilizar la reflectividad obtenida en la imagen sin las correcciones atmosféricas y topográficas no invalida el valor de este método, aunque cabe destacar que el mismo es relativo; sin estas correcciones no es posible establecer un valor físico. Cuando la población vegetal es sana, se observa en el espectro visible la absorción de la radiación solar mientras que refleja la misma en el infrarrojo cercano, por lo que los colores del índice NDVI varían en función de esta circunstancia, así como de la especie, de su abundancia y edad.

Se tomó la fórmula propuesta por Rouse et al. (1974),  $(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ , procesándose con el programa ENVI 4.5. Para realzar la respuesta ofrecida por el algoritmo matemático, se generó una combinación RGB donde la banda TM3 es colocada en el canal rojo y la banda TM1 en el canal azul, puesto que en las mismas la vegetación ofrece baja reflectividad. De esta manera las áreas verdes señalan una cubierta vegetal densa y sana con valores de NDVI altos, mientras que las áreas con NDVI bajos, próximos a -1, se presentan en color magenta y señalan suelo desnudo o recientemente arado. En el área evaluada, la coloración borraquina exhibe la vegetación de monte.

La clasificación supervisada, tal como la palabra lo indica, consiste en clasificar la información en nuevos objetos en base a la información de una muestra ya clasificada.

A partir de un conjunto de clases conocido a priori, se caracteriza en función de las variables a nuevos individuos, que

en este caso corresponden a valores del número digital (ND), a los que se les asigna una clase de pertenencia.

La delimitación de los grupos espectrales se logra partiendo de una similitud entre píxeles, para lo que se toma la distancia mínima euclidiana (Chuvienco 1996). Aunque esta metodología es altamente exitosa no siempre es exacta, puesto que pueden presentarse áreas con píxeles asignados a dos o más clases, debido a que la respuesta espectral es similar, de allí que el estudio previo de diversas combinaciones de las imágenes multispectrales permite salvar este inconveniente.

Las diferentes clases arrojadas por el programa se completaron con fotografías aéreas de los relevamientos del IGM, corridas del año 1968 en escala 1:75000, y fotografías color de COIRCO del año 2005, en escala aproximada de 1:20.000. Además se consultó bibliografía, en particular del INTA (1990), para conocer el tipo de cobertura vegetal de la región.

La clasificación supervisada fue ajustada con relevamientos de campo a lo largo de ambas márgenes del río Colorado, entre Casa de Piedra y Salto Andersen, a través de un vuelo en avioneta llevado a cabo el 28 de agosto de 2008, con controles terrestres puntuales.

Por último la información corregida con los datos de campo se volcó en el programa Autocad 2008, donde se confeccionaron los mapas.

#### GENERALIDADES

El área bajo estudio corresponde a la zona comprendida entre el Dique Casa de Piedra y Salto Andersen a lo largo del Río Colorado, analizando las márgenes norte, perteneciente a la Provincia de La Pampa y sur, Provincia de Río Negro.

Se trata de una zona semiárida, con precipitaciones medias anuales cercanas a los 300 mm.

El caudal medio del río Colorado, en el tramo estudiado, es de unos 110 m<sup>3</sup>/s, y se encuentra regulado por el dique Casa de Piedra, por lo que las fluctuaciones en su nivel se encuentran acotadas la mayor parte del año.

Los cierres previstos se pueden agrupar según las tres provincias geológicas en las cuales se emplazan, cuyas características litológicas pueden apreciarse en la Figura 1.

Al este, los cierres ubicados en la prolongación austral de las Sierras Pampeanas (Linares et al. 1980): CPCH, Pichi Mahuida 1, Curacó, Pichi Mahuida 2. Aquí se observan por un lado afloramientos de rocas pertenecientes al basamento cristalino, tales como metamorfitas de bajo grado proterozoicas (filitas, esquistos, anfíbolitas y calizas) y granitos ordovícicos, y por el otro, materiales de coberturas correspondientes a depósitos aluviales actuales, antiguos disectados y terrazas del Río Colorado, de relieve llano, donde se han implantado pasturas y cultivo de cebolla, con equipos de riego mecanizados y a presión.

El sector central corresponde a la provincia geológica Sanrafaelino-Pampeana, también denominada Bloque de Las Mahuidas (Ramos y Cortés 1984), cuyos afloramientos pertenecen a un plateau ignimbrítico - riolítico de edad permo triásica. Aquí los cierres denominados Fortín Uno y Santo Tomás se asientan sobre materiales de cobertura iguales a los anteriormente descritos mientras que entre El Chivero y Huelches I y II el río corre encajonado entre las vulcanitas.

Por último, hacia el oeste los cierres La Moravia, La Japonesa 1 y 2, El Milagro y La Correntada se desarrollan sobre la Cuenca Neuquina. La misma está conformada por sedimentos

cuya edad va del Mioceno a la actualidad. En general la litología está representada por rocas débiles y sedimentos friables que varían desde limoarcillas, calizas, arenas finas a gruesas hasta gravas, conglomerados de vulcanitas y abundante contenido en yeso, siendo el registro sedimentario de depósitos fluviales actuales y antiguos cauces del Río Colorado, niveles de terrazas asociados, lagos y lagunas, así como depósitos glaci-fluviales y de pedimentación. En este último caso, todos los cierres se localizan sobre la planicie de inundación actual del valle del Río Colorado, cuyo hábito adquiere características meandriformes debido a la horizontalidad del área, observándose que entre el cierre El Milagro y la localidad de Gobernador Duval disecta una antigua planicie de inundación, donde es importante la presencia de paleocanales, mientras tiende a encajonarse entre las bardas que se hallan en ambas márgenes del tramo comprendido entre los cierres de La Japonesa y Moravia. En particular este sector es productivo con potencialidad para el riego, dedicado en estos momentos a la ganadería extensiva y cultivos de pasturas destinados a mantener tales emprendimientos, además del cultivo hortícola.

#### TIPO DE VEGETACIÓN

La vegetación en el área de estudio puede zonificarse según su distribución e importancia areal del siguiente modo:

- 1- Zona de vegetación de planicies
- 2- Zona de vegetación de áreas anegadizas
  - a. Zona de forrajeras naturales
  - b. Zona de chacras cultivables
- 3- Zona de vegetación de serranías

Es importante destacar que todas las imágenes con las que se trabajó son de verano para todos los años analizados (1987, 1988, 2004 y 2008), por lo que la vegetación que aquí se cita corresponde a ese período.

Bajo este esquema puede establecerse que la Zona 1 está compuesta por: jarilla, piquillín alpataco y chilladora, dispuesta en montes abiertos y bajos, dado que la jarilla no supera los 3 m. de altura. Respecto a las forrajeras naturales herbáceas, se destacan el pasto cesposo, plumerillo, gramilla cuarentona, pasto plateado y cola de zorro.

La Zona 2 se halla asociada a las márgenes de los ríos Colorado y Curacó y sectores anegadizos vinculados con los mismos, donde las especies arbustivas para el Subgrupo a. están representadas por zampa, jarilla, alpataco y piquillín, mientras que entre las herbáceas forrajeras se distinguen el plumerito y la cola de zorro. El Subgrupo b. corresponde a chacras y estancias emplazadas en la planicie aluvial del río Colorado, siendo algunas de las chacras asistidas por riego. Los cultivos son hortícola, cerealero, de aromáticas y forrajeras implantadas, así como montes frutales y forestales o cultivos mixtos.

En la Zona 3, las especies arbustivas están representadas por: jarilla, piquillín alpataco, llaollín y chilladora, mientras las forrajeras naturales por pasto cesposo, cola de zorro, olivillo y falso tomillo.

Por último la ganadería, vinculada íntimamente a la vegetación, es extensiva para los tres sectores, con cría de bovinos, ovinos y caprinos.



## DISCUSIONES Y RESULTADOS

En base a la metodología previamente citada se determinaron las clases temáticas. Para ello se adaptó a las condiciones del área de estudio la clasificación para el proyecto de ocupación del suelo de España (*CORINE-Land Cover*) con un nivel de detalle alto, dando como resultado la siguiente clasificación:

Clasificación de Ocupación del suelo:

### A- Productivos

1. Zonas de uso agrícola
  - 1.1. Tierras de labor
    - 1.1.1. Cultivos (chacras y chacras bajo riego)
    - 1.1.2. Suelo desnudo (material de cobertura o suelo arado).
    - 1.1.3. Suelo arado con áreas de barbecho.
  - 1.2. Zonas agrícolas heterogéneas
    - 1.2.1. Mosaico de cultivos.
    - 1.2.2. Terreno principalmente agrícola con espacios de vegetación natural.
    - 1.2.3. Terreno agrícola con importantes espacios de vegetación natural.
2. Zonas de uso forestal
  - 2.1. Bosques
    - 2.1.1. Presencia de especies arbóreas.
    - 2.2. Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea
      - 2.2.1. Campos de arbustal (zampal, matorral y matorral subdesértico) denso a medianamente denso.
      - 2.2.2. Campos de arbustal (zampal, matorral y matorral subdesértico) poco denso a escaso.
3. Zona de Praderas
  - 3.1. Pastizales naturales (pampa).
4. Zona de vegetación de áreas húmedas continentales
  - 4.1. Vegetación asociada a sectores húmedos (aguas poco profundas y sectores anegadizos).
5. Superficies de aguas
  - 5.1. Cursos de agua.
    - 5.1.1. Ríos, cauces naturales y sectores anegadizos.
    - 5.1.2. Lagunas, arroyos y cuerpos de agua someros (meandros recientemente abandonados).
    - 5.1.3. Canales artificiales.

### B- Improductivos

6. Superficies edificadas e infraestructuras
  - 6.1. Zona urbana laxa (pequeños poblados)
  - 6.2. Área de establecimientos rurales (estancias, áreas con edificaciones sencillas dispersas, puestos, etc.)
7. Zonas con obras de ingeniería, industriales y de transportes.

7.1. Zonas con obras de ingeniería e industriales

7.2. Redes Viales

7.2.1. Rutas

7.2.2. Caminos principales.

7.3. Red ferroviaria

8. Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción

8.1. Área de laboreos

9. Zonas verdes no agrícolas

9.1. Zonas verdes urbanas

10. Espacios abiertos con vegetación joven a nula

10.1. Zona de afloramientos rocosos

10.2. Zona de delimitación de paleocauces aflorantes.

10.3. Zona de depresiones y salinas

10.4. Zona con áreas quemadas

En base a la combinación RGB 421 de Landsat 5TM del 14/02/2008, se confeccionaron los mapas de usos de suelo y cobertura vegetal (ver Cartografía de la Zona de Cierres - Figuras 2 a 14), cuyas referencias hacen alusión a la Clasificación anteriormente citada.

## CONCLUSIONES

La metodología aplicada constituye una poderosa herramienta a la hora de elaborar mapas de usos del suelo y cobertura vegetal, obteniéndose resultados preliminares altamente consistentes con los controles de campo, de tal forma que no se presentó la necesidad de reajustar las categorías de la Clasificación adoptada.

La utilización de imágenes satelitales y fotografías aéreas para estimar el uso del suelo permitieron en primera instancia obtener una idea acabada del área a relevar, lo cual disminuyó notablemente el tiempo y los costos de la salida de campo, de la misma forma que permitió adaptar la clasificación CORINE Land Cover para la zona de estudio en gabinete.

El nivel de detalle de desagregación menor que escapa a la resolución ofrecida por las imágenes satelitales (incluyendo la utilización de la banda pancromática) fue cubierto con la fotointerpretación.

En particular las imágenes Landsat permitieron, desde las diversas combinaciones RGB y el índice NDVI, una alta precisión en la caracterización de las cubiertas vegetales.

Es importante destacar que el presente constituye un estudio preliminar, ya que los datos serán posteriormente volcados a un SIG (Sistema de Información Geográfica), para que sean analizados con otras variables del estudio de Prefactibilidad para los cierres propuestos.

Constituye, además, una base sólida para detectar a futuro la intensidad de cambio del territorio, es decir, el menor o mayor grado de dinamismo que puede devenir de la implementación de las obras hidroeléctricas y de riego, con lo cual podría manejarse un ordenamiento territorial acorde a las características del medio físico y una buena elección de sitios para urbanizar, con todas las actividades que esto conlleva.

ESQUEMA GEOLÓGICO REGIONAL

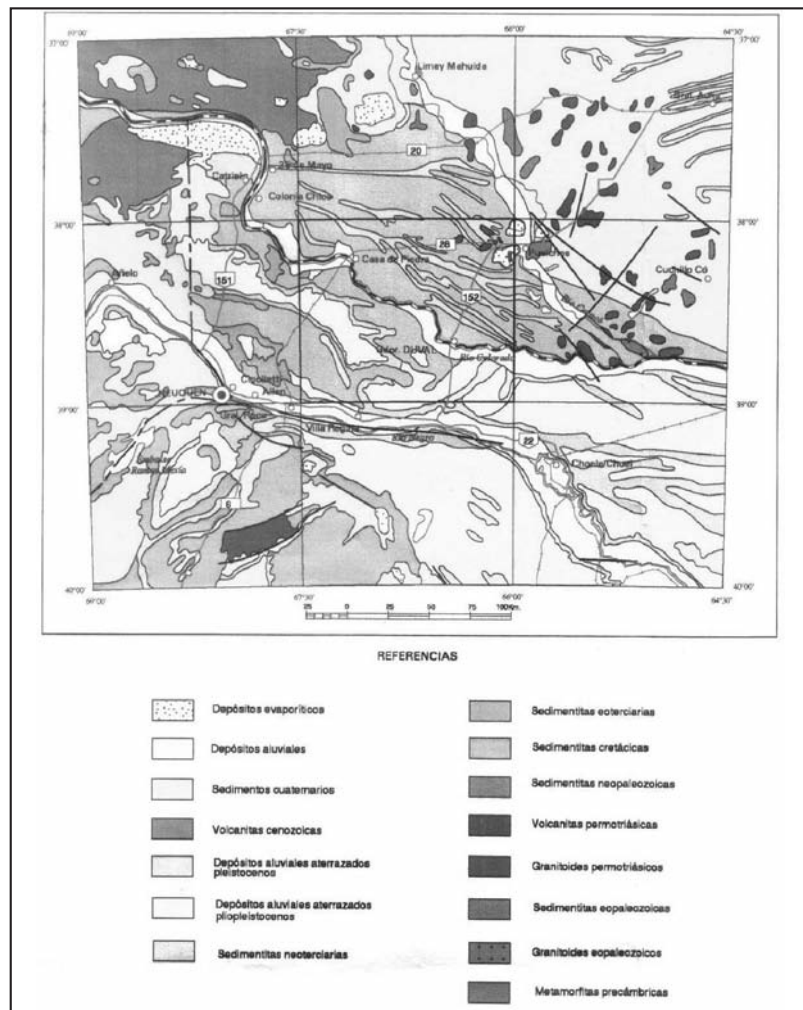


Figura 1. Geología general del área. Extraído de Espejo y Silva Nieto (1996).

CARTOGRAFIA DE LA ZONA DE CIERRES - Provincia Geológica Sierras Pampeanas

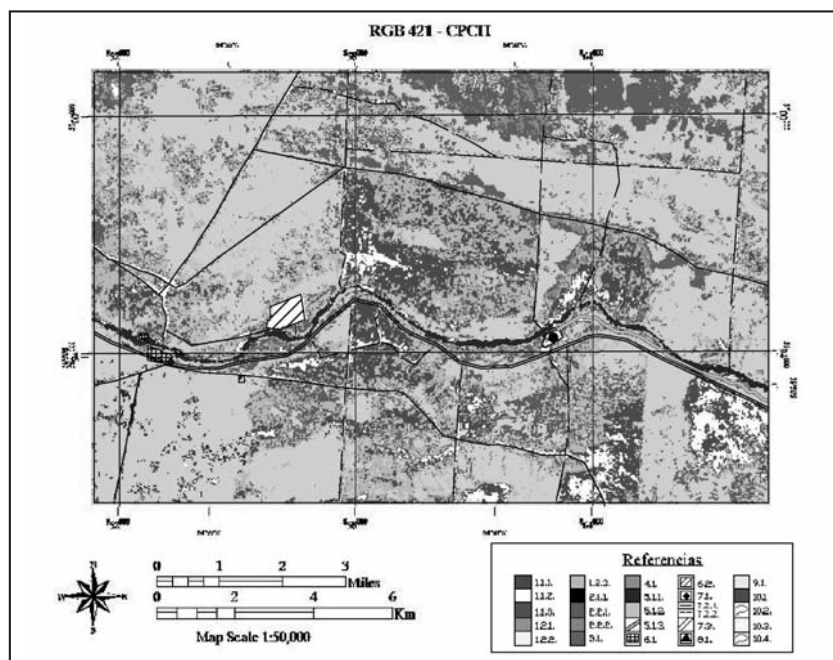


Figura 2. Cierre CPCH.

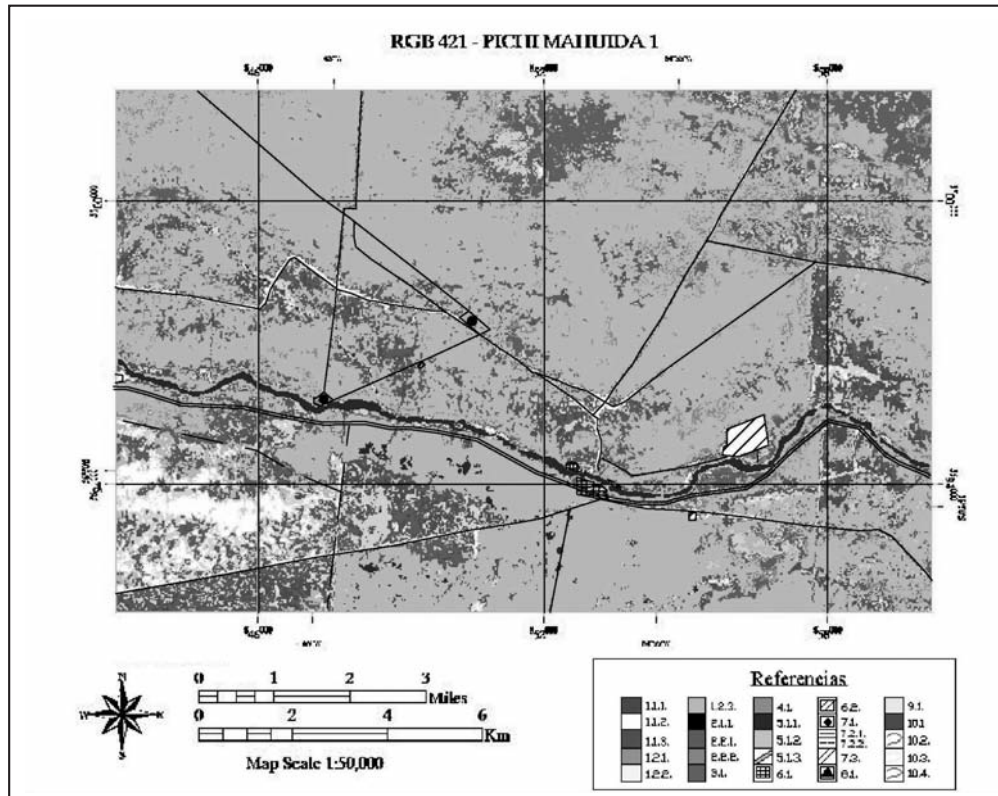


Figura 3. Cierre Pichi Mahuida 1.

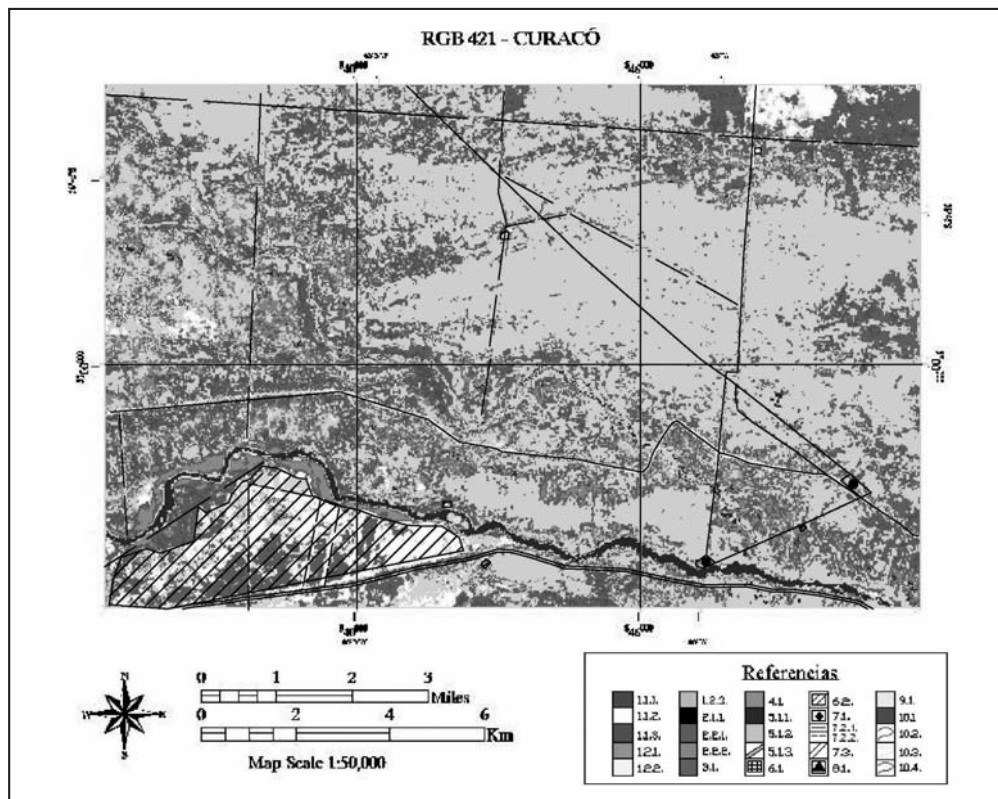


Figura 4. Cierre Curacó.



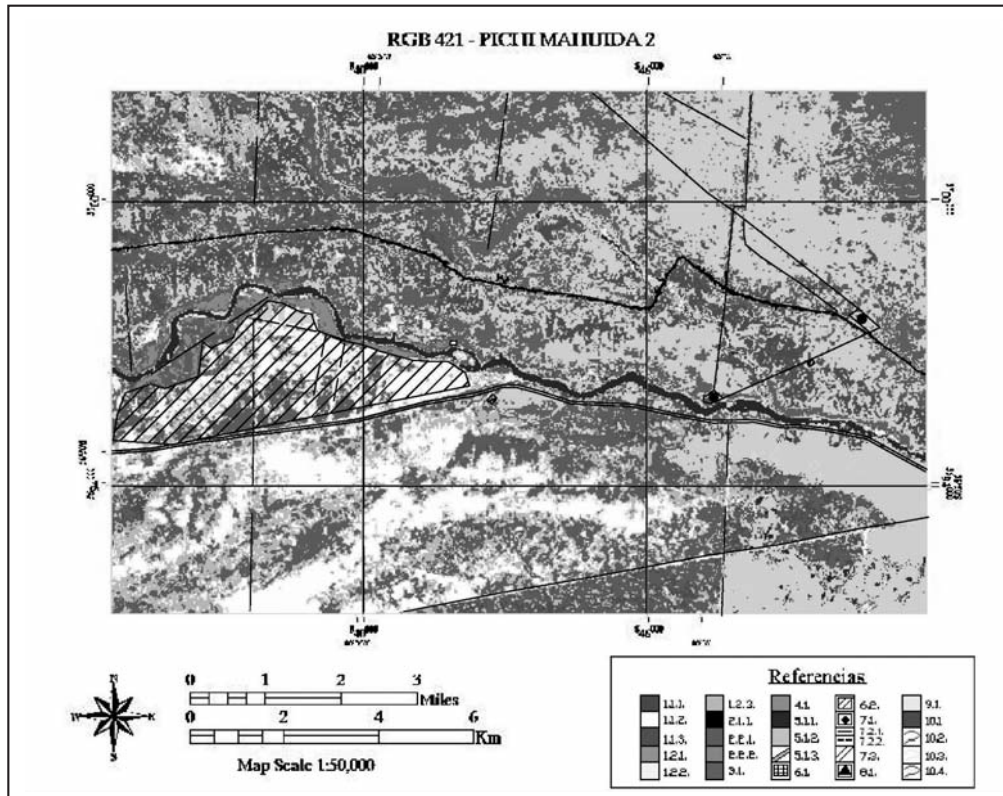


Figura 5. Cierre Pichi Mahuida 2. Provincia Sanrafaelino-Pampeana o Bloque de Las Mahuidas

Provincia Sanrafaelino-Pampeana o Bloque de Las Mahuidas

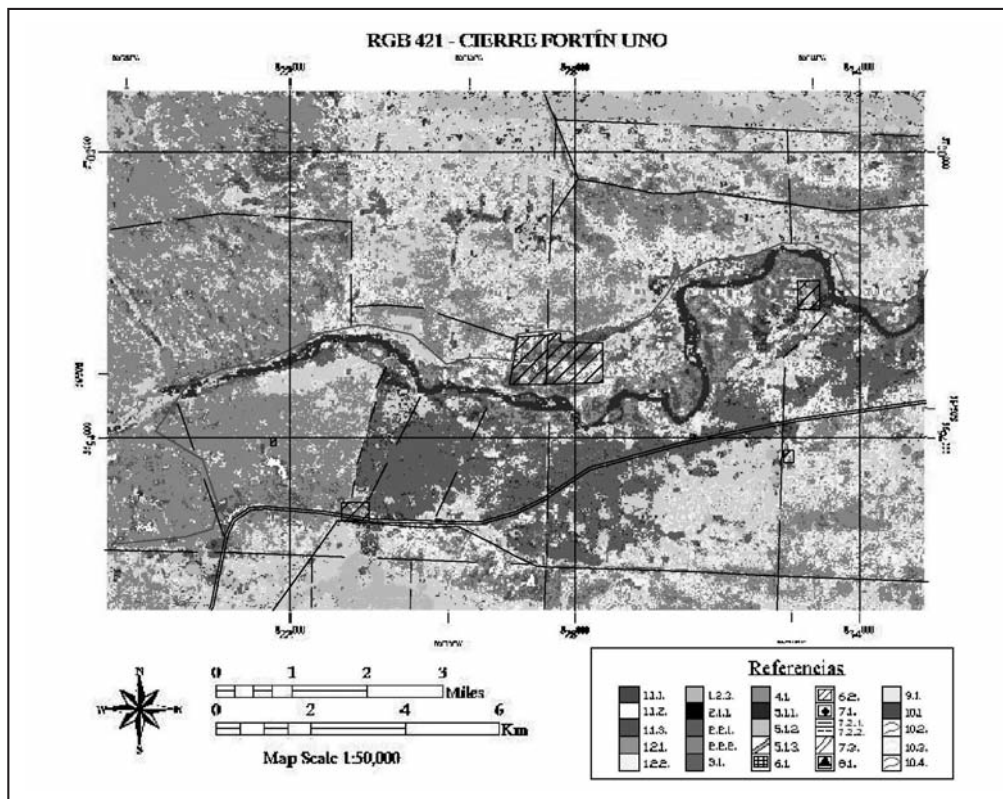


Figura 6. Cierre Pichi Mahuida Fortin Uno.



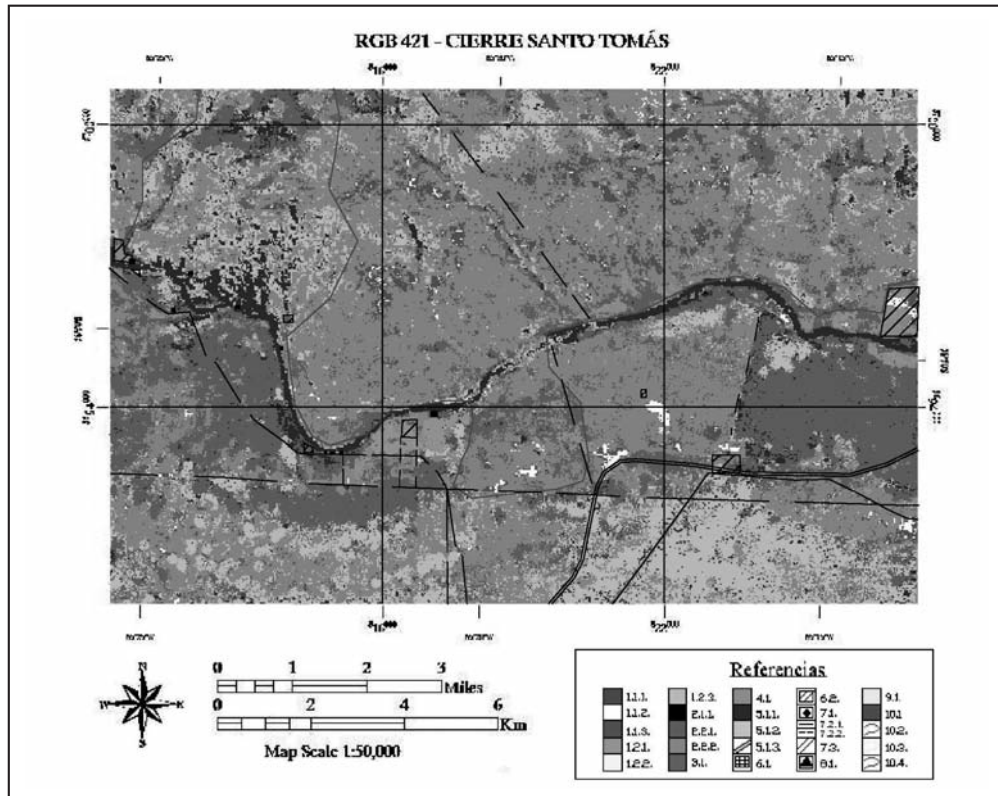


Figura 7: Cierre Santo Tomás.

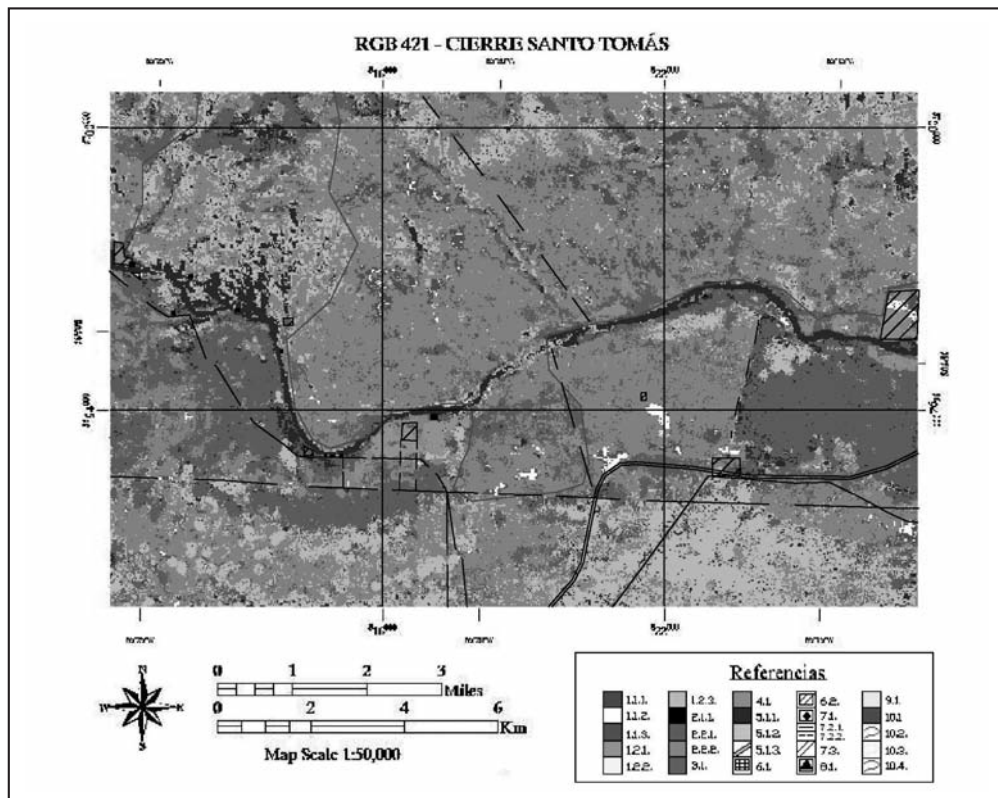


Figura 8. Cierre El Chivero.

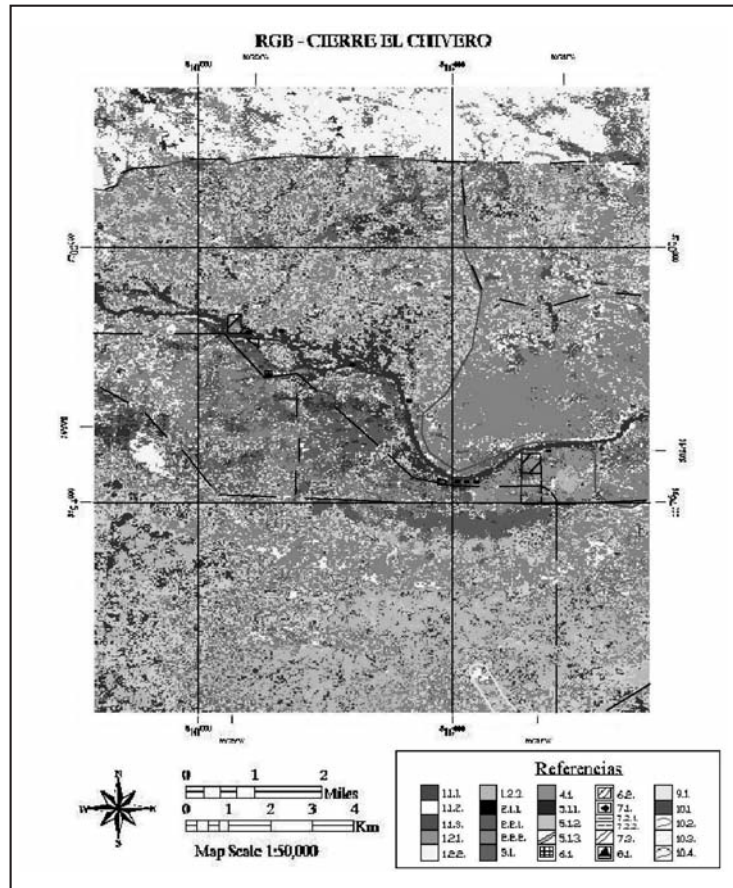


Figura 9. Cierre Huelches.

Cuenca Neuquina

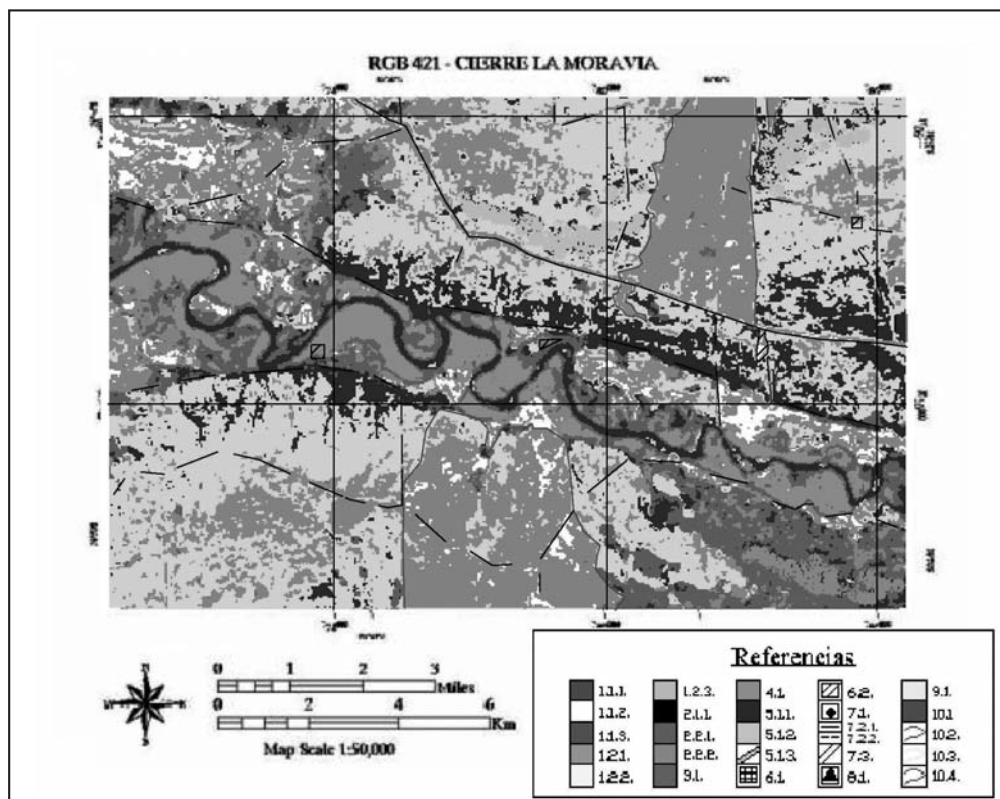


Figura 10. Cierre La Moravia.



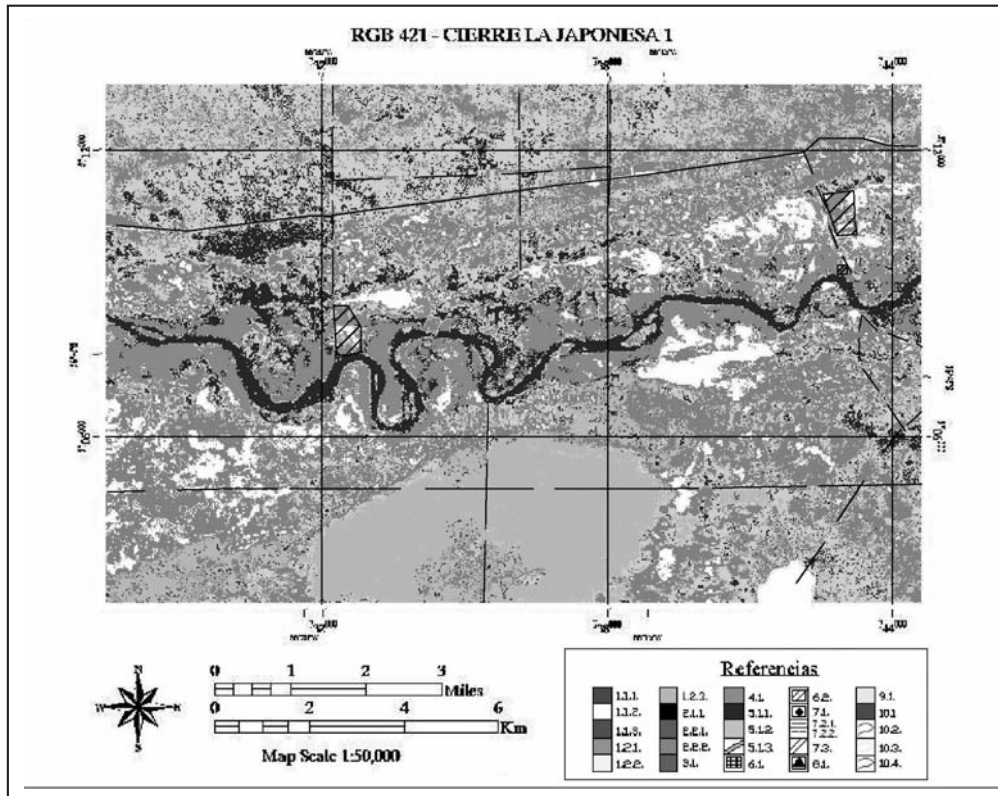


Figura 11. La Japonesa 1.

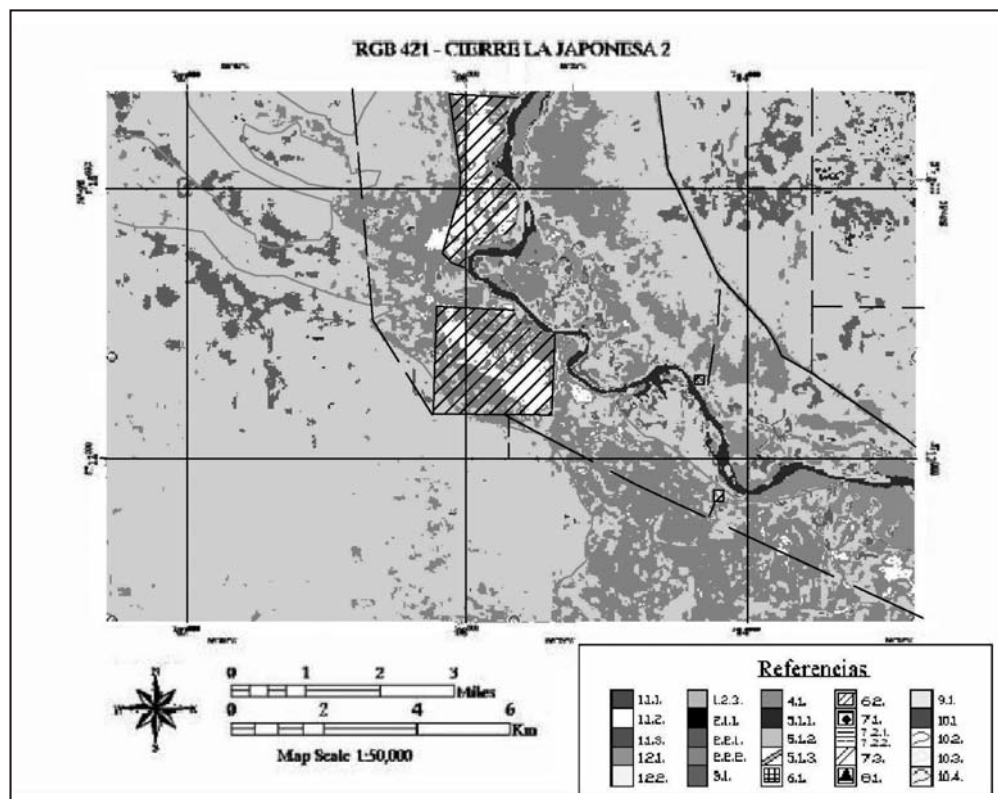


Figura 12. Cierre La Japonesa 2.

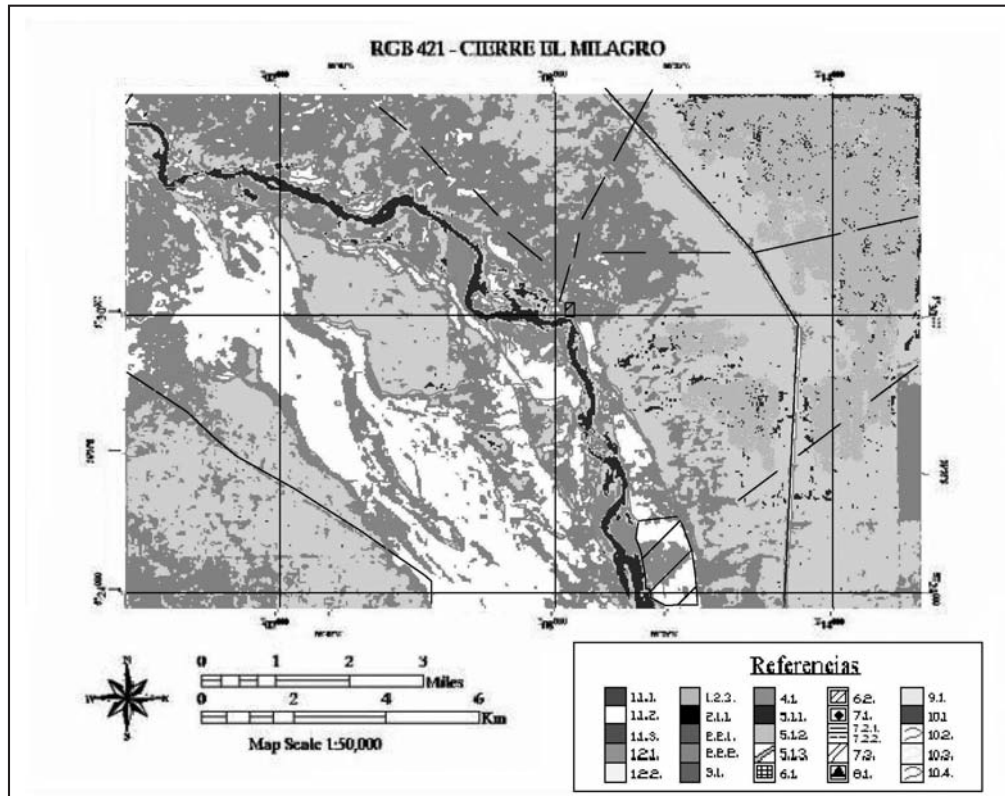


Figura 13. Cierre El Milagro.

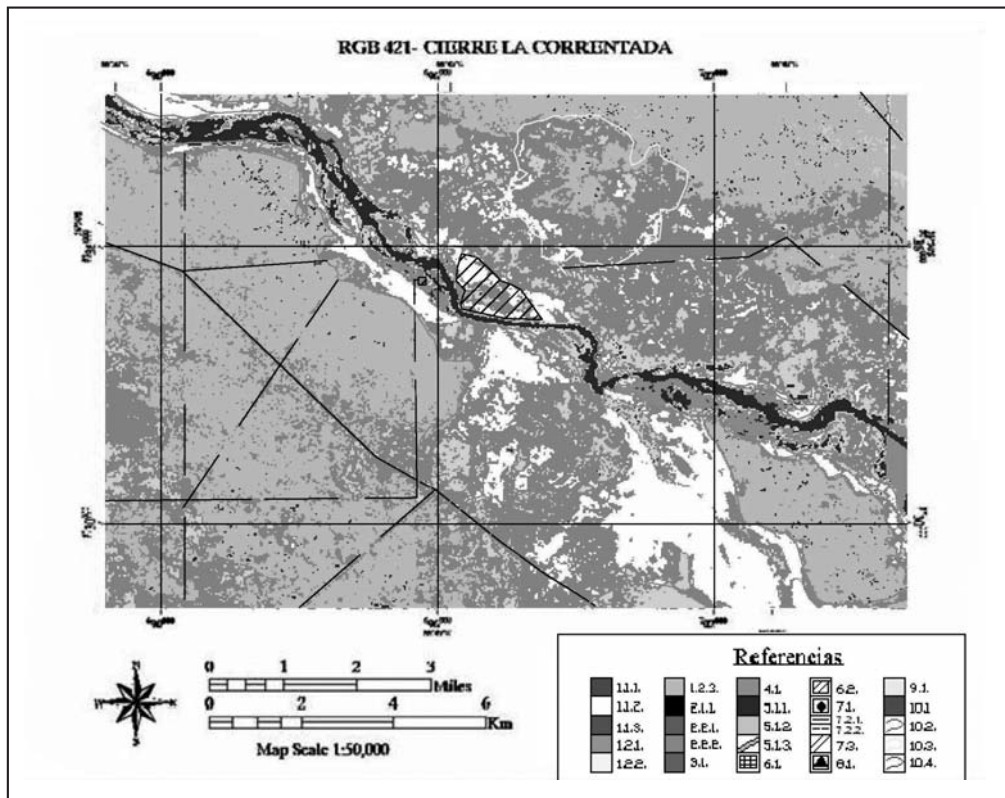


Figura 14. Cierre La Correntada.



## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CEC, 1993. CORINE  
Land Cover, guide technique. Report EUR 1285EN.  
*Office for Publications of the European Communities. 144 pp. Luxemburgo.*
- CHUVIECO, E., 1985.  
Aportaciones de la teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo.  
*Anales Universidad Complutense de Madrid. Revista Geografía 5: 29-48. España.*
- CHUVIECO, E. 1996.  
Fundamentos de teledetección espacial.  
*3a ed. Revisada. Rialp, S.A. 568 pp. España*
- CHUVIECO, E., 2002.  
Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio.  
*1º ed. Ariel Ciencia. España.*
- CONAE, 2008.  
Imágenes Landsat 5 TM.
- DI SALVO, C., RODRÍGUEZ, K., CELLI, A., 2008.  
Informe Geológico y Geotécnico de Inventario, Río Colorado, Prov. de La Pampa y Río Negro.  
*Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. Inédito.*
- ESPEJO, M. y D, SILVA NIETO, 1996.  
Hoja Geológica 3966-II. Puelches.  
*Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. SEGEMAR. Boletín N° 216.*
- INTA-SAGyP, 1990.  
Atlas de Suelos de la República Argentina.  
*Buenos Aires.*
- JENSEN, J.R., 2005.  
Introductory Digital Image Processing,  
*3rd Ed., Upper Saddle River, NJ. Prentice Hall, 526 pp.*
- JENSEN, J.R., 2007.  
Remote Sensing of the Environment:  
*An Earth Resource Perspective, 2nd Ed., Upper Saddle River, NJ. Prentice Hall, 592 pp.*
- LINARES, E., E. LLAMBÍAS Y C. LATORRE, 1980.  
Geología de la Provincia de La Pampa, R. A. y Geocronología de sus Rocas Metamórficas y Eruptivas.  
*Asociación Geológica Argentina. Revista XXXV (1): 87-146. Buenos Aires.*
- RAMOS, V. Y J. CORTÉS, 1984.  
Estructura e interpretación tectónica.  
*En: Ramos, V. (Ed.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro. IXº Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 317-346. Buenos Aires.*
- ROUSE, J.W., R.H. HAAS, JR., J.A. SCHELL, AND D.W. DEERING, 1974.  
Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.  
*En: Proc. ERTS-1 Symposium. 3rd, Greenbelt, MD. Vol. 1: 309-317. NASA SP-351. Estados Unidos.*
- UNIVERSIDAD DE MARYLAND, 1987.  
Imágenes Satelitales Landsat 5 TM.
- UNIVERSIDAD DE MARYLAND, 2004.  
Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+.
- WILBERGER WEBER, J.J. Y H.D. ESTELRICH. 2008.  
Tipos de Vegetación en La Pampa.  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/uso\\_cobertura/12\\_56.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/uso_cobertura/12_56.pdf)



## Geomorfología cuantitativa aplicada a la identificación de áreas de recarga preferenciales en la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires (Argentina)

Quiroz Londoño, Orlando Mauricio <sup>1</sup> - Martínez, Gustavo Adolfo <sup>1</sup> - Massone, Héctor Enrique <sup>1</sup> - Martínez, Daniel Emilio <sup>2</sup>

Recibido: 06 de abril de 2011 • Aceptado: 11 de mayo de 2011

### Resumen

*La llanura pampeana de la Argentina es una vasta planicie dedicada esencialmente a la agricultura. Esta actividad depende en gran medida de la calidad y disponibilidad del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo. El ciclo hidrológico en este tipo de paisajes está influenciado por dos aspectos: una baja pendiente y el predominio de los procesos de infiltración y evaporación. El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre algunos parámetros de la geomorfología cuantitativa y su utilidad para identificar posibles áreas de recarga preferencial a acuíferos en áreas de llanura. Para esto, fueron analizadas tres cuencas de la Llanura interserrana bonaerense. Este estudio muestra que, aplicando un conjunto de técnicas geomorfológicas, asociadas al análisis hidrogeológico tradicional y técnicas de teledetección y SIG es posible identificar áreas con mayor probabilidad de recarga, mejorando de esta manera modelos conceptuales y matemáticos que apunten a la gestión del recurso hídrico.*

**Palabras claves:** Llanura pampeana, geomorfología cuantitativa, SIG.

### Abstract

*The Pampa plain of Argentina is a vast area mostly devoted to agriculture. This activity is largely dependent on the quality and availability of hydric resources both surface water and groundwater. Hydrological cycle in these landscapes present peculiar features, showing little changes in slope and dominance of infiltration and evaporation processes. The goal of this paper is the application of quantitative geomorphologic data as indicators of aquifer preferential recharge areas in flat environments. In this sense, three catchments of the Interrange Plain were analyzed. This study shows the importance of applying a set of geomorphological techniques associated to traditional hydrologic analysis, remote sensing and GIS, in order to improve recharge area identification. To summarize, the obtained results could enhance conceptual and mathematical models in plain areas, both useful tools for hydric resource management.*

**Keywords:** Pampa plain, quantitative geomorphology, GIS.

<sup>1</sup> Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata. Casilla de Correo 722, (7600), Mar del Plata, Argentina. Tel. +54 223 4754060

<sup>2</sup> CONICET. Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata. Casilla de Correo 722, (7600), Mar del Plata, Argentina. Tel. +54 223 4754060

kmrgeoconsult@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Los estudios clásicos de sistemas hidrológicos se enfocan en caracterizar el volumen total de agua evacuado por las cuencas y cómo este proceso se distribuye en el tiempo. Para esto, se han establecido índices que relacionan las características físicas de la cuenca, prácticamente estáticas, y las características hidrológicas de la zona, altamente dinámicas. Dichos índices permiten definir la interacción entre las características geológicas y geomorfológicas, y los patrones físicos superficiales, definiendo de manera cuantitativa la posible respuesta de la cuenca ante un escenario hidrológico. Un ejemplo de esto son los trabajos desarrollados por *Vogt et al.* (2003), *Groham* (2004) y *Lin y Oguchi* (2004) en los cuales establecen relaciones entre las redes de drenaje y la pendiente de una zona y como estas intervienen en el comportamiento hidrológico de las cuencas.

La geomorfología cuantitativa que incluye los parámetros físicos de la red de drenaje incluidos en la geomorfología cuantitativa, derivan de los trabajos tradicionales de *Horton* (1945), *Strahler* (1952, 1957) y *Morisawa* (1957). Estos han sido utilizados para distintos objetivos que incluyen el análisis de comportamientos hidrológicos (*Madduma Bandara*, 1974). Los mismos permiten establecer diferencias entre cuencas con características similares. En la Argentina la utilidad de estas técnicas se han considerado en algunos trabajos, pudiendo mencionar entre otros, *Sala y Gay* (1981), *Marchetti* (1968), *Rabassa* (1977a, 1977b), *Tujchneider y Díaz* (1982), y *Cionchi* (1982, 1984). Estos autores realizan sus trabajos con el objetivo de clasificar las cuencas y determinar su grado de madurez geomorfológica.

En sistemas hidrológicos como los que se presentan en la llanura pampeana, definida por grandes extensiones de terreno, con leves cambios en la pendiente, una morfología eólica compuesta por materiales permeables, escasos cursos fluviales y donde los procesos de infiltración y evaporación son dominantes (*Zimmerman* 2004), los estudios que permitan establecer áreas con mayor grado de acumulación de agua en superficie pueden ayudar a mejorar modelos hidrológicos conceptuales y numéricos, especialmente en la determinación de zonas con mayor probabilidad de recarga preferencial.

Este trabajo pretende utilizar las características geomorfológicas de una región de la llanura interserrana bonaerense a fin de identificar zonas con mayor probabilidad de almacenamiento hídrico superficial y por ende mayor posibilidad de infiltración y recarga. Para ello se aplicaron técnicas de geomorfología cuantitativa, sistemas de información geográfica, hidrogeología y geología. Este análisis permite caracterizar el estado del sistema de drenaje así como inferir tendencias futuras en la respuesta hidrológica de las diferentes cuencas, pudiendo ser aplicadas en otras áreas de llanura.

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA

Las cuencas correspondientes a las cuencas de los Arroyos El Moro, Seco y Tamangueyú, se localizan Llanura Interserrana Bonaerense, en el sureste la provincia de Buenos Aires (entre 38°39'34" y 37°34'23" Sur y los 59°6'57" y 58°16'28" de longitud Oeste). Limita al norte con las Sierras de Tandilla, al sur con el Océano Atlántico, al Oeste con el Río Quequén Grande y al este con la leve divisoria que la separa de la cuenca del arroyo Malacara. (Figura 1). Su extensión es de 2620 km<sup>2</sup>, con una elevación máxima de 420 msnm.

En el área se pueden reconocer tres grandes unidades estratigráficas. Un Basamento Cristalino precámbrico que cons-

tituye la base de las sierras del Sistema de Tandilla. Constituido por metamórficas (Gneis, Anfibolitas y Migmatitas principalmente), diques básicos y granitoides (*Dalla Salda* (1999). Sobre este Basamento y en forma discordante se encuentra una Secuencia Silicoclástica del Paleozoico inferior (arenitas y sabulitas cuarzosas asociadas a niveles arenosos), denominada Formación Balcarce (*Amos et al.* (1972). En el tope de la secuencia estratigráfica se encuentra un Complejo Sedimentario Cenozoico, correspondiente a una cubierta de sedimentos cenozoicos, constituidos por sedimentos Pampeanos (Plioceno Inferior-Pleistoceno Superior) y Postpampeanos (Pleistoceno Superior - Holoceno) (*Frenguelli*, 1950). Estos sedimentos son los que conforman el acuífero más importante en la región. Los primeros con mayor extensión que los Postpampeanos, están constituidos principalmente por limos y en menor proporción por arenas y arcillas con cantidades variables de carbonato de calcio (Tosca). Los Sedimentos Postpampeanos, están constituidos por sedimentos arenosos, limosos, arcillosos y calcáreos de origen eólico retrabajados fluvialmente.

El clima de esta zona es clasificado como subhúmedo - seco, con nulo o pequeño exceso de agua a los efectos agronómicos y conforme a su eficiencia térmica, de tipo mesotermal "B2", (*Thorntwaite*, 1948) observando ciclos con escasas precipitaciones (periodo 1941-1960) con alternancia de periodos de alta precipitación (a partir del 70 hasta la actualidad). La temperatura media anual es de 14°C. La distribución de las precipitaciones presenta en general un incremento progresivo hacia el noreste de la zona, alcanzando valores variables entre 700 y 900 mm/año, *Kruse et al.* (1997). Las mayores precipitaciones se producen entre los meses de septiembre y marzo. La precipitación promedio para la zona fue calculada en 800 mm/año. *Varela y Teruggi* (2001). Los valores de evapotranspiración real calculados para el periodo comprendido entre los años 1961 y 1990, aplicando el método de Thorntwaite se estiman en 740 mm/año (*Kruse et al.* 1997).

En el área de estudio se identifican tres arroyos principales. Son cuerpos de agua de carácter intermitente y/o permanente de bajo caudal, que se originan en las sierras de Tandilla (Figura 1) y fluyen en dirección norte-sur. El Arroyo El Moro es intermitente en gran parte de su recorrido y solo en cercanías a su desembocadura en el Océano Atlántico, presenta un comportamiento de tipo ganador. El Arroyo Seco, que vierte sus aguas al río Quequén Grande, tiene una dirección general noreste-suroeste, es de tipo intermitente y sin cauce definido en su parte media. Por último el Arroyo Tamangueyú, de tipo permanente, colecta las aguas en el sector occidental de las sierras y las lleva hacia el Río Quequén Grande.

## METODOLOGÍA

Se construyó un Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de cartas topográficas del área elaboradas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), actualmente Instituto Geográfico Nacional, a escala 1:50.000. Para ello se utilizó el programa Arcview 3.2 (ESRI, extensión 3D Analyst). Se identificaron las cuencas de los principales arroyos y se trazaron las líneas de divisoria de aguas superficiales, siguiendo los lineamientos descritos por *Zimmerman* (2004). Se utilizaron el MDT y las curvas de nivel para realizar la reconstrucción de la red de drenaje. La identificación de los cursos de agua de primer orden resulta de aplicar el criterio de *Morisawa* (1957) extendiendo los cursos que aparecen en el mapa topográfico pendiente arriba hasta donde por lo menos dos curvas de nivel consecutivas lo

sugieran. De esta manera se trata de minimizar, como señala *Rabassa (1978)*, la arbitrariedad debida a razones de escala de las cartas o bien a razones subjetivas inherentes a la persona que realiza el trabajo.

El siguiente paso fue calcular la densidad de drenaje. Con respecto a la cuantificación de este parámetro, *Horton (1932,1945)* indica que la manera más simple y conveniente de expresarlo es mediante el cociente entre la longitud total de los cursos de agua de una cuenca (L) y el área total de la misma (A), siendo su magnitud Km/Km<sup>2</sup>. Se utilizó para este cálculo la herra-

mienta SIG. De igual manera fue calculado el mapa de pendientes a partir del MDT utilizando el algoritmo que por defecto posee este programa.

Los diversos cursos de agua fueron ordenados siguiendo la metodología propuesta por *Horton (1945)* y modificada por *Strahler (1953)*. Para analizar en detalle la composición y comportamiento de la red de drenaje en las diferentes cuencas, se realizó el análisis morfométrico de los cursos de agua. Dicho análisis se efectuó aplicando algunas de las leyes definidas por Horton para cuantificar geomorfológicamente una red hidrográfica.

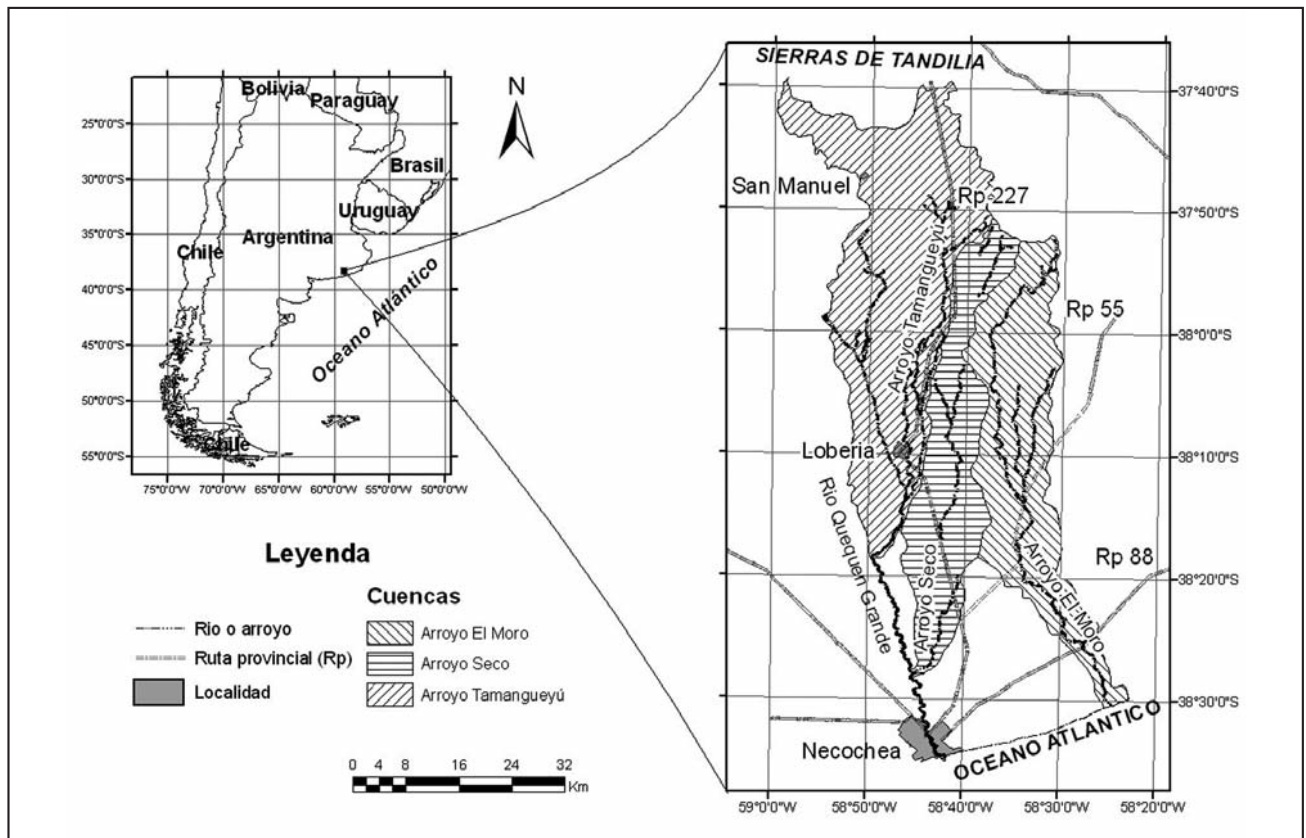


Figura 1. Mapa de Ubicación

La primera es la Relación de Bifurcación (Rb) que expresa la proporción existente entre el número de segmentos de un orden dado y el número de segmentos del orden inmediatamente superior, representando así el grado de ramificación de la red de drenaje. Para obtener una media ponderada de Rb para cada cuenca se adoptaron las consideraciones de *Schumm (1956)*, quien recomienda el uso del valor medio obtenido de multiplicar el Rb de cada par sucesivo de órdenes por el número total de cursos definidos en la cuenca.

La segunda ley, relaciona las longitudes medias (Rl), de los cursos de agua de cada orden usando una serie geométrica, en la cual el primer término es la longitud promedio de los cursos de primer orden. Para esta ley se aplicó el criterio de *Strahler (1979)*, quien considera que en lugar de las longitudes medias deben utilizarse las longitudes medias acumuladas.

La tercera ley de *Horton (1945)* también fue utilizada. Dicha ley expresa que existe una relación entre el gradiente medio del cauce (Rg) y su orden. Está definida por una serie geométrica inversa, en la que el primer término es la pendiente

media de los cursos de primer orden y cuya razón es la relación de pendientes.

Con objeto de evaluar el ajuste de estas cuencas a las diferentes leyes, se elaboraron gráficos X - Y que relacionan los valores reales y teóricos para cada caso. Se obtuvieron las ecuaciones de regresión y el valor de su coeficiente de correlación.

A fin de determinar la capacidad de almacenamiento hídrico en la red de drenaje se realizó el cálculo del parámetro Rho, el cual relaciona el índice bifurcación y el índice de longitud de drenaje.

## RESULTADOS

**Pendiente:** En la zona se encuentran pendientes que oscilan entre 0 y 51.25% (Figura 2). La pendiente media es de 0.871 con una desviación estándar de 3.53. El 83.87% del área posee pendientes menores al 1% (0.57°). Los valores altos de pendiente se restringen a los límites entre las zonas de llanuras y sierras, áreas dominadas por un fallamiento vertical de alto ángulo (*Frenguelli 1950*). Estos valores representan el 1.43% del total del área analizada (Figura 2).



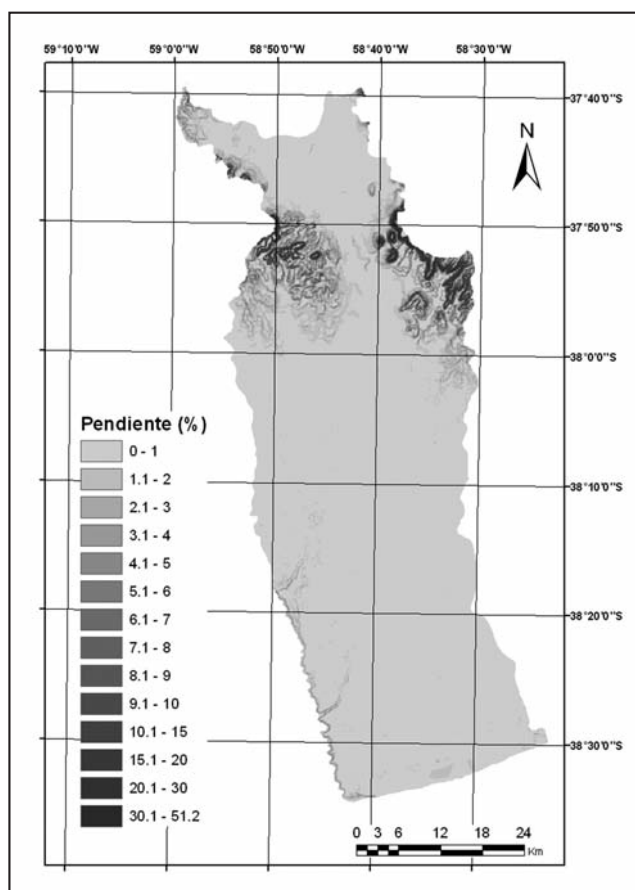


Figura 2. Mapa de pendientes

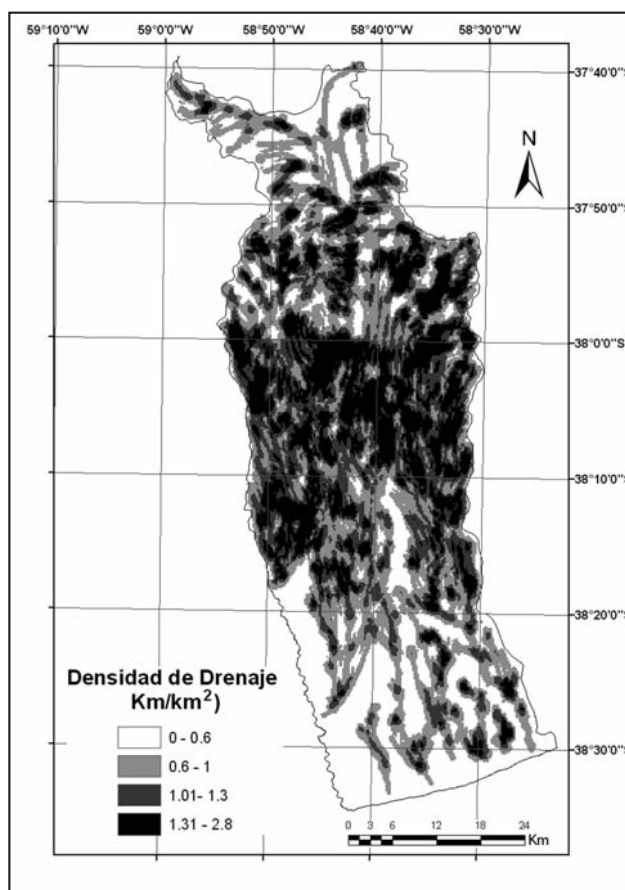


Figura 3. Mapa de Densidad de drenajes

La cuenca del Arroyo Seco posee el mayor porcentaje de área con menor pendiente (90% de su área con pendientes de menos de 1%). Este factor puede influir, entre otras cosas, en la variación del comportamiento efluente - influente del Arroyo Seco durante su recorrido y sugerir respuestas diferentes en los hidrogramas de esta cuenca, para precipitaciones similares en el área.

Densidad de Drenajes (Dd): Para este parámetro se obtuvieron valores que oscilan entre 0.0 y 2.8 km/km<sup>2</sup> (Figura 3), indicando que se trata de cuencas con déficit en su red de drenaje. Valores como los encontrados en estas cuencas se asocian a terrenos llanos, resistentes a la erosión con altas permeabilidades, tendientes a producir encharcamiento y altos tiempos de concentración. Es de resaltar que la densidad de drenaje no es uniforme, y que este parámetro se hace mayor en la zona de sierras, donde el subsuelo presenta valores más bajos de

permeabilidad (predominio geológico de ortocuarcitas) con poca vegetación y pendientes más altas.

#### LEYES DE COMPOSICIÓN DEL DRENAJE

##### Primera Ley de Horton. "Ley del número de cursos"

Se identificaron un total de 853 cursos de agua en la zona, la tabla 1 ilustra la relación entre los distintos órdenes. La tabla 2 presenta para cada cuenca el número de drenajes y el valor de Rb. En todos los casos se observa un muy buen ajuste entre los valores reales y los teóricos obtenidos por medio de la ley del número de cursos, con valores de coeficientes de correlación (r<sup>2</sup>), muy cercanos a uno (Figura 4). El total de valores de número de drenajes de la cuenca del arroyo Seco es más bajo que en las otras cuencas, debido principalmente que posee menos áreas en zonas serranas.

Tabla 1. Número de drenajes, clasificados por ordenes y Rb promedio.

CUENCA	1/2	2/3	3/4	4/5	Media		
					Aritmetica		
					Medias	St	Ponderada
ARROYO EL MORO	3.6	4.1	4.3	3	3.75	0.58	3.71
ARROYO SECO	3.5	3.7	4.5	2	3.43	1.04	3.6
ARROYO TAMANGEYU	3.9	3.8	4.5	4	4.05	0.31	3.88

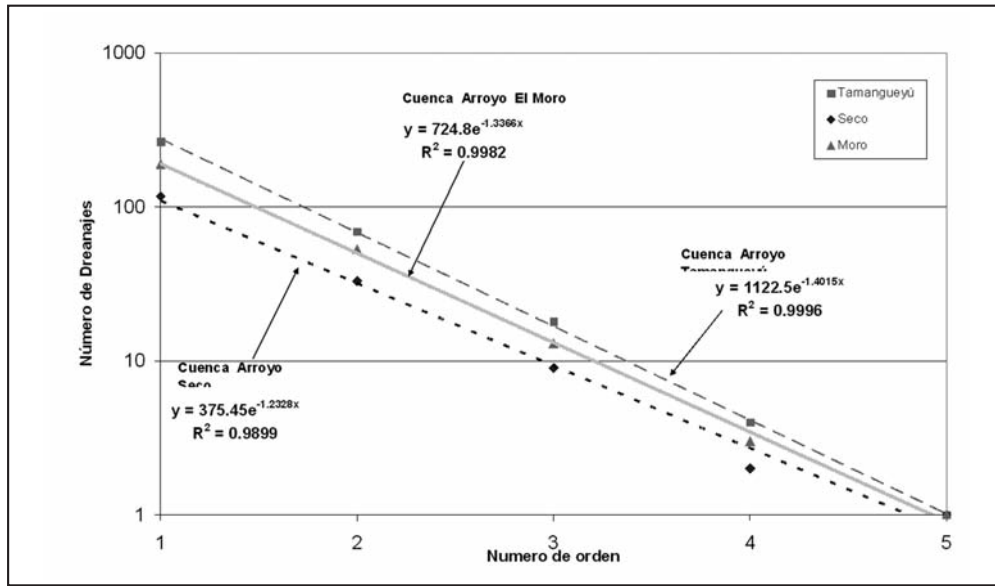


Figura 4. Ecuaciones y coeficientes de correlación de Rb.

**Segunda Ley de Horton. "Ley de longitud de cursos."**

Este análisis se efectuó utilizando las longitudes totales, medias y acumuladas. Los valores medios de Longitudes medias acumuladas (Rl) obtenidos (Tabla 3), oscilan entre 0.9 y 8.1. Los coeficientes de correlación obtenidos para las cuencas de los arroyos El Moro y Tamangueyú indican buen grado de ajuste de esta ley entre las longitudes reales y teóricas (Figura 5). La cuenca del Arroyo Seco presenta un valor de correlación más bajo (0.8317), causado por la poca longitud de sus cursos de orden tres y cinco. Los valores encontrados (tabla 3) son determinados por grandes longitudes alcanzadas por los drenajes de cuarto orden. Estos cursos, después de alcanzar rápidamente su jerarquización en las zonas de sierras, permanecen con la misma categoría de orden a lo largo de grandes distancias en las zonas de llanura, generando las formas alargadas y estrechas de sus cuencas.

Tabla 2. Relación de órdenes en las cuencas.

CUENCA	ORDEN					Rb
	1	2	3	4	5	
Arroyo El Moro	190	53	13	3	1	3.71
Arroyo Seco	117	33	9	2	1	3.6
Arroyo Tamangueyú	266	69	18	4	1	3.88
TOTAL	626	169	45	9	3	

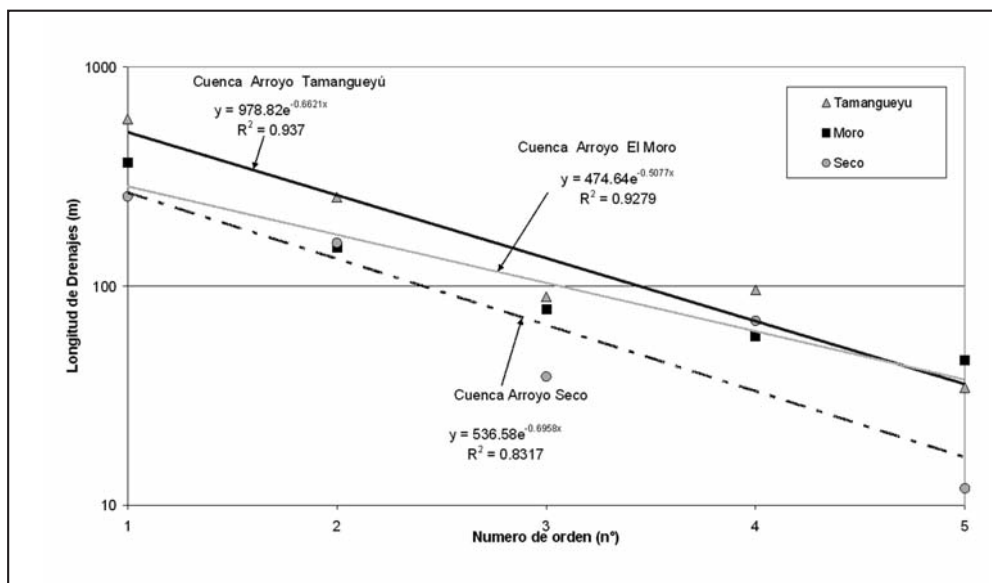


Figura 5. Gráficos, ecuaciones y coeficientes de correlación de longitud de drenajes Para cada cuenca.

**Tercera Ley de Horton "Ley de gradientes de cauce".**

En la tabla 4 se consignan los valores de la relación de gradientes (Rg) para los distintos ordenes. La Figura 6, que relaciona las pendientes teóricas de los cauces con las reales, muestra una buena correlación para las cuencas de los arroyos El Moro y Tamangueyú. Para el caso de la cuenca del Arroyo Seco, la correlación es afectada por una notable disminución en la pendiente media de los drenajes de tercer orden. Esto causa un aumento de la relación entre los drenajes de orden dos y tres, y una disminución entre los de orden tres y cuatro.

Indice Rho: Los valores encontrados en este parámetro se ilustran en la tabla 5. Según estos datos, la cuenca del Arroyo Seco (valor promedio más alto), será la que mejor almacenamiento en cauce presenta y en la cual el caudal pico tardará más tiempo en manifestarse en la desembocadura. Esto se corresponde con el hecho de ser una cuenca alargada y estrecha, con bajos gradientes de cauce, y con una importante longitud de un curso de cuarto orden (que recibe principalmente agua de cursos de primer y segundo orden), lo que le permitiría, a su vez, almacenar mayor volumen de agua en momentos de crecientes, disminuyendo los efectos erosivos.

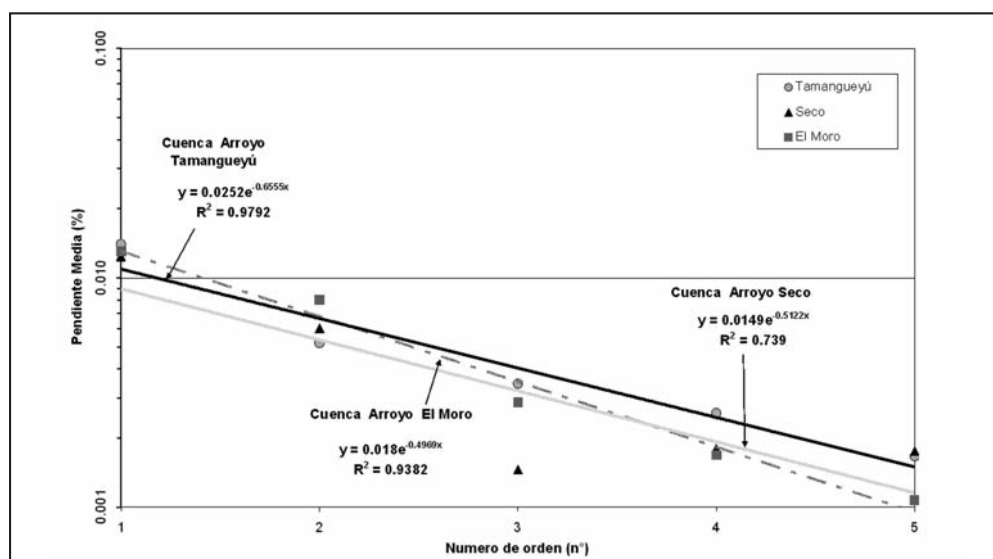


Figura 6. Valores de gradientes medios y ecuaciones de correlación.

Tabla 3. Valores de RI para cada cuenca.

CUENCA	Relación de Orden				Media	
	2/1	3/2	4/3	5/4	Aritmetica	St
Arroyo El Moro	1.47	2.14	3.26	2.33	2.30	0.74
Arroyo Seco	2.18	0.9	8.1	0.34	2.88	3.56
Arroyo Tamangueyú	1.69	1.34	4.84	1.43	2.33	1.68
<b>Total para la cuenca</b>					2.50	0.33

Tabla 4. Valores de relación de gradientes (Rg)

Relación de Orden	Rg		
	Arroyo Tamangueyú	Arroyo Seco	Arroyo El Moro
1/2	2.71	2.06	1.63
2/3	1.5	4.13	.79
3/4	1.34	0.81	1.7
4/5	1.55	1.02	1.57
<b>Promedio</b>	1.78	2.01	1.92
<b>Desviación estándar</b>	0.63	1.52	0.58

Tabla 5. Valores de Rho obtenidos para las cuencas.

Cuenca	Relación de órdenes	Rb	RI	rho	rho Promedio Cuenca	Desv. Estándar
Tamangueyú	1 - 2	3.86	1.69	0.44	0.56	0.35
	2 - 3	3.83	1.34	0.35		
	3 - 4	4.50	4.84	1.08		
	4 - 5	4.00	1.43	0.36		
Seco	1 - 2	3.55	2.18	0.61	0.71	0.75
	2 - 3	3.67	0.90	0.24		
	3 - 4	4.50	8.10	1.80		
	4 - 5	2.00	0.34	0.17		
Moro	1 - 2	3.58	1.47	0.41	0.62	0.18
	2 - 3	4.08	2.14	0.52		
	3 - 4	4.33	3.26	0.75		
	4 - 5	3.00	2.33	0.78		
<b>Rho promedio para toda la cuenca</b>					0.63	0.45

**DISCUSION**

Los fenómenos de infiltración, escorrentía superficial, humedad del suelo y contribución de agua al flujo base, están estrechamente relacionado con la pendiente de la cuenca (Campos de Ferreras y Piccolo 2002). En sistemas con características tales como las que se presentan en la llanura interserrana bonaerense, este parámetro llega a ser significativo en el desarrollo del ciclo

hidrogeológico y en los procesos de evaporación e infiltración, las cuales llegan a ser dominantes como elemento regulador en la dinámica de agua subterránea y superficial.

El análisis morfométrico llevado a cabo en estas tres cuencas muestran similitudes y diferencias que pueden ser relacionadas a procesos de recarga. El análisis revela un buen ajuste con las leyes que relacionan el número de cursos de diferentes órdenes. En lo que respecta a la ley que relaciona la longitud de cursos, los valores encontrados en el cuarto orden son altos para todas las cuencas. Esto se debe al hecho de que todos los arroyos alcanzan rápidamente ese orden al dejar el sistema serrano y permanecen así hasta las zonas más bajas antes de su desembocadura, colectando drenajes de menor orden. La forma elongada de las cuencas también tiene una gran influencia en la longitud de los cauces ya que permite el desarrollo preferencial de drenajes en una sola dirección. El valor analizado para la pendiente de los cursos y la relación entre los diferentes órdenes, en concordancia con los valores generales de pendiente, son bajos. Los valores obtenidos por la relación entre la longitud de los drenajes (Rl) y el coeficiente de bifurcación (Rb) revelan que la cuenca del arroyo Seco tiene una alta capacidad de almacenamiento. Las características de la red de drenaje descritas anteriormente, sumadas a las bajas pendientes, sugieren una lenta respuesta de los arroyos con posterioridad a una lluvia, limitando la escorrentía superficial e incrementando el almacenamiento de agua. Esto aumenta las probabilidades de infiltración y posterior recarga al acuífero.

La baja pendiente en los cursos de tercer orden en la cuenca del arroyo Seco, sumado a las grandes longitudes de drenajes de cuarto orden y el alto valor de Rho, sugieren una mayor capacidad de almacenamiento superficial en esa cuenca. Lo que puede usarse como indicador en la delimitación de áreas de re-

carga preferencial en áreas de llanura. La presencia de una zona de recarga en dicho cauce fue comprobada mediante diferentes técnicas por Quiroz *et al.* (2008).

## CONCLUSIONES

Este estudio intenta demostrar que aplicar una serie de técnicas geomorfológicas cuantitativas en cuencas de llanura bajo condiciones climáticas húmedas, permite mejorar modelos hidrológicos conceptuales en la determinación de zonas de recarga preferencial. Para el caso de cuencas con características tales como las que presenta la llanura interserrana Bonaerense, la longitud de las cuencas llega a ser un factor que mejora la retención superficial y la consiguiente recarga al acuífero.

Pese a las similitudes de las cuencas en aspectos geológicos y geomorfológicos, las diferencias en el desarrollo de su red de drenaje podrían producir diferentes grados de acumulación de agua en el cauce durante periodos de lluvia.

Las consideraciones anteriores demuestran como los datos obtenidos a partir del análisis de la red de drenaje en ambientes de llanura ayudan a mejorar los modelos hidrológicos e hidrogeológicos conceptuales, y cómo estos datos relacionados con otras coberturas de información, pueden detectar leves, pero significativos, cambios que llegan a modificar la respuesta de estas llanuras ante eventos de excesos hídricos.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue desarrollado como parte de un proyecto de investigación financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica (ANPCyT) de Argentina (PICT7-1389). La Universidad Nacional de Mar del Plata provee la infraestructura adecuada para el desarrollo de las tareas.

## LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMOS, A.J. QUARTINO, B.J. Y ZARDINI, (1972).  
El Grupo "La Tinta" (Provincia de Buenos Aires) Paleozoico o Precámbrico? XXV.  
*Congr. Bras. Geol. Sao Paulo, Págs. 211-221.*
- CAMPO DE FERRERAS, A. M & PICCOLO, M.C (2002)  
Hidroquímica del Arroyo Pescado Castigado.  
*En: Actas III Jornadas Nacionales de Geografía Física. Santa Fe, 97,103*
- CIONCHI, J. L. (1982).  
Análisis Morfométrico de las Cuencas de los Arroyos la Vigilancia y San Pedro, provincia de Buenos Aires Argentina.  
*V congreso latinoamericano de geológica, Argentina, Actas, IV: 27-36.*
- CIONCHI, J. L. (1984).  
Análisis de la distribución de pendientes en la cuenca del arroyo de los padres, Provincia de Buenos Aires.  
*IX Congreso Geológico Argentino., Actas IV:47-56. Buenos Aires.*
- DALLA SALDA, L., (1999).  
Cratón del Rio de la plata. El basamento granítico-metamórfico de Tandilia y Martín García.  
*Geología Argentina. Anales 29, (4):97. Subsecretaría de Minería.*
- FRENGUELLI, J. (1950).  
Rasgos Generales de la Morfología y Geología de la Provincia de Buenos Aires. Prov. de Buenos Aires,  
*M.O.P., LEMIT, serie II,33. La Plata.*
- GROHMANN C. (2004).  
Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R.  
*Computers & Geosciences 30 1055 -1067*
- HORTON, R. E. (1932).  
Drainage Basin Characteristics.  
*Transactions of the American Geophysical Union, nº 13: 350-361.*
- HORTON, R. E. (1945).  
Erosional Development of Stream and their Drainage Basin; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology.  
*Bulletin of Geological Society of America. Vol 56 N°3.*



- KRUSE, E., LAURENCENA P, DELUCHI M., VARELA L. (1997).  
 Caracterización de la Red De Drenaje para la Evacuación Hidrológica en la Región Interserrana (Provincia de Buenos Aires).  
*En: actas del I Congreso Nacional de Hidrogeología y II Seminario Hispano - Argentino sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. Bahía Blanca, 13- 145.*
- LIN, Z. Y OGUCHI, T. (2004).  
 Drainage density, slope angle, and relative basin position in Japanese bare lands from high-resolution DEMs.  
*Geomorphology. Vol 53 pag 281 - 298*
- MADDUMA BANDARA, C.M. (1974).  
 Drainage density and effective precipitation.  
*Journal of hidrology, n° 21, pp.187-190.*
- MARCHETTI, A. (1968).  
 Estudio Hidrológico de la zona Sud de la Provincia de Buenos Aires, Informe Inédito INGM.  
*Carpeta N°578. Buenos Aires.*
- MORISAWA, M, (1957).  
 Accuracy of Determination of Stream Lengths From Topographic Maps.  
*Trans. Amer. Geophys. Union, 38 (1): 1025 -1046.*
- QUIROZ O., MARTÍNEZ D., DAPENA C., MASSONE H. (2008)  
 Hydrogeochemistry and Isotope Analyses Used to Determine Groundwater Recharge and Flow In Low-Gradient Catchments of the Province of Buenos Aires, Argentina. *Hydrogeology Journal. (2008).*
- RABASSA, J. (1977a).  
 Interbasin areas: some observations on their relationships to drainagenetworks.  
*Boletim Paranaen. Geoc. Curitiba.*
- RABASSA, J. (1977b).  
 Los conceptos de orden y magnitud en redes de drenaje y su relación con el caudal de una cuenca fluvial.  
*VIII Congreso Nacional del Agua. Viedma.*
- RABASSA, J. (1978)  
 Geomorfología Cuantitativa de la Cuenca del Río Manso Superior, Río Negro, republica Argentina.  
 Primera Parte: análisis de Horton. En: Revista de la Asociación Geológica Argentina, XXXIII (2):139 –157.
- SALA, M. Y GAY, R (1981).  
 Algunos datos morfométricos de la cuenca del Isábena.  
*Notes de Geografía Física, N°4, pp. 41-65.*
- SCHUMM, S.A. (1956).  
 Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey.  
*Bul. Geol. Soc. Amer., 67:597-646*
- STRAHLER, A. N. (1952).  
 Dynamic basis of geomorphology.  
*Bulletin of the Geological Society of America 63,923-938.*
- STRAHLER, A. N. (1957).  
 Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology.  
*Trans. Amer. Geophys. Union. 38 (6): 913 –920.*
- STRAHLER, A. N. (1979).  
 Physical Geography.  
*Spanish version Edit Omega, Barcelona, Spain, 767 pp.*
- STRAHLER, A.N. (1953).  
 Revision of Horton's quantitative factor in erosional terrain.  
*Hidrologic section of american Geophysic. Union, Washington, D.C.*
- THORNTWAITE C.W (1948).  
 An approach towards a rational classification of climate.  
*Geographical review 38, 55-94.*
- TUJCHNEIDER, O. Y DIAZ E. (1982).  
 Aspectos Geomorfológicos Cuantitativos de la Porción Superior y Media de la Cuenca del Río Matanza. Provincia de Buenos Aires. Republica Argentina.  
*Acta Geológica Lilloana XVI, 1.*
- VARELA, L. TERUGGI, L. (2001).  
 Caracterización Hidrológica de la cuenca del Río Quequen Grande, provincia de Buenos Aires.  
*En: Memorias, Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Planificación Territorial. Pag. 19.*
- VOGT, J., COLOMBO R., BERTOLO F. (2003).  
 Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new Methodology combining digital elevation data and Environmental characteristics.  
*Computer & Geosciences. Vol. 30. Pag 1055 - 1067.*
- ZIMMERMAN, E. (2004).  
 Análisis de Sistemas Hidrológicos.  
*Desarrollo de contenidos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Rosario - República Argentina.*

# INSTRUCCIONES PARA AUTORES

En atención al procedimiento de arbitraje, se solicita a los autores leer y seguir estrictamente las siguientes instrucciones:

## a) De carácter general:

- Las contribuciones deben ser originales.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no será publicado en otras publicaciones en cualquier idioma sin el consentimiento de los propietarios de los *derechos de autor* (o *copyright*), que los derechos de terceros (*terceras partes*) no serán violados y que el editor no será considerado legalmente responsable si existe algún reclamo de indemnización.
- Se recibirán trabajos en español, portugués e inglés.

## b) Sobre el formato y la extensión del texto, tipos de letra, páginas, párrafos y leyendas:

- La versión original deberá ser editada en **Microsoft Word** (.doc o .docx).
- En la primera página se deberá indicar el título del artículo, que debe ser conciso, informativo e indicativo del contenido del mismo y escrito sin utilizar abreviaturas. En letra Times New Roman tamaño 12, mayúscula, negrita y centrado, sin subrayar.
- Debajo del título, el texto centrado, en letra Times New Roman tamaño 10, con los datos de los autor/es y afiliaciones. Los nombres de los autores se deben escribir en letra normal, las afiliaciones y correo electrónicos en letra cursiva. Se deberá identificar con un superíndice al autor que se deba dirigir la correspondencia.
- Desde la segunda página comienza el desarrollo del trabajo. Se debe incorporar, en forma consecutiva, el Resumen de hasta 250 palabras; un Abstract, y opcionalmente se podrá incorporar otro en portugués, de hasta 200 palabras y las Palabras Clave en un número entre 3 y 5 y las correspondientes Keywords.
- En el caso que el idioma del trabajo no sea español, la primera sección será el *Abstract*, además de un *resumen* en el idioma en el que está escrito el trabajo. A continuación el *resumen* en español y tras ello el desarrollo.
- Todo el texto deberá estar escrito en letra Times New Roman punto 12 a un espacio de interlínea, sin sangrías (ya sea mediante tabulador o espacios) y sin doble espacios entre párrafos. Se conservarán, no obstante, los destacados que el autor considere convenientes, así como los correspondientes a determinados términos científicos o expresiones latinas o extranjerías.

Deberá estar escrito en una sola columna. El tamaño de la hoja es A4 (210 x 297 mm). El área de trabajo será de 170 mm de ancho y 247 mm de altura. Es decir, 20 mm de márgenes derecho e izquierdo y márgenes superior e inferior de 25 mm. Se debe usar justificación completa.

- La extensión no deberá superar las 20 páginas.
- Es obligatorio el uso del sistema métrico decimal.
- Cuando una abreviatura aparezca en el texto por primera vez, deberá ser aclarada en forma completa entre paréntesis.
- No se aceptarán notas de pie de página. La información respectiva deberá incorporarse en el texto normal.
- Las expresiones matemáticas deben ser elaboradas con el procesador de texto y formar parte del mismo. Las ecuaciones deben estar centradas y deben estar separadas por una interlínea. Todas las ecuaciones deben estar numeradas

consecutivamente, usando numerales en paréntesis alineados al margen derecho. La secuencia de paréntesis deberá ser la usual en Matemática:}}).

- Las fórmulas deben ser digitadas. Deje un espacio amplio alrededor de la fórmula.
- Los subíndices y superíndices deben ser claros.
- Las letras griegas y otras no latinas deben ser explicados en el margen, donde sean usados por primera vez. Tenga especial cuidado en diferenciar entre cero (0) y la letra "o", y entre uno (1) y la letra "l".
- Proporcione el significado de todos los símbolos inmediatamente después de la ecuación en la que son usados por primera vez.
- Para fracciones simples use el símbolo "/" en lugar de la línea horizontal; por ejemplo:  $Sy/Xm$  en lugar de  $\frac{Sy}{Xm}$ .
- Aquellas ecuaciones explícitamente referenciadas en el texto deben numerarse serialmente al lado derecho, entre paréntesis.
- En las fórmulas químicas deben especificarse la valencia de los iones como, por ejemplo,  $Ca^{2+}$  y  $CO_3^{-2}$ , no como  $Ca^{++}$  o  $CO^{-3}$ .
- Los números de isótopos deben anteceder a los símbolos, ejemplo:  $^{18}O$ .
- Donde sea posible, se debe evitar la escritura repetida de fórmulas químicas en el texto; en lugar de ello, se debe dar el nombre completo del compuesto. Se exceptuará aquellos casos de nombres muy largos y frecuentes o de compuestos que son descritos como el producto final de una determinación gravimétrica (ejemplo: fosfato como  $P_2O_5$ ).

## c) Sobre el formato de figuras y tablas:

- Se incluirán como figuras todas las ilustraciones, mapas, fotografías, etc., presentes en el texto, las que llevarán numeración arábica correlativa por orden de aparición. Las mismas se ajustarán al tamaño de caja.
- Las ilustraciones deben diseñarse teniendo en cuenta el formato de la página de la revista. Su tamaño original debe permitir una reducción del 50%, sin pérdida de claridad.
- Las figuras será citadas en el texto como (Figura n), siendo n el número de orden que corresponda, sea directamente como Figura 1, por ejemplo, o bien entre paréntesis como (Figura 1). Se las deberá enviar como archivos individuales en uno de los formatos aceptables (.tif, .jpg, .pdf o .eps). Se deberán limitar, como máximo, a una caja de 15 x 23 cm, debiendo tener en cuenta el espacio ocupado por el epígrafe. No se aceptarán plegables. No se aceptan archivos incluidos en documentos de otros formatos, como Word o PowerPoint, por ejemplo.
- Las fotografías (y figuras raster con tono continuo) deben ser pancromáticas, contrastadas, claras y con una luz adecuada, ni demasiado clara ni oscura, y tener una resolución mínima de 300 dpi. Deben ser enviadas como archivos .tif o .jpg. No se aceptarán fotografías en color. Las fotografías en color serán reproducidas en escala de grises, salvo que el o los autores del trabajo se hagan cargo de la diferencia de costos.
- Las figuras delineadas o dibujos deben ser contrastados, claros y con una resolución mínima de 300 dpi.

- Las figuras de tipo mapa deben estar orientadas, incluir escala gráfica e indicación de la localización geográfica (trazas UTM o Lat/Long). Deberán tener referencias adecuadas a los símbolos, rastras, etc. utilizados.
- Se debe utilizar la misma tipografía en todas las ilustraciones.
- En el caso que los autores incluyan mapas y/o gráficos que requieran ser plegables para el tamaño de la revista, los costos derivados de su impresión correrán por cuenta de él o los autores.
- Todas las figuras llevarán su correspondiente leyenda, inmediatamente después de la misma. Se usará letra punto 12, a interlineado sencillo. La figura y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Figura n: donde n es el número de orden que corresponda. Se recomienda que las leyendas sean cortas y concisas.
- Las tablas deben ser remitidas en páginas separadas, indicando su ubicación dentro del texto.
- Las Tablas serán citadas en el texto iniciando con mayúscula en citas directas, o indirectas entre paréntesis. Es decir como Tabla 1 o bien (Tabla 1).
- La información presentada en las tablas no debe aparecer repetida en las figuras.
- Cada tabla debe llevar, del mismo modo que las figuras, una leyenda breve y explicativa, en la parte inferior. Se usará letra punto 12, a interlineado sencillo. La tabla y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Tabla n: donde n es el número de orden que corresponda. Se recomienda que las leyendas sean cortas y concisas.

#### d) Sobre las referencias bibliográficas y las citas de trabajos de otros autores

- Cuando el autor cite en el artículo enviado un párrafo, frase o contenido de cualquier tipo, procedente del trabajo de otro autor o autores, sea un libro, artículo de revista o cualquier otro documento, debe dejar en claro la correspondiente cita.
- No se admite la reproducción de figuras o tablas originales de otros artículos o capítulos de libros si no se dispone de la autorización expresa de quién detente los derechos, es decir de la editorial responsable de la publicación correspondiente o bien del autor o autores. La reproducción autorizada de tablas, fotografías u otras ilustraciones procedentes de otros trabajos, deberá incorporar en el epígrafe la cita del trabajo original de donde fue obtenido. Con respecto a las figuras, en el caso que la misma se reelabore, o de una tabla, que sea editada, se deberá indicar "modificada a partir de ..." seguido de la cita del artículo original.
- A los autores que deseen incluir figuras tablas o secciones completas de texto que ya han sido publicados en otras publicaciones se les requiere obtener el permiso del/de los propietario/s del copyright y que incluyan evidencias que dicho permiso ha sido concedido al presentar sus artículos. Todo ello sin perjuicio que otras inclusiones de párrafos, definiciones, conceptos o clasificaciones provenientes de otros autores puedan ser aceptadas con la cita expresa

de la referencia correspondiente. Cualquier material recibido sin esa documentación será considerado como originado por los autores.

- Las referencias bibliográficas serán incluidas bajo el título de TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO. Las mismas deberán estar ordenadas alfabéticamente.
- La cita de trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores (en mayúsculas) y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: (Caminos, 1975). En caso de ser más de tres autores se usará et al. (en itálica, no subrayado ni negrita). Cuando se cite más de un trabajo del mismo autor se separarán por una coma, por ejemplo: Caminos (1956, 1978). En el caso de ubicar varios autores dentro del paréntesis se separarán entre ellos por un punto y coma. Si se citan varios trabajos del mismo autor y del mismo año se agregarán, a continuación del año, letras, de acuerdo al orden de aparición en el texto.
- Las citas bibliográficas estarán justificadas a la izquierda y la segunda línea tendrá una sangría especial francesa de 15 puntos ó 0,75 cm.
- Los artículos en publicaciones periódicas se citarán empleando texto en cursiva sea para el título de la revista o actas de congreso o reunión científica, en el caso de artículos o el título del libro, en el caso de textos:  
CARRANZA TORRES, C.M., 1991. Cálculo analítico de redes de filtración. *Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería*, Vol. VI: 250-267.
- Los artículos en textos:  
MATEOS RUIZ, R.M. y M. FERRER GIJÓN, 1994. Methodology for landslides hazard map 1:10,000 in the area of Monachil (Granada, Spain). En R. Oliveira, L.F. Rodrigues, A.G. Coelho & A.P. Cunha (eds.), *7th International Congress International Association of Engineering Geology*, Vol III: 2059-2064, Rotterdam.
- Los libros de textos:  
DEARMAN, W.R., 1991. *Engineering geological mapping*. Butterworth-Heinemann Ltd, 387 pp. Oxford.
- Cuando los autores del trabajo citado en el texto sean más de dos, se indicará Casio et al. (1980).
- En el caso de citar un párrafo o frase de otro trabajo, la cita deberá aparecer entre paréntesis y cursiva, acompañada de la correspondiente cita. Por ejemplo,.... según Casio et al., (1980), "la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma"... o bien directamente "la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma" (Casio et al., 1980).
- Las citas correspondientes incluirán a la totalidad de los autores. Ejemplo para Casio et al., (1980):  
CASIO, M.; MARCINUS, F; SALINA, R y HUBBARD, R.T., 1980. La caída del imperio romano. *Revista de Occidente*, Vol 180: 224-234.

#### e) Arbitraje

Evaluación por pares mediante el envío del original presentado a dos evaluadores.

**Revista de Geología  
Aplicada a la Ingeniería  
y al Ambiente**

**FORMULARIO DE SUSCRIPCIÓN O COMPRA**

ENVIAR A:

**Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería**  
Maipú 645 - Piso 1° - C1006ACG  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

(Una vez completado el formulario envíelo a la dirección antes mencionada)

1. Suscripción a la *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, por el corriente año (marcar la siguiente casilla) [ ]

2. Deseo adquirir los números *atrasados*:

\_\_\_\_\_ [ ]

3. Deseo comprar los artículos:

\_\_\_\_\_ [ ]

Indique si desea recibir su pedido en formato *papel* (por correo tradicional), o en formato *electrónico en fichero pdf* (por correo electrónico):

**FORMA DE PAGO**

Adjuntando cheque a nombre de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería.

Mediante depósito en la Cuenta Corriente N° 20566/5 Sucursal 115 del Banco Santander Río

Mediante transferencia bancaria a la Cuenta Corriente. CUIT: 30 – 67660597 – 1.

CBU 0720 11542 000000 2056654

Solicitud de *factura* para pago mediante transferencia.

**PRECIO DE COMPRA (Desde 1-4-2011):**

**Para Argentina:** Gastos de envío incluidos.

- Compra de número vigente: **220** Pesos
- Compra de número atrasado: **180** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **90** Pesos por artículo

**Para el exterior:** Gastos de envío no incluidos.

- Compra de número vigente: **55** Dólares
- Compra de número atrasado: **45** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **20** Dólares por artículo

**PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 1-4-2011):**

**Para Argentina:** Gastos de envío incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **190** Pesos
- Suscripción Instituciones: **760** Pesos
- Compra de número atrasado: **200** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **70** Pesos por artículo

**Para el exterior:** Gastos de envío no incluidos.

- Suscripción anual: un número.
- Suscripción normal: **42** Dólares
- Suscripción Instituciones: **168** Dólares
- Compra de número atrasado: **45** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **25** Dólares por artículo 1

**Envíos fuera de Argentina:** se añadirán gastos de envío a los precios anteriormente señalados. Ver tarifas de correos en: [www.correoargentino.com.ar](http://www.correoargentino.com.ar)

Se pueden enviar los números completos de la Revista por correo electrónico en formato .pdf en cuyo caso, no se cobran gastos de envío.

*Quienes quieran asociarse a la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería encontrarán información a tal efecto en [www.asagai.org.ar](http://www.asagai.org.ar)*



**Los Socios de ASAGAI reciben la revista sin cargo alguno.**






**10<sup>o</sup>** Simposio de Geología Aplicada  
a la Ingeniería y al Ambiente

CORDOBA  
Carlos Paz. 15, 16 y 17 de agosto de 2012

Más información en  
[www.asagai.org.ar](http://www.asagai.org.ar)  
[simposio@asagai.org.ar](mailto:simposio@asagai.org.ar)



ASOCIACION ARGENTINA  
DE GEOLOGIA APLICADA  
A LA INGENIERIA

La Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI), Grupo Nacional Argentino de la Internacional Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), se complace en invitarle a participar del Simposio que tendrá lugar los días 15, 16 y 17 de agosto de 2012 en la Ciudad de Villa Carlos Paz. El mismo permitirá el intercambio de ideas y experiencias así como tomar conocimiento sobre el estado del arte en los diversos temas que se abordarán durante su realización.

Además se ha previsto la entrega del Premio Horacio V. Rimoldi, máxima distinción otorgada por la Asociación.

### Temario

- Agua subterránea
- Aspectos geológico ingenieriles en la construcción de obras
- Cartografía temática
- Casos de obras
- Contaminación de recursos naturales
- Enseñanza de la geología aplicada a la ingeniería
- Estudios geotécnicos
- Evaluación ambiental de planes, proyectos y obras.
- Geoindicadores.
- Geología ambiental.
- Gestión integrada de recursos hídricos
- Materiales de construcción.
- Ordenamiento territorial.
- Peligros geológicos.
- Recuperación de espacios degradados.

Copyright  
© Editorial ASAGAI. 2011  
Printed in Argentina

Se terminó de imprimir en Mayo de 2011