

# **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

Número 22 ▪ 2008

ISSN 1851-7838



9 771851 783008

## REVISTA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA Y AL AMBIENTE

### DIRECTOR

*Geol. MSc Norberto Jorge Bejerman*

Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba

### COMITÉ EDITORIAL

*Dr. en Ciencias Naturales Julio Luis del Río*

Centro de Geología de Costas y del Cuaternario.

Universidad Nacional de Mar del Plata.

*Lic. María Alejandra Gonzalez*

Dirección de Geología Ambiental y Aplicada

IGRM - Instituto de Geología y Recursos Minerales

SEGEMAR - Servicio Geológico Minero Argentino

*Prof. Luis I. González de Vallejo*

Departamento de Geodinámica

Universidad Complutense de Madrid

*Lic. Rubén A. López*

Departamento de Geología

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Universidad de Buenos Aires

*Lic. María Beatriz Ponce*

CIGA - Centro de Investigación en Geología Aplicada

INTEMIN - Instituto de Tecnología Minera

SEGEMAR - Servicio Geológico Minero Argentino

*Dra. en Geología Ofelia Tujchneider*

Grupo de Investigaciones Geohidrológicas -

Departamentos de Hidrología y Ambiente.

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.

Universidad Nacional de El Litoral. Santa Fe

## ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

### COMISIÓN DIRECTIVA

PRESIDENTE *Norberto Jorge Bejerman*

VICEPRESIDENTE *María Beatriz Ponce*

SECRETARIO *María Alejandra Gonzalez*

PROSECRETARIO *Jorge Caló*

TESORERO *Rubén A. López*

PROTESORERO *Mirta Fresina*

VOCAL TITULAR *Alicia Fernández Cirelli*

VOCAL TITULAR *Fabio Luna*

VOCAL TITULAR *Julio Luis del Río*

VOCAL SUPLENTE *Adrián Silva Busso*

VOCAL SUPLENTE *Daniel Héctor Origlia*

VOCAL SUPLENTE *Ángel Marcos*

RES DE CUENTAS *Guillermo Turazzini*

*Fernando Díaz*

*Carlos Marconi*

*José L. Guerrero*

### DELEGADOS REGIONALES (2007-2009)

#### REGIÓN NOROESTE

Titular: *Felipe Rivelli*

Suplente: *Juan Carlos Valoy*

#### REGIÓN CENTRO NORTE

Titular: *Eliseo Popolizio*

Suplente: *Roberto Torra*

#### REGIÓN MESOPOTAMIA

Titular: *Luis Muñoz*

Suplente: *Eduardo Díaz*

#### REGIÓN LITORAL

Titular: *Oscar Albert*

Suplente: *Carlos Canoba*

#### REGIÓN CUYO

Titular: *Bernardo Zakalik*

Suplente: *Daniel Sales*

#### REGIÓN CENTRO

Titular: *Alberto Rusculleda*

Suplente: *Alicia Karlsson*

#### REGIÓN SUR

Titular: *Nestor Hirtz*

Suplente: *Mario Grizinik*

## INSTRUCCIONES PARA AUTORES

*En atención al procedimiento de arbitraje, se solicita a los autores leer y seguir estrictamente las siguientes instrucciones:*

- La versión original, en dos (2) ejemplares, se enviará en papel blanco tamaño A4 (21 x 29,7 cm) y en disquetes o CD, editados en **Microsoft Word**.
- El título del artículo debe ser conciso, informativo e indicativo del contenido del mismo y escrito sin utilizar abreviaturas; impreso en letra Times New Roman punto 12, mayúscula, negrita y centrado, sin subrayar.
- La dirección postal y electrónica del autor al que se deberá dirigir la correspondencia seguirá a continuación del nombre, separado por una interlínea. Dicho autor deberá ser identificado con un superíndice.
- Es obligatorio el uso del sistema métrico decimal.
- Se debe incorporar, en forma consecutiva, el Resumen de hasta 250 palabras; el Abstract, en inglés, francés o portugués, de hasta 200 palabras, las Palabras Clave en un número entre 3 y 5 y las correspondientes Keywords.

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 extranjeras.

Deberá estar escrito en una sola columna. 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.

- En el caso que el idioma del trabajo no sea español, la primera sección será el abstract, en el idioma del que trate, a continuación el resumen en español y tras ello el desarrollo.
- Cuando una abreviatura aparezca en el texto por primera vez, deberá ser aclarada en forma completa entre paréntesis. No se deben utilizar notas al pie.
- 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: }}).
- Se incluirán como figuras todas las ilustraciones, mapas, fotografías, etc., presentes en el texto, las que llevarán numeración arábiga correlativa por orden de aparición. Las mismas se ajustarán al tamaño de caja. En el texto se citarán como (Fig.), o (Figs.) en plural.
- En los ejemplares impresos que se remitan para ser sometidos al proceso de arbitraje, se deberá indicar la posición de las figuras en el texto e incluirlas por separado a continuación del mismo. 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. Las figuras no se deben incluir como parte del archivo de texto. Se deben remitir en un archivo separado formato TIF, JPEG, DWG o EPS.

- 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.
- Las tablas deben ser remitidas en páginas separadas, indicando su ubicación dentro del texto.
- En el caso de mapas, los mismos incluirán las coordenadas geográficas, escala gráfica y norte. Deberán tener referencias adecuadas a los símbolos, rastras, etc. utilizados.
- Las fotografías, incluidas como figuras, deberán ser pancromáticas, de buena resolución y contraste debiendo ser enviadas como archivos TIF o JPEG. 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. Los originales deben ser enviados con la versión final del trabajo. Todas las figuras llevarán su correspondiente leyenda, inmediatamente después de la misma. Se usará letra punto 12, a un interlineado. La figura y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos. Se recomienda que las leyendas sean cortas y concisas.
- 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 las citas totalmente entre paréntesis no se usará coma para separar el autor del año (Caminos 1956). 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:  
CARRANZA TORRES, C.M., 1991. Cálculo analítico de redes de filtración. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería Volumen 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, Volume III: 2059-2064, Rotterdam.
- Los libros de textos:  
DEARMAN, W.R., 1991. Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann Ltd, 387 pp. Oxford.

*El Comité Editorial no se hará responsable por ilustraciones, tanto figuras como fotografías, que no se ajusten a estas normas o cuya calidad sea deficiente.*

# INDICE

Trabajo	Autor/es	Página
Staff		
Instrucciones para autores		
Condicionantes geológicos a la expansión urbana de la Ciudad de Balcarce Provincia de Buenos Aires	<i>Massone, Héctor - Tomas, Mónica</i>	1
Antiguas "minas de arena" y daños en obras Tandil, Provincia de Buenos Aires	<i>Gentile, Rodolfo Osvaldo - Villalba, Horacio Alejo</i>	13
Remanentes de la actividad ladrillera en El Chorrillo, Juana Koslay San Luis, Argentina. Su impacto ambiental	<i>Sosa, Graciela del R.</i>	31
Importancia de las metadata en el uso de indicadores geoambientales El caso del nitrato como indicador de estado de calidad ambiental en aguas subterráneas	<i>Cionchi, J.L - del Río, J.L. - López de Armentia, A. - Bó, M. J.</i>	43
Evaluación del grado de torrencialidad en la cuenca del Río Gastona y su relación con hidrogramas de crecientes Tucumán, Noroeste Argentino	<i>Busnelli, José - Collantes, Mirian M. - Sayago, José M.</i>	49
Aspectos geocriológicos y geotécnicos para la construcción de la pista aterrizaje en la planicie del Cabo Wellchness. Isla Dundee, Península Antártica	<i>Ermolin, Eugeny - Silva Busso, Adrián</i>	61
Cambios en el uso del suelo: el caso de La Cava San Nicolás Florencio Varela, Buenos Aires	<i>Nabel, Paulina Esther - Becerra Serial, Rodrigo Martín - Rugiero, Valeria Mercedes</i>	75
Caracterización geotécnica de roca intacta, en un macizo rocoso de composición granítica greisenizado	<i>Vendramini, Néstor - Bonalumi, Aldo - Szwedowicz, Natalia</i>	87
Evolución espacio-temporal del uso de la tierra a partir del procesamiento de imágenes SAC-C en la cuenca del arroyo del Azul Buenos Aires. Argentina	<i>Varni, M.R.1 - Entraigas, I. - Ares, G.</i>	99
Aplicación de un sistema de indicadores ambientales para la estimación del riesgo de la actividad minera en zonas periurbanas. Estudio de caso: partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires	<i>del Río, J. L. - Caballé, M. - Osterrieth, M. L. - Kirilovsky, E. - Bó, M. J. - López de Armentia, A.- N. Denisienia - De Marco, S. - Mallo J. C.</i>	107
Caracterización biológica y evaluación de la calidad de compost Factores que determinan su uso en suelos poco productivos	<i>Rebollido, Rocío - Martínez, Jorge - Aguilera, Yuri - Kenia, Melchor - García, Damaris - Saborit, Israel</i>	117
Evaluación del estado actual de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos aplicando técnicas geofísicas	<i>Pomposiello, Cristina - Favetto, Alicia - Boujon, Pamela - Dapeña, Cristina - Ostera, Héctor</i>	123
Consideraciones sobre el saneamiento del sumidero del río San Antonio de los Baños Primera parte	<i>Flores Valdés, Ernesto - Flores Valdés, Leonardo - Feito Oliveira, Rafael - Piñero Morales, Néstor</i>	135
Institucional. Primer Simposio Latinoamericano sobre Disposición de Residuos Urbanos y su Implicancia en las Aguas Subterráneas	<i>Fresina, Mirta</i>	147



# Condicionantes geológicos a la expansión urbana de la ciudad de Balcarce

Provincia de Buenos Aires

Massone, Héctor - Tomas, Mónica

## Resumen

*El objetivo de este trabajo es analizar la evolución urbana de la ciudad de Balcarce (Provincia de Buenos Aires, Argentina) desde sus inicios hasta la actualidad y su relación con las características geológicas del lugar de localización. Se presenta, además, una propuesta de uso del territorio considerando las limitaciones geológicas para el desarrollo de la expansión urbana actual y futura. Se prepararon, en un entorno de sistema de información geográfica (SIG), mapas temáticos de base topográfica y catastral, litológico, geomorfológico, hidrológico e hidrogeológico, un mapa de aptitud geológica para la actividad analizada, y dos mapas de recomendaciones de uso, que también contemplan otras actividades evaluadas en trabajos antecedentes. Utilizando la extensión de ARCVIEW 3.1 "Geoprocessing Wizard" se procesan los mapas temáticos de manera de reducir los tiempos y los costos económicos del proceso de selección de áreas, aplicando una secuencia de trabajo que pueda ser utilizada en otras ciudades pequeñas y medianas. Como sucede en otras ciudades de similar tamaño, Balcarce tiene muy buenas posibilidades de compatibilizar la expansión urbana con el medio físico, evitar conflictos entre las diferentes actividades que se desarrollan en el área y crecer ordenadamente.*

**Palabras clave:** geología, expansión urbana, Balcarce.

## Abstract

*The aim of this paper is to analyze the urban evolution of the city of Balcarce, from its origins up to the present, as well as its relationship with the geological features of the region. Moreover, a proposal for the use of the territory is presented. This proposal will consider the geological limitations in the development of the present and future urban growth. Different theme maps, such as litologic, geomorphologic, hydrologic and hydrogeologic maps, have been prepared in a geographical information system framework. A map of geological aptitude for the activity performed and two maps of use recommendations, which contemplate other activities assessed in previous papers, have also been put together.*

*Using the ARCVIEW 3.1 extension "Geoprocessing Wizard" these theme maps are processed, so as to reduce the time and economic cost of the area selection process, applying a work sequence that may be used in other cities, whether small or medium sized.*

*As is common to other cities similar in size, Balcarce has very good possibilities of harmonizing the urban growth with the physical environment, avoiding conflicts among the different activities carried out in the area, thus growing in order.*

**Keywords:** geology, urban growth, Balcarce.

Entregado: 26 de Julio de 2006 ▪ Aceptado: 25 de Agosto de 2006

Centro de Geología de Costas y del Cuaternario  
UNMdP. CC 722 Coreo Central, 7600  
Mar del Plata, Argentina.

Dirección electrónica: hmassone@mdp.edu.ar

## 1. INTRODUCCIÓN

El Pueblo de San José de Balcarce fue fundado en 1876, en un área de impactante calidad paisajística al pie de la Sierra La Barrosa. El trazado de la ciudad resume un modelo de acción y un proyecto urbano común a la mayoría de los pueblos y ciudades de la Provincia al sur del Río Salado: una organización urbano-territorial que respondió sistemáticamente a las reglamentaciones vigentes, aplicando con rigurosidad las prescripciones (Dimarco y Leiva, 2003).

El área donde se ha desarrollado la ciudad ocupa diversos ambientes geomorfológicos (Massone 2003), cada uno de los cuales tiene sus particularidades tanto estructurales como dinámicas las que, en general, no fueron atendidas a la hora del desarrollo urbano que llevó a la ciudad desde unos pocos cientos de vecinos a los actuales 35 000.

El objetivo de este trabajo es poner en evidencia los condicionantes geológicos que han tenido y tienen importancia en el desarrollo urbano de Balcarce, establecer potencialidades y

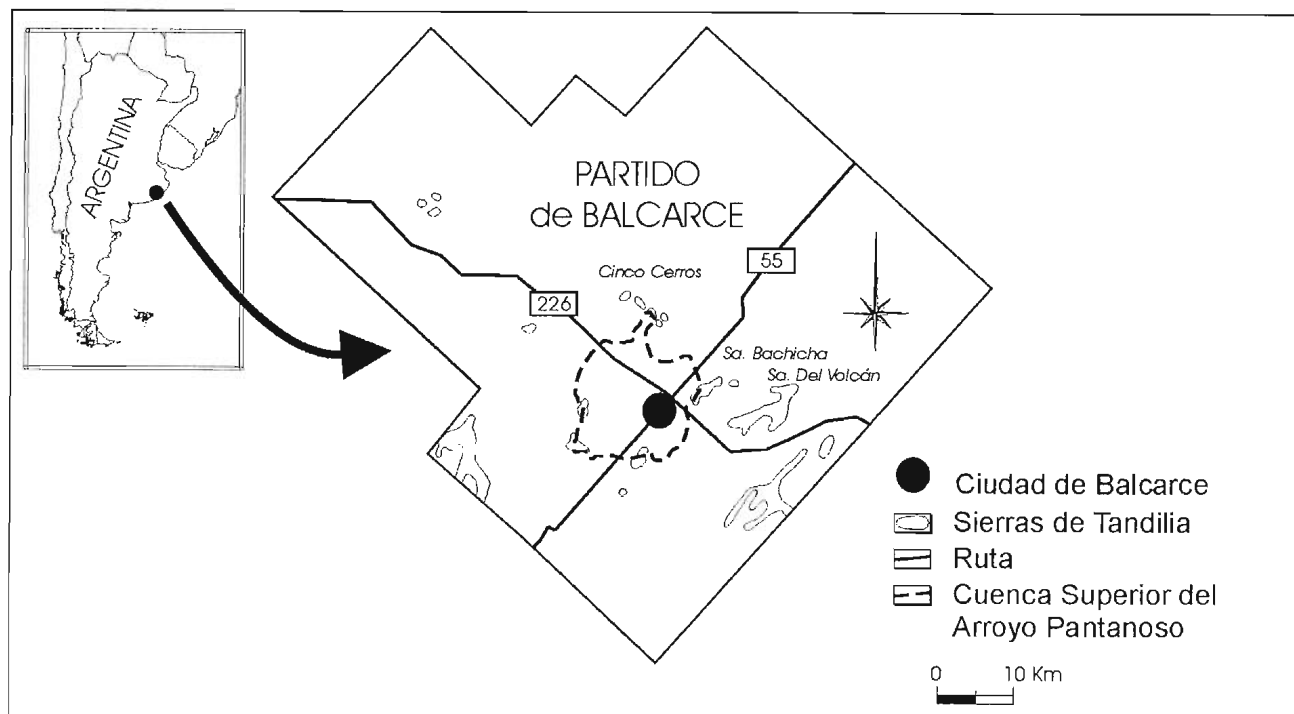
restricciones en el uso del territorio y generar una propuesta contemplando la futura expansión urbana.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Mapas históricos de la ciudad fueron obtenidos de la Dirección de Geodesia (Provincia de Buenos Aires), reconstruyéndose también a partir de las hojas topográficas del I.G.M. (1:50.000), y de una imagen satelitaria LANDSAT 5 TM con el apoyo de trabajo de campo e informantes calificados. Las características geomorfológicas del área se obtuvieron a partir de trabajo de campo y de Massone (*op.cit.*), utilizándose para la jerarquización morfodinámica la metodología propuesta por Cendrero y Diaz de Teran (1987).

En todos los casos se utilizó como unidad territorial de trabajo a la denominada "Cuenca Superior del Arroyo Pantanoso" según Massone (*op.cit.*), la cual tiene unos 138 km<sup>2</sup> de superficie (Fig. 1).

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN



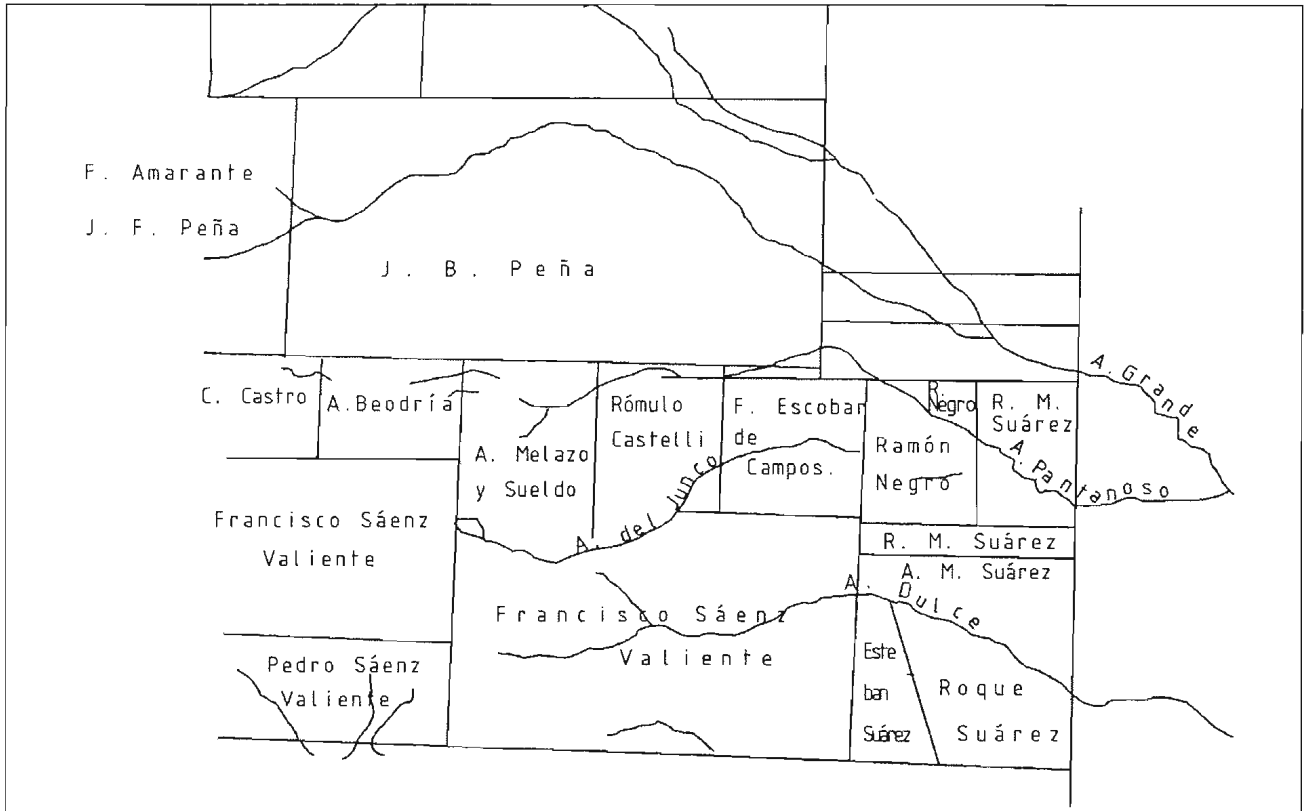
## 3. RESULTADOS

La historia de la ciudad de Balcarce está fuertemente ligada al desarrollo agrícola-ganadero de la Provincia de Buenos Aires. Luego de varios intentos por fundar un pueblo y en un marco de disputas entre los pobladores de la zona serrana y aquellos de la costa, el 16 de octubre de 1875 se presenta un petitorio al gobierno provincial donde se solicitaba la fundación de un pueblo en el partido, indicándose como preferencial una reserva fiscal de  $\frac{3}{4}$  de legua en parte de las tierras que desde 1864 se encontraban arrendadas a los Sres. Antonio Beodría y Claudio Castro (Fig. 2); éstas ya habían sido reservadas para la fundación de un pueblo cabecera por el decreto del 21 de enero de 1867, firmado por el Gobernador Adolfo Alsina (Dimarco, 2003). El primer trazado de la ciudad tiene su origen en la Ley

básica de Inmigración y Colonización de Avellaneda (Ley 817 de 1876); en ella se indica explícitamente la organización de las Tierras Nacionales, que serían divididas en sectores de 400 000 ha, con la forma de un cuadrado de 20 km de lado, dividido en 400 lotes de 100 ha cada uno. En cada sección se reservaban 4 lotes para la fundación de un pueblo. Los ejes que en forma perpendicular dividían pueblo y colonia debían pasar por el centro del pueblo (Dimarco y Leiva, *op.cit.*).

La relación entre el ejido urbano de Balcarce y las características geológicas del lugar se analizó, en este trabajo, a partir del relevamiento de los atributos geomorfológicos, hidrológicos e hidrogeológicos. Para ello se prepararon mapas temáticos de base que comprenden la Cuenca Superior del Arroyo Pantanoso. Para el reconocimiento de unidades geomorfológicas en dicha

FIGURA 2. MAPA CATASTRAL DE LA ZONA DE ESTUDIO. AÑO 1864



cuenca se relevaron los rasgos mayores del paisaje utilizando fotomosaicos de INTA y planchetas IGM a escala 1:50.000. Posteriormente, se realizaron relevamientos de campo a fin de corroborar, o modificar, lo observado en el gabinete.

Las unidades geomorfológicas (Tabla 1; Fig. 3) han sido categorizadas siguiendo a *Cendrero y Diaz de Terán (1987)*, reconociendo:

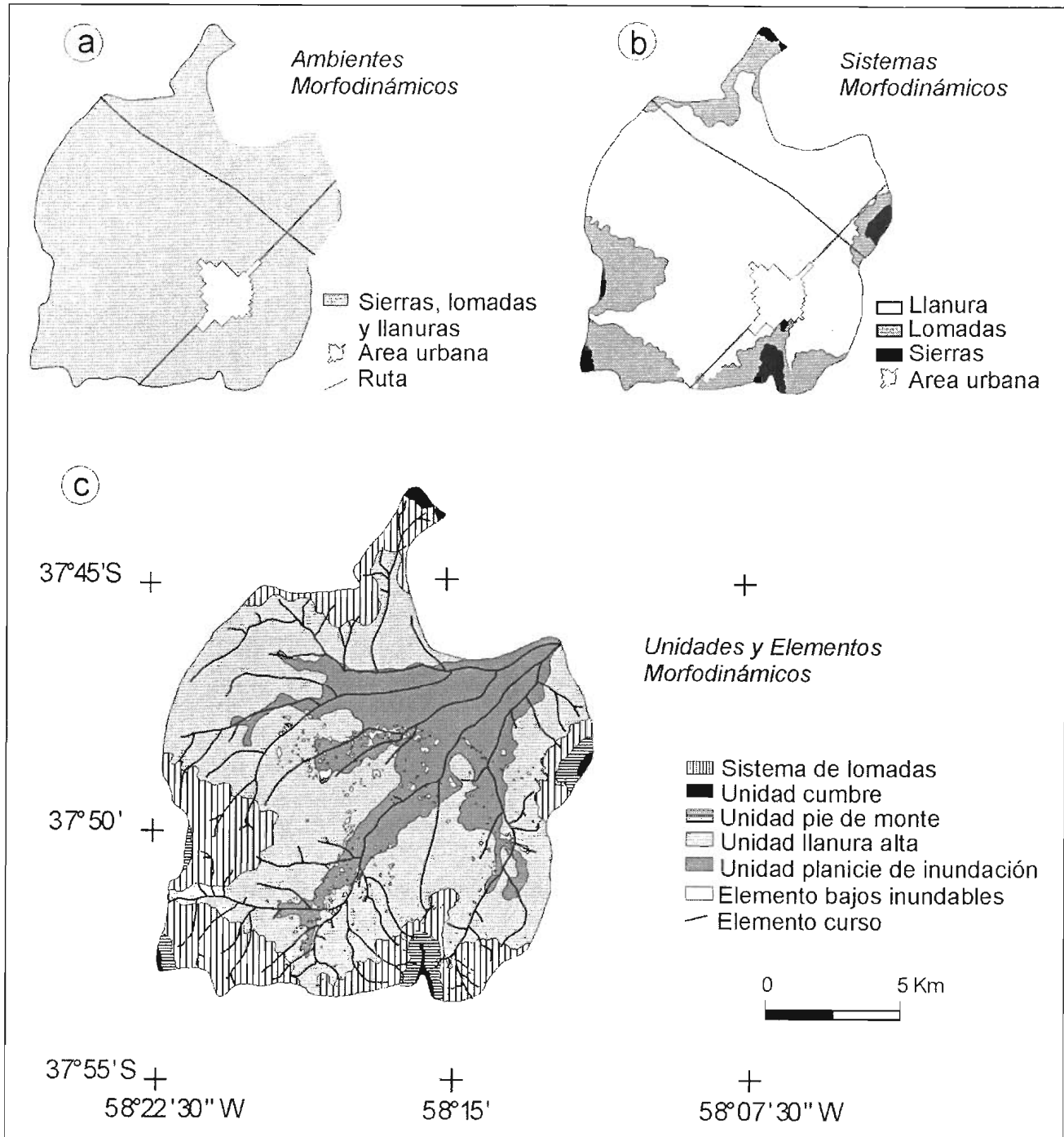
- ambientes morfodinámicos: se definen habitualmente por grandes rasgos del paisaje, clima, macrorelieves.
- sistemas morfodinámicos: se diferencian a partir, esencialmente, de morfología y procesos activos.
- unidades morfodinámicas: se los diferencia en base a litología y procesos geomorfológicos de más detalle que los casos anteriores.

TABLA 1. AMBIENTES, UNIDADES, SISTEMAS Y ELEMENTOS MORFODINÁMICOS RECONOCIDOS EN LA CUENCA SUPERIOR DEL ARROYO PANTANOSO

AMBIENTES	SISTEMAS	UNIDADES	ELEMENTOS	
Sierras, lomadas y valles	Sierras		Cumbres Planas	
		Cumbres	Cumbres Redondeadas	
		Frente de Sierras	Frente Serrano y Pie de Monte	
	Lomadas			
	Llanura	Llanura alta		Divisorias
				Cauces
		Planicie Aluvial		Barrancas
				Bajos Inundables
			Cauces	
		Divisorias		
Urbano				



FIGURA 3. MAPAS GEOMORFOLÓGICOS. a: ambientes morfodinámicos. b: sistemas morfodinámicos c: unidades y elementos morfodinámicos



- elementos morfodinámicos: son los de mayor precisión y definición, se consideran factores tales como vegetación, morfología, suelos.

Los ambientes morfodinámicos caracterizados fueron dos:

**Ambiente urbano**

Corresponde al ejido de la ciudad de Balcarce que ocupa un área de unas 742 ha. Se lo ha separado del ambiente anterior porque en él los rasgos originales del paisaje se encuentran muy desdibujados por la acción antrópica.

**Ambiente de sierras, cerros y valles**

Ocupa gran parte del área estudiada y está caracterizado por relieve pronunciado, dado por la presencia de bloques serranos pertenecientes a las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires, constituidos por rocas del Basamento cristalino y por Sedimentitas Paleozoicas y separados por amplios valles que presentan relleno de sedimentos y sedimentitas de edad cenozoica; la hidrografía está compuesta por cursos de escasa expresión topográfica, destacándose el Arroyo Pantanoso.

En este ambiente se han reconocido tres sistemas morfodinámicos: Sierras, Lomadas y Llanura, que se describen a continuación:

*Sistema de Sierras*

está formado por bloques serranos que integran, en su mayor parte, la divisoria principal que limita la Cuenca del Arroyo Pantanoso; sectores de Sierra La Barrosa (300 m s.n.m.), Sierra Chata (357 m s.n.m.), Cerro Amarante (361 m s.n.m.), Cinco Cerros (265 m s.n.m.) y Sierra Bachicha (383 m s.n.m.) conforman dicha divisoria. El Cerro El Triunfo (160 m s.n.m.) y el Cerro El Morro (110 m s.n.m.) se ubican hacia el interior de la cuenca.

En el sistema de sierras se han reconocido dos unidades:

- Unidad Cumbres: corresponde al sector más alto de las sierras, reconociéndose, en base a su litología, dos elementos:

Elemento cumbres planas: corresponden a las cumbres formadas por estratos de ortocuarcitas y presentes en las Sierras: Bachicha, La Barrosa, La Chata y Cerro Amarante. Se caracterizan por un desarrollo superficial extendido, escasa pendiente y por tener frecuentemente una cubierta de sedimentos limo-arenosos finos, con un incipiente desarrollo de suelo y vegetación arbustiva y que tiene desde escasos centímetros a poco más de un metro de espesor.

Elemento cumbres redondeadas: esta unidad corresponde a los afloramientos de Basamento Precámbrico de Cerro El Triunfo y Cinco Cerros, que generan formas de erosión totalmente diferentes a las de las rocas cuarcíticas por carecer de estratificación.

- Unidad Frente de sierras: esta unidad conforma el cuerpo principal de los bloques serranos y en ella se describen dos elementos morfodinámicos:

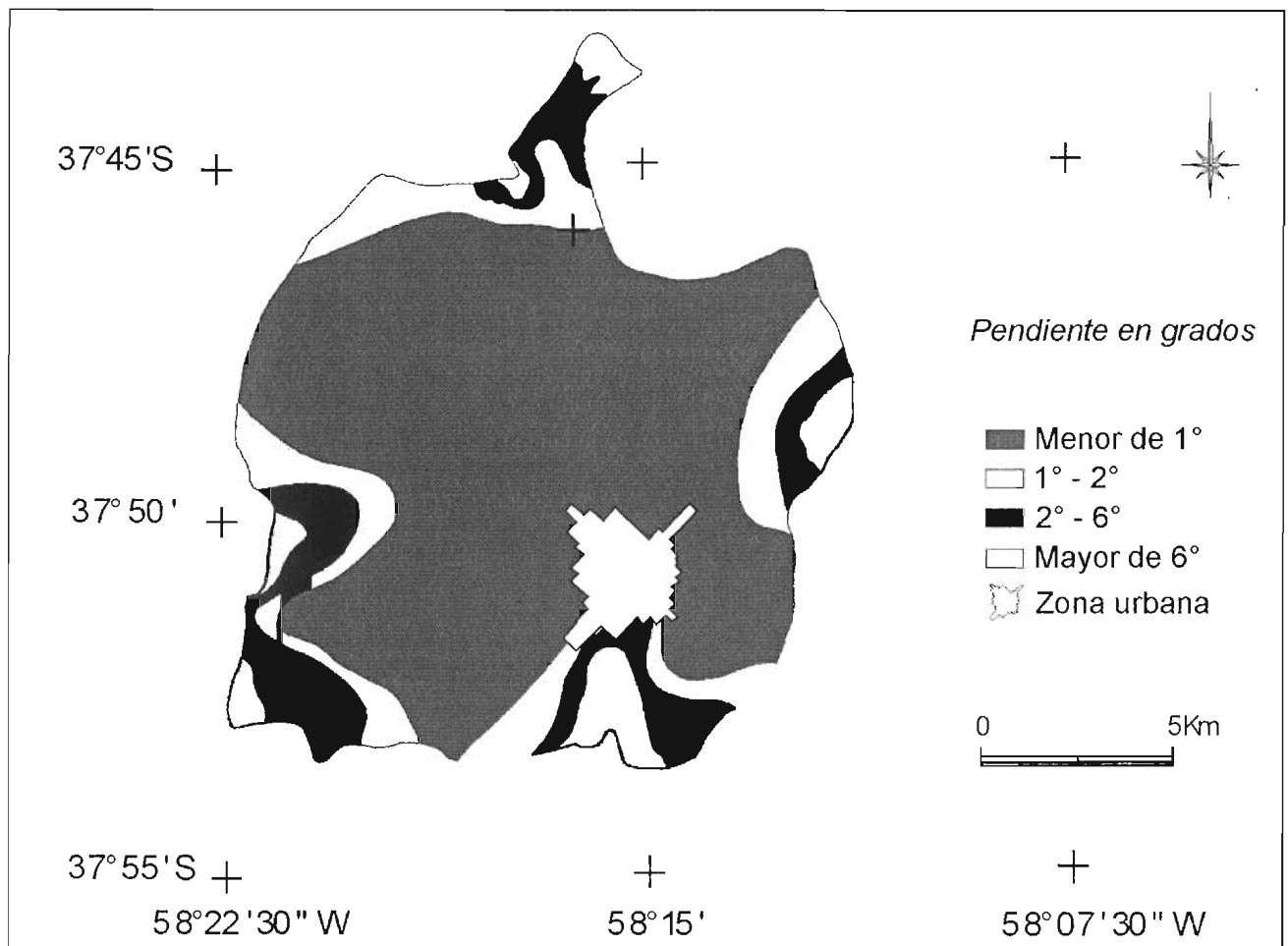
Elemento Frente Serrano: los frentes serranos son elongados, aparecen bordeando las cumbres planas y con paredes verticales a subverticales. En ellos se aprecian claramente los estratos de ortocuarcitas que forman las sierras de Bachicha, La Barrosa, La Chata y Cerro Amarante.

Elemento Pie de monte: a partir de un neto quiebre de pendiente que lo diferencia del frente serrano, aparece el pie de monte. Está integrado por depósitos coluviales de bloques ortocuarcíticos, dispuestos de manera caótica y entremezclados con material más fino, meteorizado y cubierto de arbustos. Las pendientes (Fig. 4) características en este pie de monte oscilan entre 3° y 6°.

Dada la escala de trabajo utilizada estos dos elementos se han mapeado en forma conjunta.

- *Sistema de Lomadas*: se encuentran en las proximidades de los bloques serranos. Están formadas por sedimentos limosos y limo-arenosos, con frecuentes intercalaciones de tosca. Una descripción detallada de la constitución litológica de este sistema puede consultarse en el capítulo siguiente. Las pendientes son de entre 1° y 2,5°, predominando netamente aquellas de entre 1° y 1,5° (Fig.4). Este sistema no ha sido subdividido ya que a la escala de trabajo que se emplea bien puede ser considerado homogéneo.

FIGURA 4. MAPA DE PENDIENTES



- *Sistema de Llanura*: es el sistema de mayor extensión areal en la Cuenca Superior del Arroyo Pantanoso. Está caracterizado por pendientes muy suaves, menores de  $1^\circ$  (Fig. 4), y por la presencia de sedimentos limosos, limoarcillosos y limoarenosos, con un buen desarrollo de suelos de muy buena aptitud agrícola, especialmente en los sectores central y oeste de la cuenca.

Dentro de este sistema se destacan dos grandes unidades morfodinámicas:

- *Unidad Llanura alta*: integra el mayor espacio areal de la unidad y está formada por dos elementos morfodinámicos:
  - Elemento Divisorias: Tienen muy escasa expresión topográfica dada por una pendiente muy suave.
  - Elemento Cauces: son angostos y, salvo en el caso del cauce principal del Arroyo Pantanoso, apenas apreciables por su escasa expresión morfológica y por hallarse cubiertos de vegetación.
- *Unidad Planicie Aluvial*: corresponde al sector ocupado por los cauces más importantes (quinto y cuarto orden) y su planicie de inundación. Dentro de este sistema pueden diferenciarse cuatro elementos morfodinámicos:
  - Elemento Cauces: al igual que en la unidad anterior, son angostos y, salvo en el caso del cauce principal del Arroyo Pantanoso, apenas apreciables por su escasa expresión morfológica y por hallarse cubiertos de vegetación.
  - Elemento Barrancas: solo el cauce principal del Arroyo Pantanoso muestra, al aproximarse a la ruta 226, un incipiente desarrollo de barrancas que limitan dicho cauce, de entre 0,20 y un metro de altura.
  - Elemento Bajos Inundables: corresponde a pequeñas cubetas de deflación que se inundan durante períodos de lluvia.
  - Elemento Divisorias: al igual que en la unidad anterior, tienen muy escasa expresión topográfica dada por una pendiente muy suave.

### Recursos Hídricos Superficiales

Con respecto a los recursos hídricos superficiales, el área fundacional de la ciudad se encuentra emplazada en una suave divisoria que limita el cauce del Arroyo Pantanoso (orden 5 en el esquema de Strabler, 1952) de un afluente de cuarto orden (Tabla 2; Fig. 5a). Como puede observarse en la Fig. 5b el sector noreste de la ciudad se encuentra emplazada ocupando parte de la cuenca de quinto orden, mientras que el área sudoeste es ocupada por una cuenca de cuarto orden (El Arroyo Pantanoso es un importante afluente del Arroyo Grande, que nace en el área de Napaleoufú y desemboca en la Albufera de Mar Chiquita); es un curso permanente con un caudal promedio, en este sector de nacientes, de  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$

Como es frecuente en el sudeste bonaerense, la escasa expresión topográfica tanto de cauces como de divisorias desdibuja estos rasgos geomorfológicos bajo una apariencia uniforme de "llanura". En análisis cuantitativo de esta subcuenca dio como resultado la identificación de 496 cursos de agua (Tabla 2).

TABLA 2. NÚMERO DE CURSOS DE CADA ORDEN siguiendo la jerarquización de Strabler, 1952

Orden curso	Cuenca Sup. Arroyo Pantanoso
1	364
2	99
3	24
4	7
5	2
6	-
7	-
total	496

### Recursos Hídricos Subterráneos

Las características hidrogeológicas regionales del subsuelo de la Provincia de Buenos Aires fueron reconocidas por Sala (1975). En este reconocido trabajo, identificó tres secciones sobre el basamento impermeable: "hipoparaniana", "paraniana" y "epiparaniana". La sección hipoparaniana está compuesta por una sucesión sedimentaria de origen continental formada por areniscas y arcillas rojizas con yeso y anhidrita, la porción superior es la más importante desde el punto hidrogeológico, especialmente en la zona de Bahía Blanca y posiblemente al este de las Sierras Septentrionales. Esta porción es el llamado comúnmente "Rojo" y se le asigna edad miocena inferior.

En base a la descripción litológica de perforaciones (Massone, *op.cit*) y a lo propuesto por Sala (1977), es posible reconocer en la zona de emplazamiento de la ciudad la presencia de basamento impermeable y la sección Epiparaniana. El basamento impermeable incluye rocas del Basamento Precámbrico y sedimentitas paleozoicas de la Formación Balcarce (Dalla Salda e Iñiguez, 1979). Si bien estas rocas son acuífugas, la presencia de sistemas de diaclasas posibilitan la circulación de agua otorgándoles una permeabilidad secundaria. Afloran en el sector oeste y centro-oeste de la cuenca superior del Arroyo Pantanoso y se hundén abruptamente hacia el este y noreste (Fig. 6). La sección epiparaniana corresponde a sedimentos loessoides que conforman el acuífero y que llega a más de 100 metros de espesor (Massone, *op.cit*); la granulometría es variable, entre arenas y limos y con intercalaciones arcillosas. Ocasionalmente aparecen niveles de tosca o bien  $\text{CaCO}_3$  pulverulento y de ceniza volcánica (Teruggi, 1954). La composición mineralógica del acuífero es principalmente cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico con variable cantidad de sílice amorfa en forma de vidrio volcánico, apareciendo ocasionalmente micas y minerales opacos (Teruggi, 1954). Queda definido, así, un acuífero clástico del tipo "libre y multicapa" para la zona de estudio. Según datos aportados por la empresa concesionaria del servicio de agua y cloaca en la ciudad de Balcarce, la transmisividad del acuífero es de  $367,5 \text{ m}^2/\text{d}$  y la permeabilidad de  $4,30 \text{ m/d}$ .

En la Fig. 7 puede observarse el mapa isofreático donde las curvas muestran un diseño radial divergente en límite suroeste de la cuenca, con gradientes medios del orden de 0,005. Rápidamente hacia el este las curvas adoptan un diseño subparalelo con gradientes del orden de entre 0,0015 y 0,003, para pasar

FIGURA 5a. RED DE DRENAJE DE LA CUENCA SUPERIOR DEL ARROYO PANTANOSO

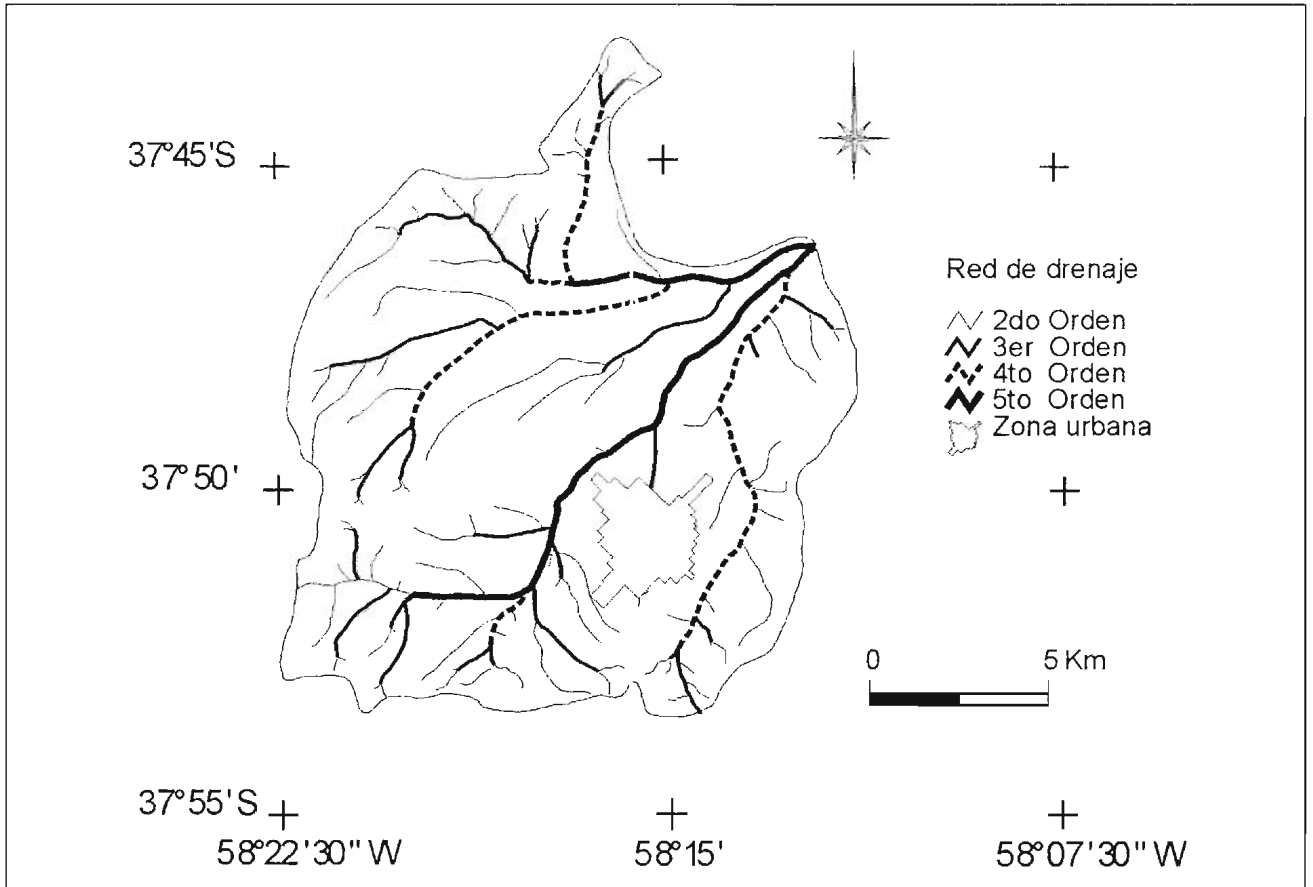


FIGURA 5b. MAPA DE SUB-CUENCAS DE LA CUENCA SUPERIOR DEL ARROYO PANTANOSO

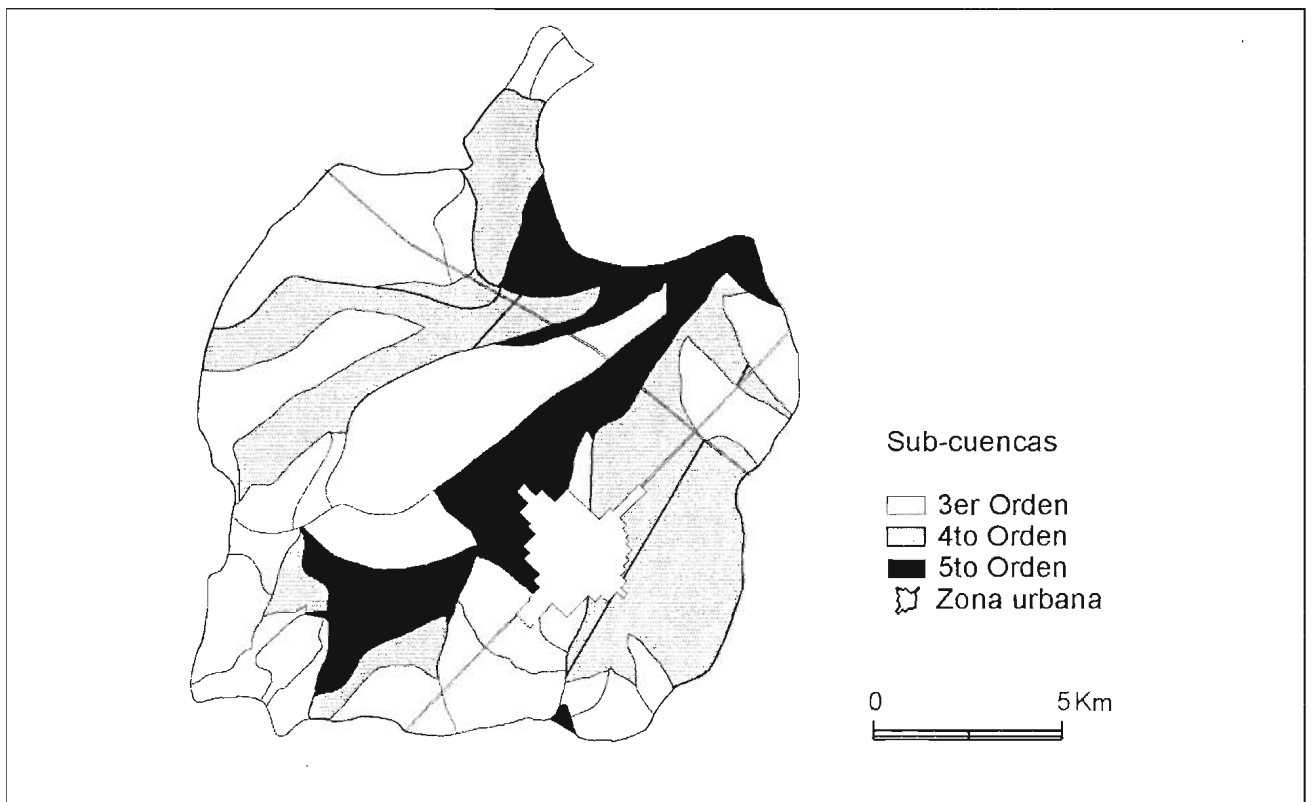
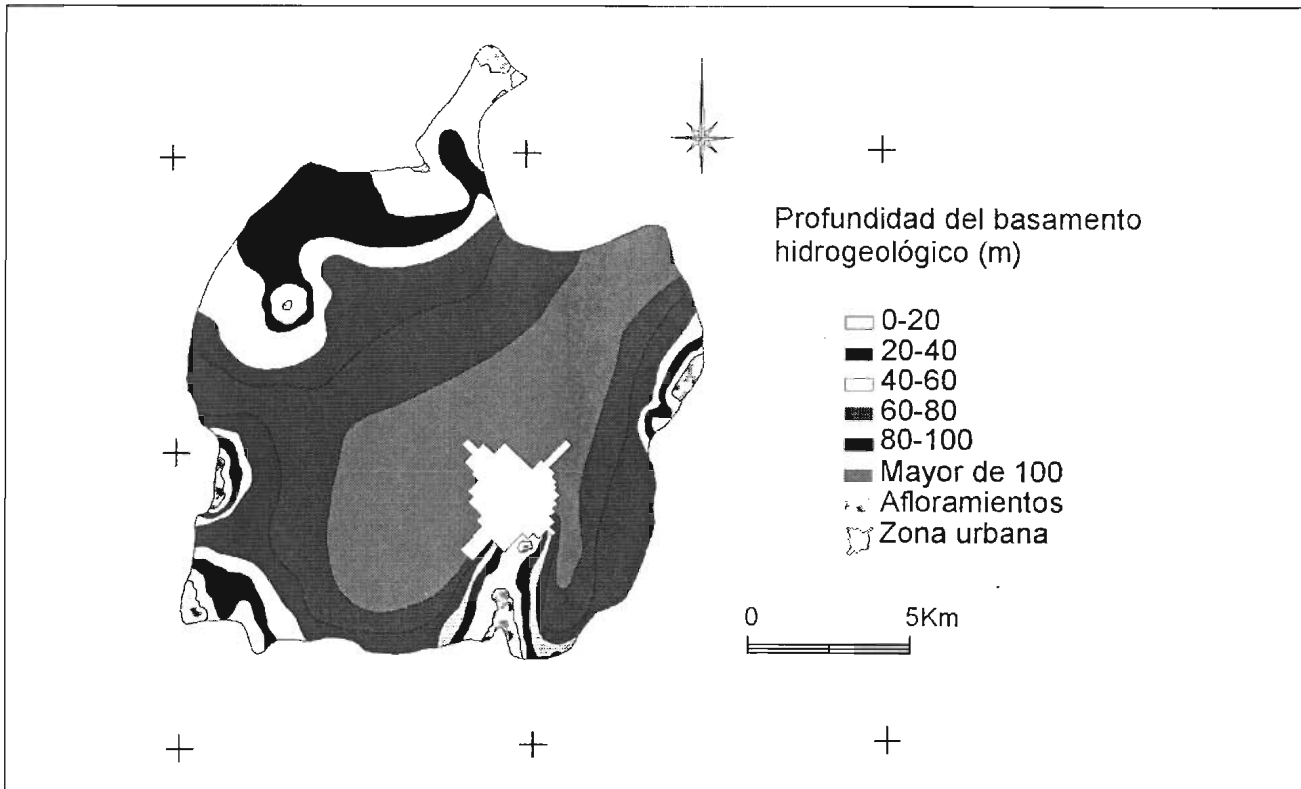


FIGURA 6. PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO EN LA CUENCA SUPERIOR DEL ARROYO PANTANOSO



luego a marcar el carácter efluente del Arroyo Pantanoso, en el extremo oriental de la cuenca. La dirección de flujo subterráneo es suroeste-noreste. En las proximidades del área urbana, donde se encuentran los 11 pozos que abastecen a la población (Figura 8), puede observarse que la curva isopieza de 110 m en la zona del centro urbano se ve desplazada hacia el sureste a partir de la acción de los pozos 4 y 8 y también define un pequeño cono de depresión de 5 m en el sector periurbano sureste de la ciudad, originado por los pozos 6, 3 y 5. La isopieza de 115 m también se ve desplazada hacia el sur y sureste, delineando un incipiente cono de depresión, tal cual puede observarse a partir de la comparación con los trazos en color rojo que corresponden al mapa de isopiezas regional antes citado, realizado sin los datos de la zona urbana.

La Fig. 9 muestra el mapa de isoespesor de zona no saturada, donde se aprecia una clara correspondencia entre la profundidad del acuífero y la geomorfología.

Desde su fundación, los habitantes del pueblo de San José de Balcarce se abastecieron de agua utilizando perforaciones domiciliarias. Recién en la década de 1940 se comenzaron a realizar gestiones ante las autoridades provinciales para la provisión de agua potable a la ciudad. En el año 1950 comienzan las obras con la compra de una remesa de caños por parte de Obras Sanitarias de la Nación, aunque hubo que esperar hasta 1952 para iniciar la construcción del tanque de reserva de 1 500 m<sup>3</sup> y del primer pozo de explotación (pozo 1) ubicado en la calle 31 entre 44 y 46.

Recién en 1958 se inauguró el servicio. En 1963 entraron en servicio los pozos 2 y 3. En 1971 el pozo 4, en 1978 los pozos 5 y 6, en 1985 los pozos 7 y 8, en 1991 el pozo 9 y en marzo de 2000 el número 10 (Fig. 8)

#### Evolución de la planta urbana 1892-2002

En la Fig. 10 se presenta la evolución del ejido urbano de Balcarce entre 1892 y 2002 realizado a partir de material cartográfico, aerofotográfico y satelital. El ejido de 1892 se obtuvo en la Dirección de Geodesia (Provincia de Buenos Aires), el de 1957 a partir de las hojas topográficas del I.G.M. (1:50.000), el de 1992 se obtuvo de una imagen satelitaria LANDSAT 5 TM con el apoyo de un vuelo fotográfico de 1989; finalmente, el ejido de 2002 surge de una imagen satelitaria del mismo tipo que la anterior. De manera paralela al crecimiento de la ciudad, se dio el crecimiento poblacional que, según las estadísticas del Municipio, fue el siguiente: 1960: 20 540; 1970: 26 461; 1980: 28 985; 1991: 31 905 y proyectado para 2000: 33 000. Como dato de interés histórico vale agregar la población de todo el Partido de Balcarce en 1869 ascendía a 4 198 personas.

En la referida figura puede observarse que entre 1892 y 1957 el crecimiento urbano tuvo su componente más importante hacia el noroeste, seguramente motivado por la construcción de la estación de ferrocarril y el matadero municipal; también se verifica un avance urbano algo menos importante hacia el sureste donde se ubicó el cementerio. La expansión urbana entre 1957 y 1992 se da, con mayor o menor importancia hacia todas direcciones, existiendo ya un eje preferencial sobre la ruta 55, tanto hacia el noreste como hacia el suroeste. Entre 1992 y 2002 la expansión urbana resultó mínima hacia el oeste y hacia el este, fue importante hacia el noroeste y este-noreste y destacable hacia el noreste, suroeste y sur. En el primer caso, es factible que la expansión urbana se halla limitado por la presencia de bajos inundables, tal como muestra la Fig. 10. Hacia el noroeste y este-noreste el crecimiento se asocia a la presencia de barrios obreros, en general, habitados por personas de muy bajos a bajos recursos económicos; la construcción de un canal de desagüe

FIGURA 7. MAPA ISOFREATICO DE LA CUENCA SUPERIOR DEL ARROYO PANTANOSO

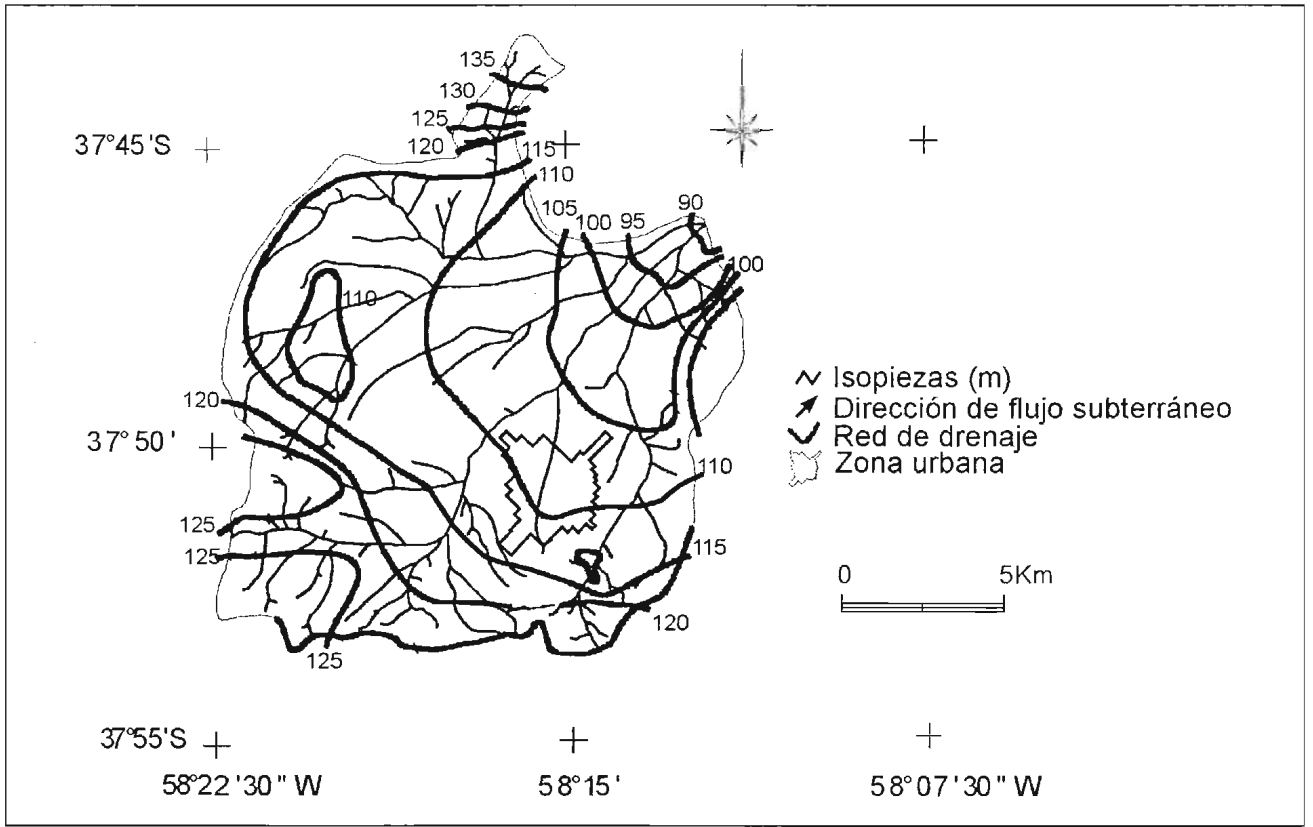


FIGURA 8. UBICACIÓN DE POZOS DE ABASTECIMIENTO URBANO EN LA CIUDAD DE BALCARCE

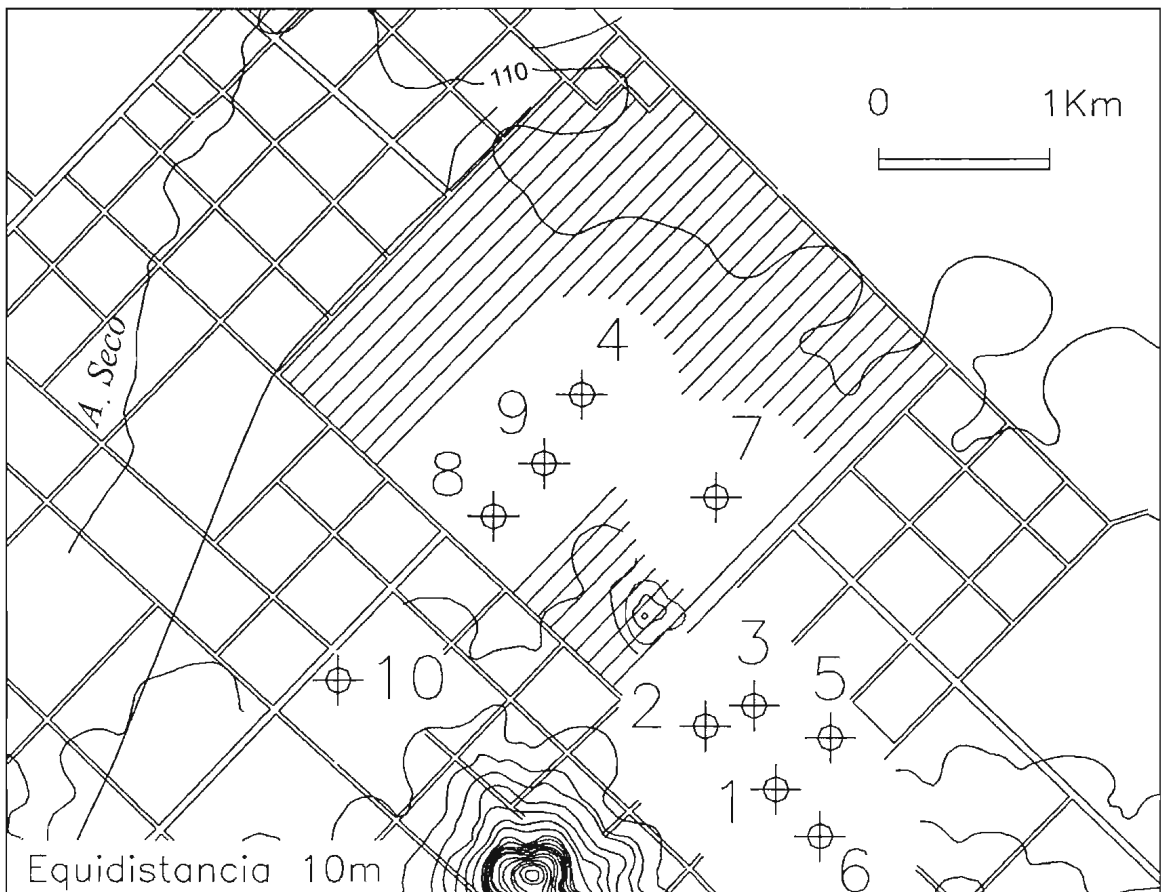
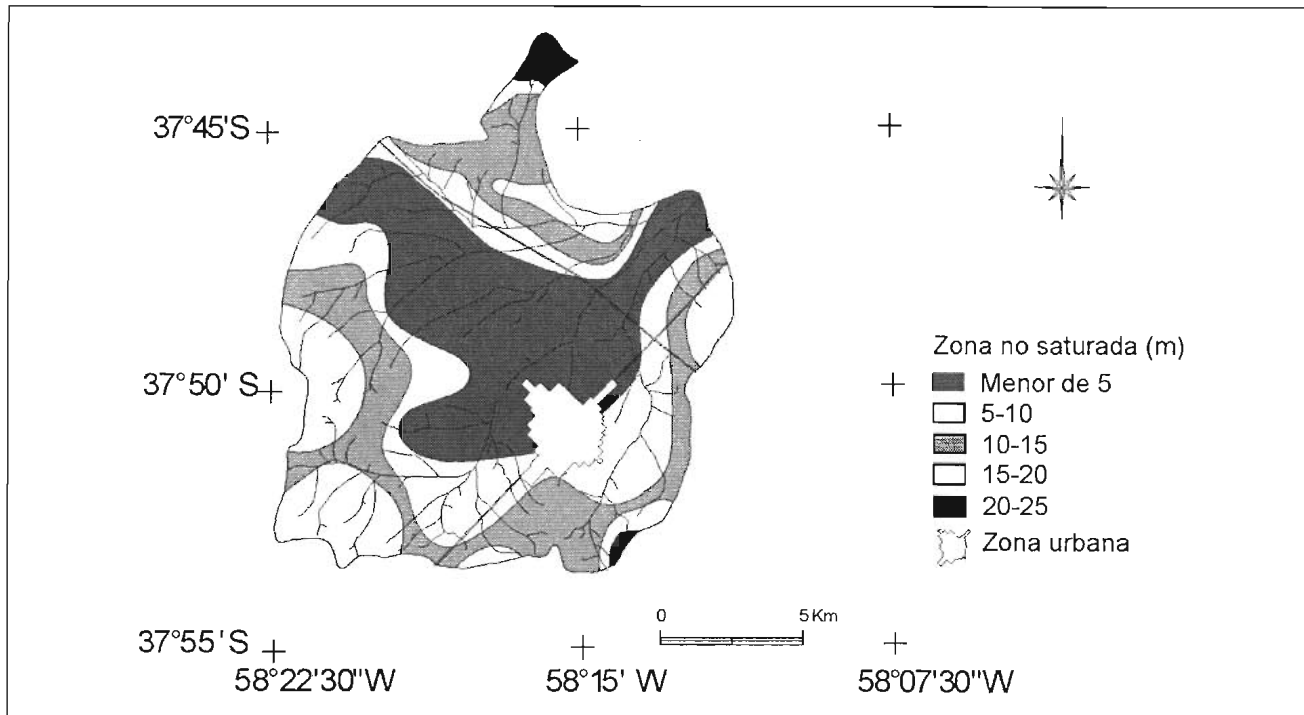


FIGURA 9. MAPA DE ISOESPESOR DE ZONA NO SATURADA EN LA CUENCA SUPERIOR DEL ARROYO PANTANOSO



a cielo abierto indica la presencia de inundaciones periódicas. En dirección noreste y suroeste, la ruta provincial 55 sigue actuando como eje de crecimiento, esencialmente relacionado con la actividad comercial. Hacia el sur, en dirección a La Barrosa, el crecimiento se asocia a la presencia de barrios de clase media y media-alta.

Toda la información relevada y recopilada se incorporó como mapa temático en un sistema de información geográfica (SIG) utilizando ARCVIEW 3.1. La implementación del SIG tuvo como objetivo ubicar las áreas de mejor aptitud geológica para localizar la expansión urbana, y presentar dos escenarios posibles donde la expansión urbana se complementa con otras dos actividades (localización de futuros rellenos sanitarios y ubicación de un campo de bombeo para explotación del acuífero) surgidas en un trabajo antecedente (Massone, 2005). La selección de áreas de mejor aptitud geológica se realizó a partir de 5 condiciones y empleando la extensión "Geoprocessing Wizard":

**Condición 1: mapa geomorfológico**

Se eliminaron sistema de sierras y unidad planicie aluvial. El sistema de sierras presenta limitantes a la actividad relacionados con la dificultad de llevar servicios, el riesgo de caída de bloques en el pie de monte y la urbanización de un área que puede brindar otros servicios a la comunidad (esparcimiento, paisaje). En el caso de la planicie aluvial, el riesgo de inundación hace que sea recomendable evitarla como área urbanizable.

**Condición 2: mapa de red de drenaje**

Se eliminaron sectores que se encuentren a menos de 50 metros del cauce). Del mismo modo que en la actividad anterior, esta condición se genera para minimizar el riesgo de inundación; si bien la distancia de 50 metros es arbitraria, se considera que es apropiada para obtener un margen de seguridad y, a la vez, no hacer una restricción excesiva.

**Condición 3: mapa de pendientes**

Se eliminaron sectores con pendientes mayores a 6° (Fig. 4). En este caso se siguió el criterio de Marsh (1991) que propone como pendientes óptimas para desarrollos urbanos a aquellas comprendidas entre 0° y 6° (equivalente a 0% y 10%).

**Condición 4: mapa profundidad del basamento**

Se eliminaron áreas con presencia de rocas subsuperficiales (Fig. 6). En este caso se opta por eliminar la clase afloramientos por las dificultades que ofrece la urbanización de éste tipo de áreas.

**Condición 5: mapa de espesor de zona no saturada**

Se eliminaron áreas con espesores menores a 5 m. Esta condición se toma para prevenir el impacto relacionado con la contaminación de acuíferos, considerando que las nuevas áreas urbanizables pueden carecer de servicios cloacales y tener pozos ciegos.

En la Fig. 11 se muestran los sectores que resultaron con mayor aptitud geológica para desarrollar la actividad que surgen de las intersecciones y uniones entre los mapas anteriores, realizadas con la extensión Geoprocessing de ARCVIEW 3.1. Claramente queda seleccionada toda el área ubicada al suroeste, sureste, este y noreste del ejido actual. Hacia el sur existe una pequeña faja apta, mientras que en las demás direcciones las zonas de mayor aptitud se encuentran demasiado alejadas del ejido actual como para considerar viable, a priori, su urbanización. En base a lo surgido del mapa de aptitud geológica y tomando en cuenta las otras dos actividades citadas, se establecieron dos escenarios posibles de recomendaciones de uso del suelo, representados en la Fig. 12. La actividad expansión urbana queda en ellos circunscripta a las áreas suroeste y sureste del actual ejido urbano ocupando un área susceptible de uso de entre 1 600 y 2 000 Ha. La generación de dos escenarios obedece a flexibilizar en algo la propuesta, de manera de poder

FIGURA 10. EL CRECIMIENTO URBANO DE LA CIUDAD DE BALCARCE 1892 - 2002

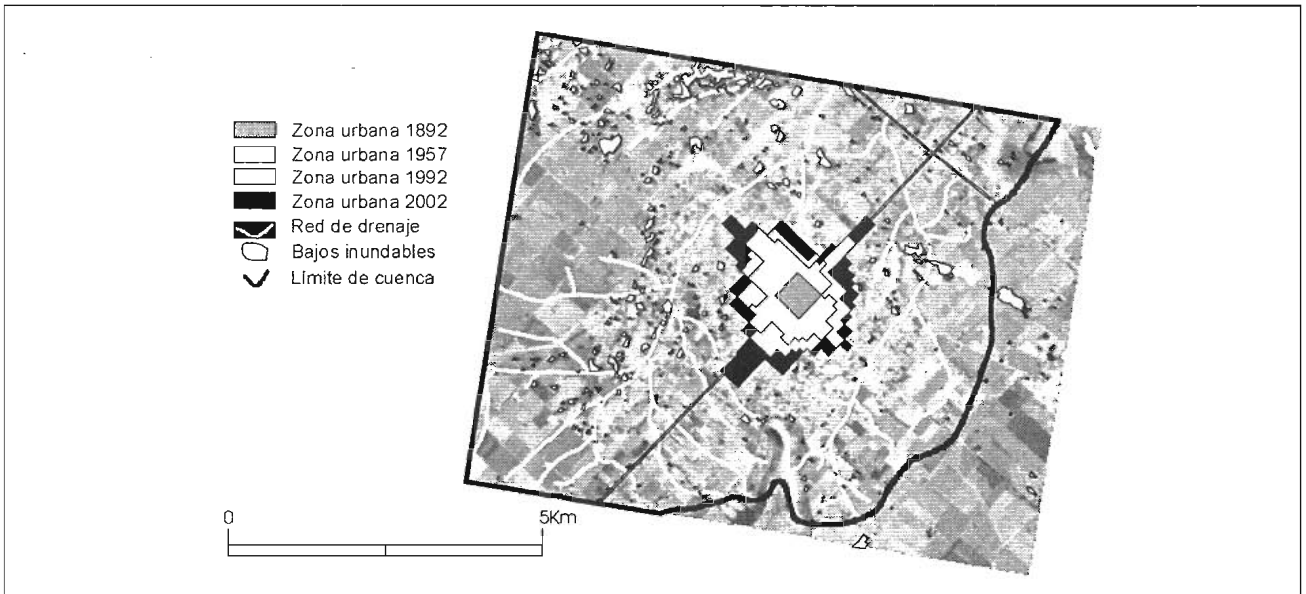
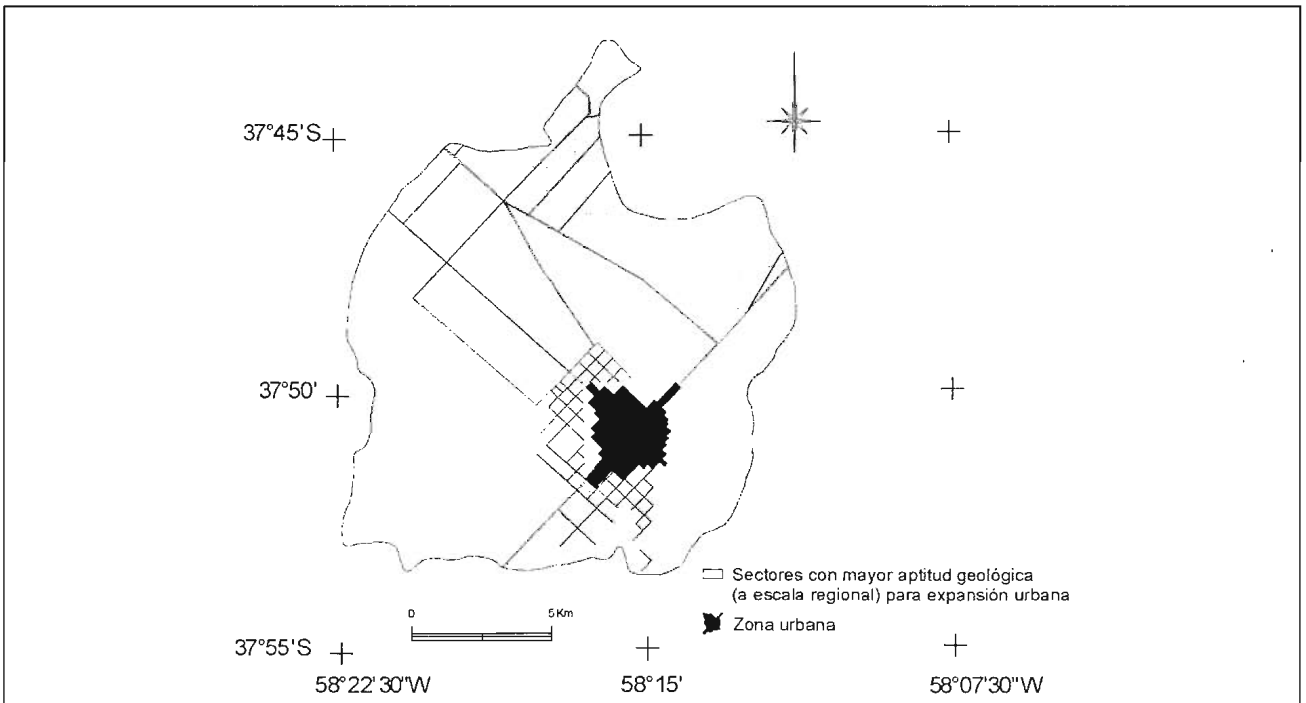


FIGURA 11. MAPA DE APTITUD GEOLÓGICA PARA EXPANSIÓN URBANA EN LA CUENCA SUPERIOR DEL ARROYO PANTANOSO



obtener una mejor compatibilidad entre actividades a la hora de agregar a las potencialidades y limitaciones geológicas, las provenientes de otros campos del conocimiento.

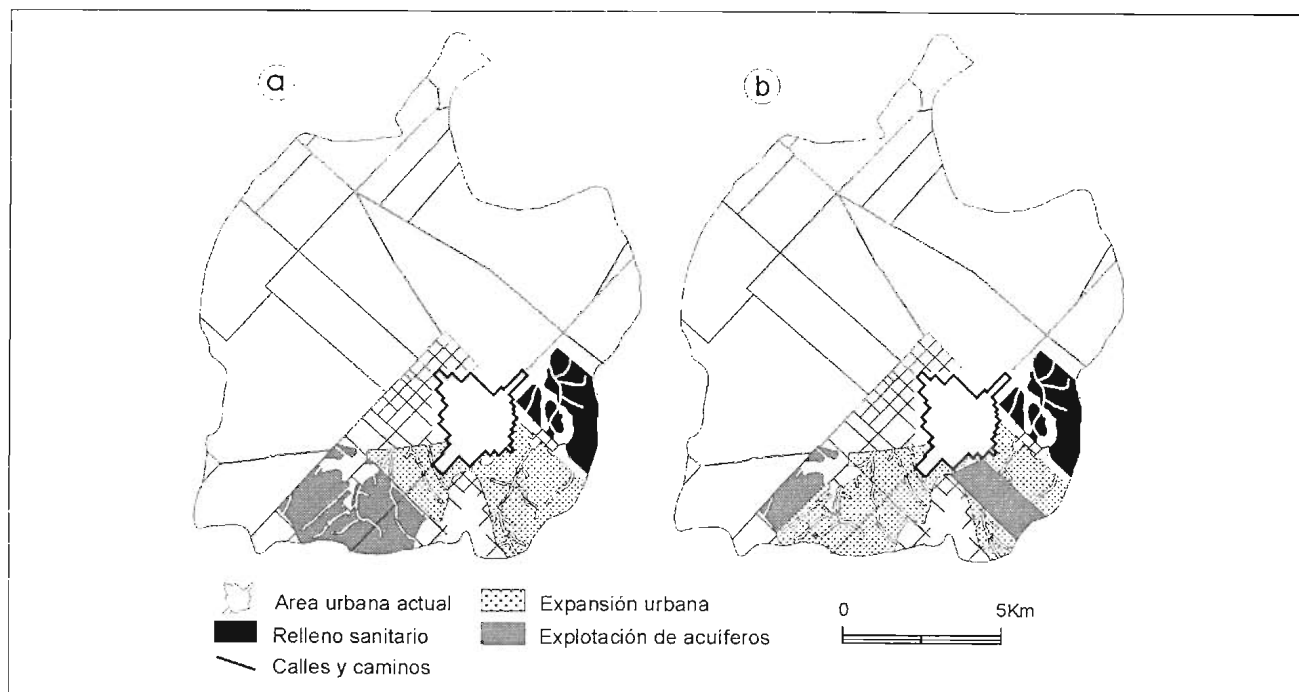
**4. CONCLUSIONES**

La ciudad de Balcarce debe su localización en las nacientes del Arroyo Pantanoso a la disponibilidad de tierras fiscales al momento de la fundación. La ciudad muestra, desde las últimas décadas, una tendencia al crecimiento urbano multidireccional, donde una parte importante de las áreas de crecimiento son consideradas como de escasa aptitud geológica para dicha actividad en este trabajo. Ello implica, en principio, la mayor exposición

de los habitantes a fenómenos de inundación y/o contaminación de acuíferos, siendo necesario la realización de trabajos de evaluación de los riesgos asociados a dichos procesos para tener una cuantificación de estos problemas potenciales. Es factible, en función de lo evaluado en este trabajo, lograr una mejor armonía entre crecimiento urbano, elementos y procesos naturales y calidad de vida de la población, estimulando, mediante una adecuada política de crecimiento urbano la expansión hacia áreas con mejor aptitud geológica. Ellas se ubican, esencialmente, hacia el sureste y suroeste del actual ejido urbano, existiendo un área de unas 2 000 ha donde seleccionar aquellas áreas donde se verifique la mejor compatibilidad con otras restricciones de origen no-geológico.



FIGURA 12. MAPA DE RECOMENDACIONES DE USO DEL SUELO. a: escenario 1. b: escenario 2



## 5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CENDRERO, A. Y DIAZ DE TERÁN, J., 1987.

The environmental map system of the University of Cantabria, Spain. Arndt y Lüttig (Eds.):  
*Mineral resources' extracción, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries.* 149-181.

DALLA SALDA, L. E IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A., 1979.

La Tinta. Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires.  
*VII Congreso Geológico Argentino, 1: 539-550, Neuquén.*

DIMARCO, L. 2003.

Procesos y transformaciones en la ciudad de Balcarce.  
*Revista I+A. FAU-UNMdP, Año 8 (8). 41-54.*

DIMARCO, L. Y LEIVA, M. 2003.

Áreas de valor patrimonial en Balcarce.  
*Revista I+A. FAU-UNMdP, Año 8 (8). 55-68*

MARSH, W., 1991.

Landscape Planning. Environmental Applications.  
*J. Wiley (Ed.) 2da Edición. Nueva York. 340 pp.*

MASSONE, H. 2003.

Geología y Planificación Territorial en la Cuenca Superior del Arroyo Grande.  
*Tesis Doctoral inédita. FCN-UNLP 211 pp.*

STRAHLER, A., 1952.

Dynamic basis of geomorphology.  
*Geol. Soc. Amer. Bull., 63. 923-938.*

SALA, J.M., 1975.

Recursos Hídricos. Relatorio  
*VI Congreso Geológico Argentino. 169-194. Bs. As.*

SALA, J.M., 1977.

Caracterización hidrológica preliminar del ambiente periserrano de Balcarce.  
*Convenio Min. Agr.-Fac. Cienc. Nat. y Museo, La Plata, 32pp.*

TERUGGI, M.E., 1954.

El mineral volcánico-piroclástico en la sedimentación cuaternaria argentina.  
*Rev. Asoc. Geol. Arg. IX:3. 184-191. Buenos Aires.*



## Antiguas "minas de arena" y daños en obras

### Tandil, Provincia de Buenos Aires

Gentile, Rodolfo Osvaldo <sup>1, 2</sup> - Villalba, Horacio Alejo <sup>2</sup>

#### Resumen

*Durante parte del siglo XX, se explotaron en distintos sectores del subsuelo de la ciudad de Tandil depósitos fluviales que eran utilizados en la industria de la construcción. Como consecuencia de aquella actividad, la que pudo haberse iniciado a finales del siglo XIX, se generó un conjunto de excavaciones subterráneas conocidas localmente como "minas de arena". La información obtenida de perforaciones, fuentes escritas locales y consultas a habitantes de la ciudad citada permitió diferenciar al menos cinco sectores con "minas de arena" ubicados dentro del ejido urbano y adyacencias. Allí, la presencia de las galerías subterráneas favoreció el desarrollo de procesos de remoción en masa (colapsos por cavidad y asentamientos). Dichos procesos, que generaron un conjunto significativo de daños en distintos tipos de obras, involucran colapsos debido a la presencia de cavidades registrados en viviendas y calles de la ciudad, asentamientos en viviendas y una pista local de aterrizaje de pequeña envergadura, fracturas de distinto tipo, inclinación de marcos de puertas y ventanas, problemas de cierre, despegue de pisos, derrumbes de pozos ciegos, demolición de parte o de la totalidad de viviendas e inconvenientes durante la etapa de construcción de algunos edificios. Como consecuencia de aquellos se produjeron lógicos perjuicios económicos y dificultades en el normal desenvolvimiento de actividades. Un conjunto de medidas que podría ser implementado, tendría como objetivo alcanzar un conocimiento más detallado acerca de la distribución, desarrollo y estado de las "minas de arena", lo que contribuiría al establecimiento de pautas de planificación y a la prevención de problemas derivados de la construcción en zonas afectadas por las mismas.*

**Palabras clave:** "minas de arena", colapsos, asentamientos, daños en obras.

#### Abstract

*Towards the end of the 19 century, fluvial sand deposits began to be exploited for building purposes in some underground areas in the city of Tandil. This activity continued during part of the 20 century and was responsible for the presence of a set of underground excavations, locally known as sand mines, which can be located at several points within the city. Information obtained from drillings as well as from oral and written local sources was used to identify at least five areas with sand mines in the city and its surroundings. The existence of underground galleries has driven cavity collapse and settlement processes. These processes have been directly or indirectly responsible for extended damage caused to different structures. These damages include: cracks of different type, tilting of doors and windows, floor collapse in houses and streets, in holes for sewage disposal, and in a small local landing field.*

*Some houses had to be partially or completely demolished, and there have been problems during the construction stage of several buildings. A more detailed knowledge of the location and present condition of the sand mines would contribute to establish a set of*

*rules to prevent any possible problems arising from building in those zones affected by them.*

Entregado: 18 de Agosto de 2006 ■ Aceptado: 12 de Febrero de 2007

1 Cátedra de Geomorfología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (Universidad Nacional de La Plata).

2 Cátedra de Geomorfología y Geología del Cuaternario, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro (Provincia de Buenos Aires).

**Keywords:** "sand mines", collapse, settlement, works damages.

## 1. INTRODUCCIÓN

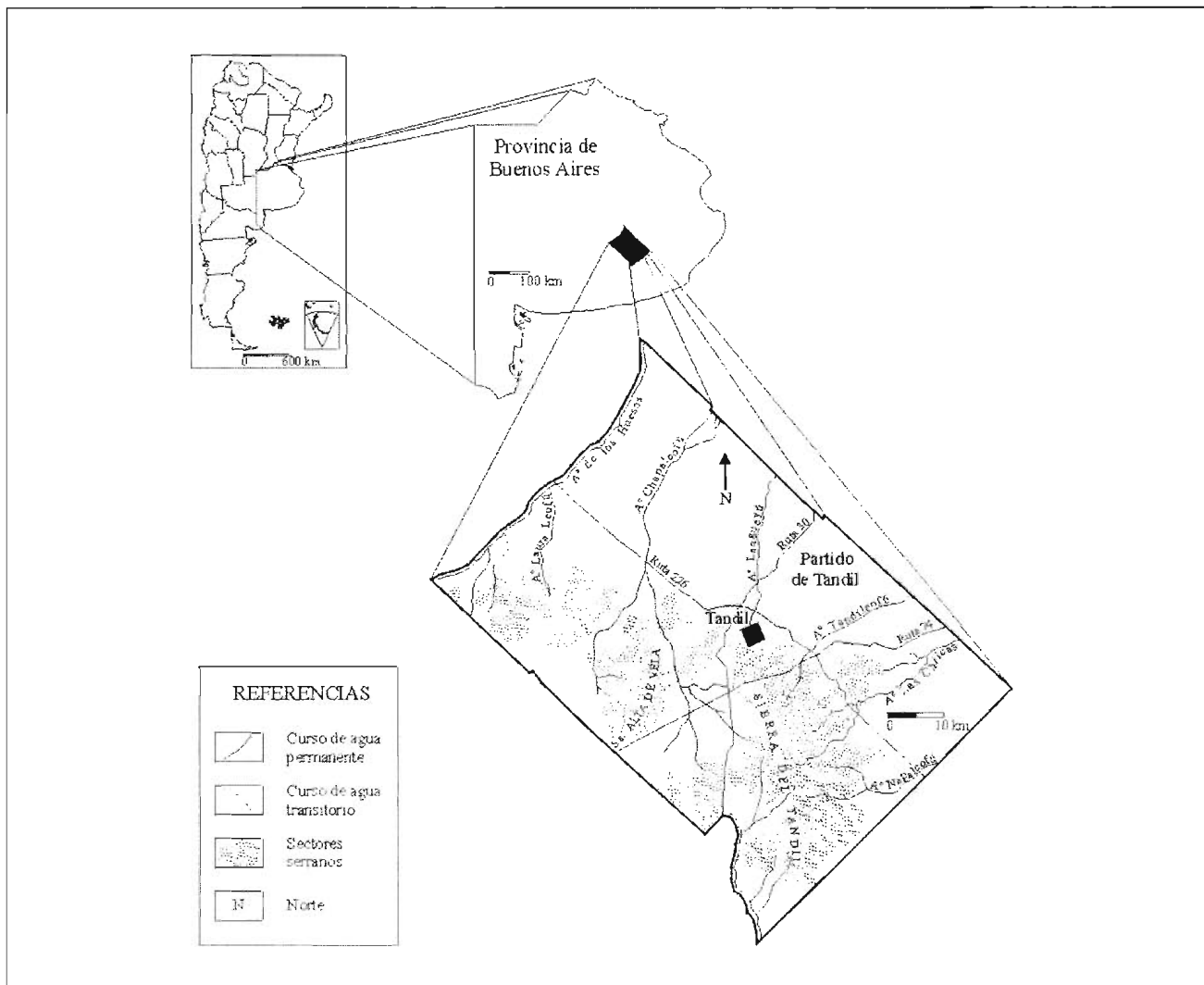
La actividad minera que en el partido de Tandil se ha desarrollado desde el siglo XIX tiene en las rocas de aplicación las principales explotaciones. Dentro de estas últimas, la producción corresponde básicamente a la extracción y beneficio de "granitos" los que constituyen los materiales básicos de la actividad minera de Tandil, representando este partido una de las áreas de mayor producción de rocas graníticas (fundamentalmente piedra partida) de la provincia (Tessone y Marchionni 2000). Con el "granito", nombre genérico que Angelleli (1975) utilizara para agrupar rocas ígneas y metamórficas del basamento cristalino, se inicia la producción minera en dicha ciudad hacia 1870 mediante la extracción de aquella roca para construcción de adoquines y cordones (Caballé y Kirilovsky 2004), la que era explotada del cerro de los Leones (Caballé et al. 2004). A la antigua elaboración artesanal de adoquines y cordones continuó la producción de triturados (Caballé et al. 2005). Actualmente y vinculado con la explotación de rocas ornamentales la producción de adoquines, granitullo, lajas y bloques irregulares se realiza en forma artesanal (Echeveste et al. 2005) desarrollándose la extracción en canteras a cielo abierto, muchas de ellas en las proximidades de la ciudad. Asimismo, materiales producto de alteración química, originados a partir de rocas del basamento cristalino, conocidos localmente como arena de cantera, fueron y son uti-

lizados con distintas aplicaciones en la industria de la construcción de dicha ciudad.

No obstante, durante parte del siglo XX fue una práctica algo común dentro del actual ejido urbano y alrededores de la ciudad la extracción esencialmente de arenas fluviales ubicadas en el subsuelo e integrantes, conjuntamente con depósitos predominantemente limosos, de los denominados Sedimentos Pampeanos (Fidalgo et al. 1975). Aquella actividad, que podría haberse iniciado hacia finales del siglo XIX (Pérez 2000) y que era llevada a cabo indistintamente por particulares como asimismo por pequeños emprendimientos, dejó como resultado de las labores, un conjunto no determinado de galerías subterráneas en distintos sectores de la ciudad, conocidas localmente como "minas de arena".

El objetivo del trabajo se vincula con la caracterización general de dichas "minas de arena", las que fueron reconocidas en algunos sectores del subsuelo de la ciudad de Tandil y la incidencia que han tenido en distintos tipos de obras realizadas por el hombre. Esta localidad, ubicada en el sector central del cordón serrano de Tandilia (Nágera 1940), se encuentra en la zona centro de la Provincia de Buenos Aires y tiene como coordenadas geográficas: 59° 08'00" de Longitud Oeste y 37° 19'30" de Latitud Sur (Fig. 1).

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL AREA



Durante el desarrollo del trabajo fueron utilizados mapas topográficos del Instituto Geográfico Militar confeccionados en escala 1:50.000 (Tandil: 3760-23-4 y Sierra del Tandil: 3760-29-2) y otros de mayor detalle correspondientes al ejido urbano y alrededores. La información respecto a la ubicación de las "minas de arena" como asimismo los daños ocasionados, fueron obtenidos principalmente a partir de notas registradas en

periódicos de aquella localidad, informes técnicos, consultas efectuadas a vecinos y observaciones propias.

## 2. GEOLOGÍA

La geología del área está representada por dos conjuntos rocosos claramente diferenciables: Basamento cristalino y Cubierta Sedimentaria de edad Cenozoico superior (Tabla 1).

TABLA 1. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Unidades Estratigráficas	Autor	Edad	
Aluvio	Rabassa (1973)	Reciente	Cubierta Sedimentaria del Cenozoico superior
Formación Tandileofú	Rabassa (1973)	Pleistoceno superior	
Formación Las Animas	Rabassa (1973)	Pleistoceno superior y Reciente	
Formación Vela	Rabassa (1973)	Pleistoceno medio	
Formación Barker	Rabassa (1973)	Plioceno – Pleistoceno Inferior ?	
Formación El Cortijo	Teruggi et al. (1988)	Proterozoico	Basamento cristalino
Complejo Buenos Aires	Marchese y Di Paola (1975)	Precámbrico	

El Basamento cristalino desarrollado en Tandilia fue denominado Complejo Buenos Aires (Marchese y Di Paola, 1975). Hacia el este de la ciudad de Tandil, metamorfitas de bajo grado con afinidades oceánicas fueron agrupadas como Formación El Cortijo (Teruggi et al. 1988). En el área de la ciudad y adyacencias Dalla Salda (1999) mapeó migmatitas, granitoides, milonitas y metavulcanitas.

La Cubierta Sedimentaria de edad Cenozoico superior que se desarrolla en el sector de estudio está integrada por secuencias de génesis continental que fueron agrupadas por Rabassa (1973) como Formación Barker, Formación Vela, Formación Las Animas, Formación Tandileofú y Aluvio.

Los depósitos de la Formación Barker, de acuerdo al autor citado, se componen de limolitas castaño rojizas, arcillosas, sin estratificación aparente, muy homogéneas lateralmente y compactas. En general carece de carbonato de calcio en su masa a excepción de muñecos de tosca, algunos de grandes dimensiones. Presenta además impregnaciones ferruginosas diseminadas en la masa y subyace a los depósitos de la Formación Vela. Siguiendo con el autor, esta última, se trata de una limolita color castaño claro, relativamente compacta, que presenta en algunos casos depósitos arenosos en su base y hacia los términos superiores un importante manto de tosca. Carece normalmente de estructuras, pero algunos niveles presentan estratificación, con alternancia de niveles pelíticos y arenosos.

La Formación Las Animas está integrada por limos arenosos de color castaño amarillento, sin estructuras ni estratificación, con escaso carbonato de calcio, el cual está generalmente ausente. Los depósitos tienen un aspecto loésico muy marcado y se presentan totalmente sueltos (Rabassa 1973). La unidad es homogénea, pudiendo diferenciarse en su masa clastos de tamaño pséfita preferentemente de basamento cristalino y tosca y constituye el material a partir del cual se desarrollan los principales suelos del área.

Fuera del sector de trabajo, depósitos fluviales integrantes de la Formación Tandileofú, fueron identificados en el arroyo

homónimo. Allí, integran un miembro inferior arenoso a sabulítico de color castaño y uno superior limo arcilloso, verde a gris verdoso (Rabassa 1973). El Aluvio, diferenciado en distintos cursos en el área se integra principalmente por arenas y limos arcillosos.

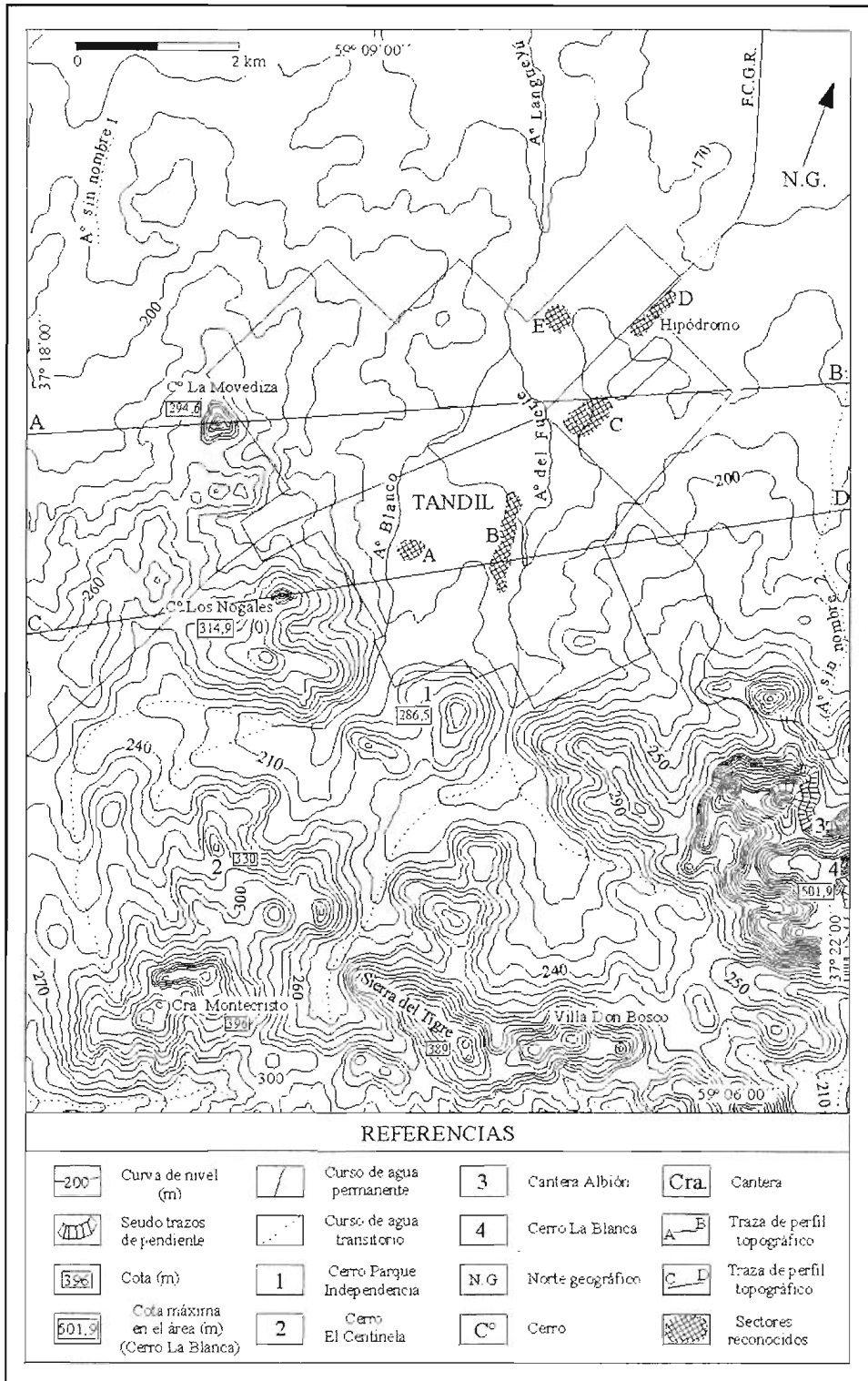
Considerando la Cubierta Sedimentaria de edad Cenozoico superior, las tres primeras unidades descritas presentan el máximo desarrollo, siendo la Formación Las Animas la unidad de mayor distribución superficial.

## 3. CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE Y DRENAJE

Las principales características del relieve en el área (Figs. 2 y 3) integran dos sectores bien definidos. Uno de ellos, correspondiente al de mayor relieve y elaborado principalmente en rocas del basamento cristalino, se ubica preferentemente hacia el sur de la ciudad; mientras que manifestaciones menores se diferencian en parte de los extremos este y oeste. En el sector considerado se ubican los principales cerros y serranías integrantes de las denominadas Sierras de Tandil. Las mayores alturas se ubican en los cerros Parque Independencia (286,50 m), La Movediza (294,60 m), Los Nogales (314,90 m), El Centinela (330 m aproximadamente), Sierra del Tigre (389 m) y cantera Montecristo (396 m), mientras que en cercanías de la cantera Albión, en el sector este del área, la altura máxima se ubica en el Cerro La Blanca con 501,90 metros.

A partir de un frente serrano ubicado en alrededor de los 200 - 230 m se accede al sector restante de relieve más suave, desarrollado principalmente hacia el extremo norte del área. En este ámbito, donde se encuentra una gran parte del ejido urbano de la ciudad de Tandil, se diferencian lomadas integradas principalmente por depósitos de las formaciones Barker, Vela y Las Animas. En ocasiones son alargadas en dirección aproximada norte - sur, las que van disminuyendo gradualmente de altura a partir del frente serrano y en otras equidimensionales las que suelen presentarse aisladamente. Si bien el basamento cristalino en este ámbito puede integrar escasos afloramientos menores,

FIGURA 2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS DEL ÁREA

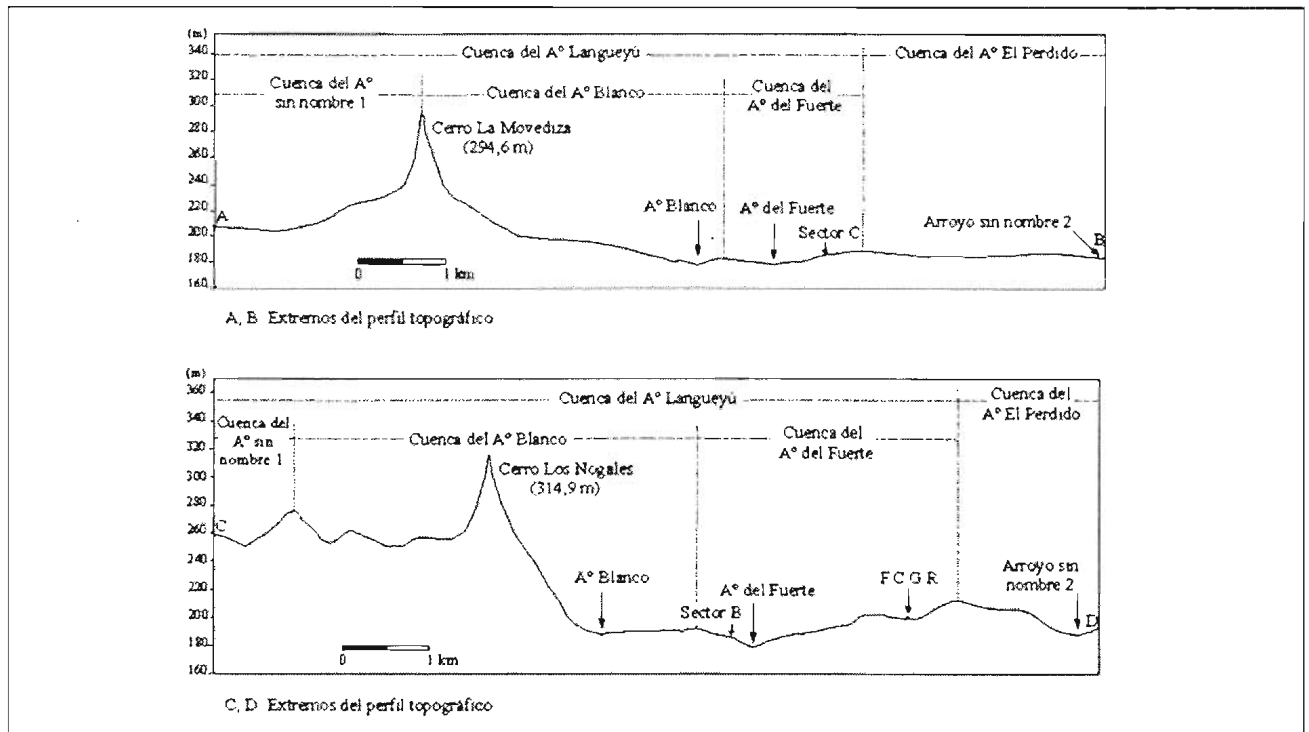


la masa fundamental se ubica por debajo de depósitos del Cenozoico superior. El relieve local (Summerfield 1991) entre ambos sectores dentro del área es de aproximadamente 341 m (Fig. 3).

En el área cercana a la ciudad el escurrimiento superficial se concentra principalmente en las cuencas de drenaje del A° Blanco y A° del Fuerte, las que presentan un desarrollo superficial de aproximadamente 30 km<sup>2</sup> cada una.

Las divisorias de dichas cuencas se desarrollan en el ámbito serrano de mayor relieve, sobre cerros y lomadas elaborados mayoritariamente en rocas del basamento cristalino; mientras que en el sector de menor relieve se ubican básicamente en lomadas con cobertura sedimentaria del Cenozoico superior, coronadas principalmente por depósitos correspondientes a la Formación Las Animas.

FIGURA 3. PERFILES TOPOGRÁFICOS



La red de drenaje de mayor grado de desarrollo en la zona serrana presenta, dentro de la ciudad, dos colectores importantes; A° Blanco y A° del Fuerte. El primero presenta en la zona de mayor relieve una pendiente longitudinal cercana al 2%, mientras que una pendiente de mayor valor (aproximadamente 7%) caracteriza al A° del Fuerte en el mismo ámbito. Ambos cursos, en el sector de menor relieve, van disminuyendo la pendiente desde las proximidades del frente serrano (alrededor de 0,5%) hacia las partes distales bajas (aproximadamente 0,4%).

Dichos colectores, en gran parte entubados en su recorrido a través de la ciudad, confluyen para formar el A° Langueyú en la zona de menor relieve, a unos 4 - 5 km aproximadamente del frente serrano. Por su parte, la distancia máxima desde el sector de confluencia de ambos cursos para formar el A° Langueyú hasta la zona de cabeceras es de algo menos de 10 kilómetros.

La acción fluvial ha modelado valles mejor desarrollados en el ámbito de mayor relieve, allí presentan laderas de valles con valores frecuentes en la cuenca de drenaje del A° del Fuerte comprendidos entre alrededor del 12% al 25%, esta última en sectores de cabeceras; mientras que en la cuenca del A° Blanco son comunes valores cercanos al 12% - 15%. Estas pendientes de laderas contrastan marcadamente con aquellas registradas en la zona de menor relieve, donde en el A° Langueyú, hacia las partes distales del sector son menores en general al 1%.

#### 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS "MINAS DE ARENA" Y ASPECTOS RELACIONADOS

A partir de la información obtenida de distintas fuentes consultadas y observaciones propias se ha podido conocer un conjunto de características de las denominadas "minas de arena", tales como ubicación, dirección, extensión, desarrollo, forma y profundidad a la cual se ubican; como asimismo algunos datos respecto a la altura, ancho y aspecto morfológico superfi-

cial generado como consecuencia de las antiguas extracciones y edad.

Con respecto a la ubicación, las minas citadas fueron diferenciadas principalmente en cinco sectores: A, B, C, D, E (Figs. 2 y 4) del área urbana y suburbana de la ciudad, desarrollados en el ámbito de suave relieve e integrando parte de las cuencas de drenaje de los arroyos Blanco, del Fuerte, Langueyú y Perdido. En dichas figuras, las líneas de trazos que los limitan tienen simplemente como objetivo agrupar el conjunto de datos obtenidos, ya que nueva información modificará dichos límites y quizás permitirá establecer nuevos sectores.

Un detalle de la ubicación y las distintas fuentes consultadas se muestra en las Tablas 2 y 3. En estas además se colocaron algunas localidades (en adelante L) con evidencias de depósitos fluviales integrantes de los Sedimentos Pampeanos (Fidalgo *et al.* 1975), los que fueron reconocidos fuera (perforaciones y afloramiento) y dentro de los sectores diferenciados (perforaciones y excavación). Adicionalmente, en la Tabla 4 se muestran algunos datos respecto a aquellos diferenciados en L7.

El Sector A se ubica en la margen derecha del A° Blanco, en un área comprendida aproximadamente por las calles Garibaldi, 14 de Julio y Avenida España. Las evidencias de "minas de arena" se encuentran entre unos 150 - 300 m del curso mencionado.

El Sector B se reconoce en la margen izquierda del A° del Fuerte, en un área determinada aproximadamente por las calles Gral. Paz y Belgrano hasta las calles Gral. Roca y Las Heras. Presenta una extensión cercana a los 1 000 m estando ubicadas las manifestaciones de "minas de arena" entre unos 150 - 350 m del arroyo antes citado.

El Sector C se encuentra en la margen derecha del A° del Fuerte, específicamente desde el extremo sur del predio del Hipódromo de la ciudad, hasta las adyacencias de la calle Primera

**TABLA 2. UBICACIÓN DE "MINAS DE ARENA"** Depósitos fluviales detectados a partir de perforaciones (■). Depósitos fluviales observados en excavación (▼)

Sector	Localidad	Fuente de obtención de los datos	Ubicación	Tipo de obra
A	1	Vecino	Calle Garibaldi entre calles San Lorenzo y 14 de Julio	Casa particular
	2	Vecino	Calle 14 de Julio casi esquina calle Garibaldi	Casa particular
	3	Vecino	Esquina de calles Avenida España y 14 de Julio	Estación de servicio (Etapa de construcción)
B	4	Vecino	Esquina de calles Gral. Paz y Belgrano	Casa particular
	5	Vecino	Esquina de calles Avenida Santamarina y San Martín	Edificio en propiedad horizontal
	6	Pérez (2000, 2003)	Calle Garibaldi entre calles Gral. Roca y Alsina	Calle
	7 (■)	Villalba (2003)	Esquina de calles Avenida Marconi y 4 de Abril	Casa particular no habitada
	8	Vecino	Calle Mitre entre calles 4 de Abril y Alsina	Casa particular
	9 (▼)	Observaciones propias	Esquina de las calles Gral. Paz y San Martín	Edificio en propiedad horizontal (Etapa de construcción)
	10	Vecino	Calle Las Heras entre calles Alsina y Gral. Roca	Calle y casa particular
C	11	Diario Nueva Era -Tandil- (1973)	Calle Primera Junta entre calles Méjico y Rauch	Calle
	12	Diario Nueva Era -Tandil- (2002)	Esquina de calles Primera Junta y Gómez	Parte de casa y vereda Barrio FATICA
	13	Diario Nueva Era -Tandil- (2002)	Cercanías de Localidad 12	Barrio FATICA
	14	Villalba (1998 a, b)	Esquina de calles Méjico y P. de Ugalde	Escuela N° 47
		Diario Nueva Era -Tandil- (1998 a, b)		
		Diario El Eco de Tandil(2005 b)		
	Diario Nueva Era -Tandil- (2005)	Esquina de calles Méjico y P. de Ugalde	Escuela N° 47	
15	Villalba (1998 b) y Darragueira.	Terrenos adyacentes a la Escuela N° 47	Calle Méjico entre P. de Ugalde	

Junta, a unos 400 m al suroeste de la Ruta Nacional 226. Las evidencias de las minas varían entre unos 200 - 1 000 m del arroyo mencionado.

El Sector D se diferencia en la margen derecha del A° Languyú, hacia el norte y oeste del predio del hipódromo. En este sector, las "minas de arena" se ubican a aproximadamente 1 300 - 1 500 m del arroyo citado.

El sector E, al igual que el anterior, se ubica en la margen derecha del A° Languyú, en las cercanías de la Fábrica La Tan-

dilera. Las evidencias de "minas de arena" se ubican a unos 350 - 400 m de dicho curso.

Los sectores diferenciados muestran, en conjunto, una dirección principal predominante sur - norte, con una extensión máxima entre los extremos de los sectores A y D de aproximadamente 4,5 kilómetros. Esta es también la dirección general del A° del Fuerte a lo largo de un trayecto de aproximadamente 4 km, desde las cercanías del Parque Independencia hasta las proximidades de la calle Primera Junta, estando

TABLA 3. UBICACIÓN DE "MINAS DE ARENA" Depósitos fluviales en afloramiento (+). Depósitos fluviales en perforaciones (x).

Sector	Localidad	Fuente de obtención de los datos	Ubicación	Tipo de obra
C	16	Vecino	Calle Colectora Sur J. C. ugliese entre calles Méjico y Guatemala	Quinta El Remanso
	17	Vecino	Calle Guatemala entre calles Darragueira y P. de Ugalde	Casa particular
D	18	GEA (2004)	Frente al Hipódromo	Terrenos baldíos
	19	Observaciones propias	Frente al Hipódromo	Terrenos baldíos
	20	Observaciones propias	Frente al Hipódromo	Terrenos baldíos / pista local de aterrizaje
E	21	Villalba (1998 c)	Zona de Fábrica La Tandilera	Casas en Barrio Autoconstrucción Municipal (Barrio La Tandilera)
		Diario Nueva Era -Tandil-(2003)	Zona de Fábrica La Tandilera	Barrio La Tandilera
		Diario El Eco de Tandil (2005 a)	Zona de Fábrica La Tandilera	Barrio La Tandilera
	22	Vecino	A unos 150 m del Barrio La Tandilera	Casa particular
	23	Vecino Rosales y Labardén	Calle Vigil entre calles Fuera de los sectores	Casa particular
Fuera de los Sectores	24 (+)	Rabassa (1973) y Avenida Avellaneda	Esquina de calles Alsina	Casa particular
	25 (x)	Observaciones propias	Calle 9 de Julio entre calles Constitución y Avenida Avellaneda	Casa particular

TABLA 4. DEPÓSITOS FLUVIALES DETECTADOS A PARTIR DE PERFORACIONES

Sector	Localidad	Fuente de obtención de los datos	Ubicación	Perforación	Profundidad al techo de los depósitos fluviales desde la superficie (m)	Espesor de los depósitos fluviales (m)
B	7	Villalba (2003)	Esquina de calles Avenida Marconi y 4 de Abril	1	2	4
				2	2,2	1,5
				3	2,2	0,95
				4	2,3	0,80

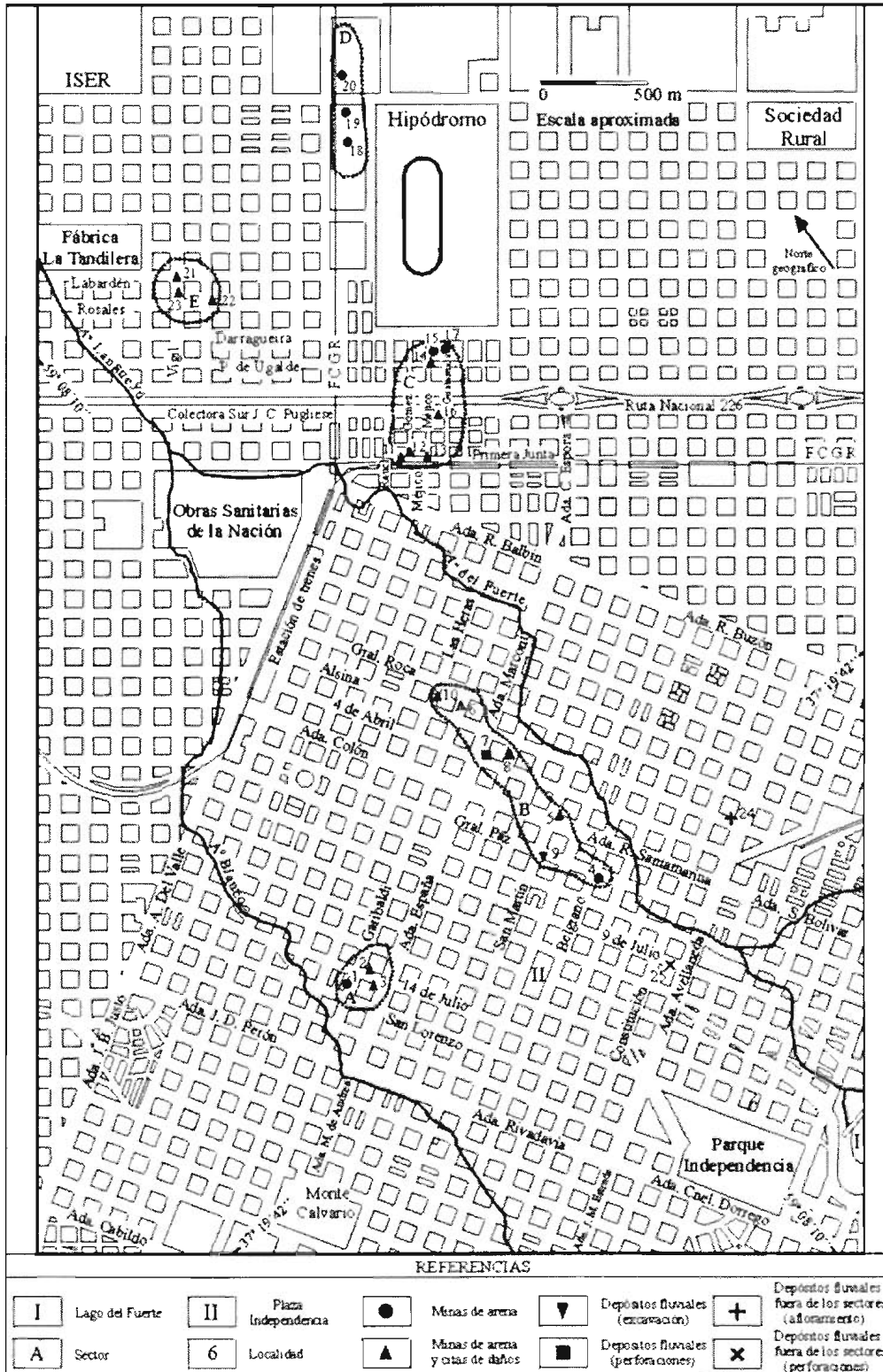
además en parte de este recorrido y desarrollado paralelamente al citado curso la totalidad del Sector B (Figura 4). A partir de dicha calle, mientras que el curso del arroyo se desvía hacia el noroeste por un trayecto de unos 500 m, los sectores C y D en conjunto adquieren una dirección nor-noreste / sur-sureste.

Algunas dimensiones de las "minas de arena" se obtuvieron del registro de perforaciones realizadas en la Escuela

Nº 47 (Villalba 1998 a, 1998 b) y en terrenos adyacentes a la misma (Villalba, 1998 b) correspondientes a L14 y L15 (Tablas 5 y 6), respectivamente, como consecuencia de un derrumbe que se produjo en un patio de la misma en el mes de Marzo del año 1998 (Diario Nueva Era 1998 b). Otras fueron conseguidas del mapeo de "minas de arena" que fuera realizado en L18 (Gabriele et al. 2004) y nuestras observaciones en L19.



FIGURA 4. UBICACIÓN DE "MINAS DE ARENA", DEPOSITOS FLUVIALES Y DAÑOS / PROBLEMAS EN OBRAS



En L18 (Sector D) frente al predio del Hipódromo de Tandil las "minas de arena" muestran una red de galerías interconectadas dentro de un área de unos 700 m<sup>2</sup> (aproximadamente 30 m de longitud y unos 23 m de ancho). Allí presentan un perfil de sección rectangular, con cierta tendencia a techos circulares o parabólicos (Gabriele et al. 2004). En L19 (Sector D), se observa una situación similar de galerías en parte interconec-

tadas, con cámaras en distintas direcciones, longitudes variables de 5- 15 m y desarrollo de secciones parabólicas en general.

En la Escuela N° 47 y terrenos adyacentes, de un total de 18 perforaciones efectuadas (de las cuales 10 no presentaron cavidades), en ocho de ellas la profundidad a la cual se presentó el techo estuvo comprendida entre los 4,6 y los 10 m (Tablas 5 y

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE LAS "MINAS DE ARENA" OBTENIDAS DEL REGISTRO DE PERFORACIONES EN LA ESCUELA N° 47 (Villalba, 1998 a)

Sector C Localidad 14)											
Perforación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Profundidad al techo de la mina desde la superficie (m)	4,6	-	-	8	10	10	10	-	10	-	-
Altura de la mina (m)	2,2	-	-	1,2	0,8	0,6	0,5	-	0,6	-	-
Ubicación Escuela N° 47 (Esquina de calles Méjico y P. de Ugalde)											

TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LAS "MINAS DE ARENA" OBTENIDAS DEL REGISTRO DE PERFORACIONES EN LA ESCUELA N° 47 Y TERRENOS ADYACENTES (Villalba, 1998 b)

Perforación	Sector C (Localidad 15)						Sector C (Localidad 14)
	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Profundidad al techo de la mina desde la superficie (m)	-	-	7,8	-	-	-	9,8
Altura de la mina (m)	-	-	2	-	-	-	0,8
Ubicación	Terrenos adyacentes a la Escuela N° 47 (Calle Méjico entre calles P. de Ugalde y Darragueira)						Escuela N° 47 (Esquina de calles Méjico y P. de Ugalde)

FIGURA 5. LOCALIDAD 19. ASPECTO DE UN SECTOR DE GALERÍAS (A): Depósitos fluviales. (B): Limos / limolitas. La línea de trazos blanca indica el límite. (1): aproximadamente 1,2 m, (2): 0,5 m, (3): 2 metros.

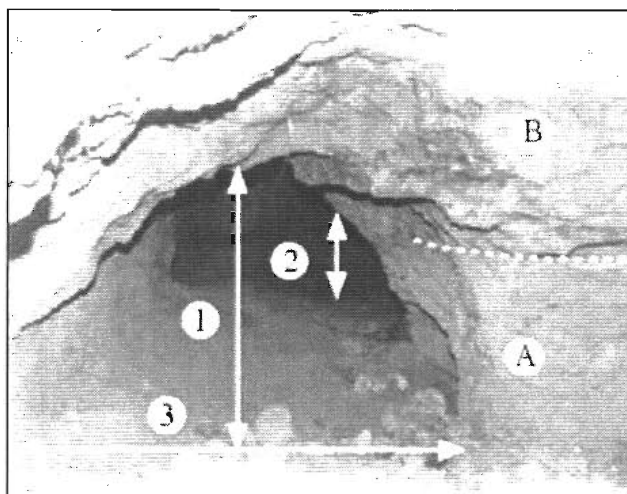
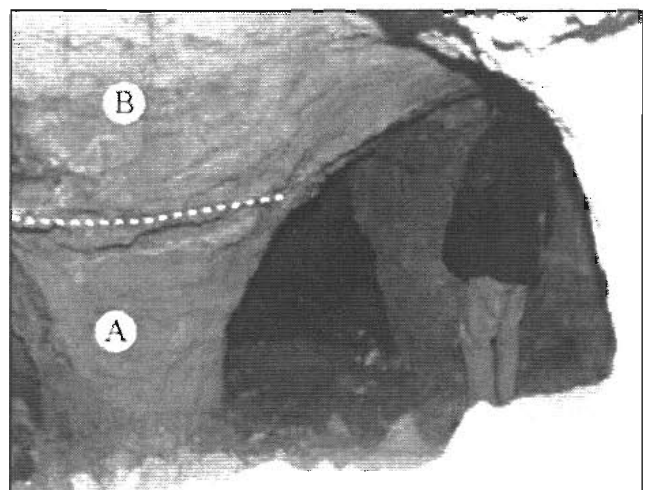


FIGURA 6. LOCALIDAD 19. OTRO SECTOR DE GALERÍAS. La sección es de aspecto parabólico, con una altura máxima cercana a unos 2,2 m. (A): Depósitos fluviales. (B): Limos / limo-litas. La línea de trazos blanca marca aproximadamente el contacto.



6). Por su parte, en L18 las "minas de arena" se encontraron a partir de una profundidad aproximada de 3,5 metros.

En la Escuela N° 47 y terrenos adyacentes la altura varió entre 0,5 m - 2,2 m; en L18 entre 0,5 m - 1,5 m pudiendo alcanzar algunas cámaras de esta última localidad los 2 m de altura; mientras que en L19, está comprendida entre 0,5 m a unos 2,2 m (Figs. 5 y 6). Por su parte en L18 las galerías presentaron unos 1,5 a 2 m de ancho, llegando a desarrollar cámaras que pasan los 3 m de ancho, siendo comunes en L19 anchos de aproximadamente 1 m - 2 metros.

La expresión morfológica del relieve, consecuencia de la actividad extractiva, solamente pudo ser observada en las localidades 19 y 20, ya que gran parte de los sectores diferenciados corresponden a zonas con construcciones en superficie. En la primera de las localidades citadas se ubican alrededor de 10 bocas de acceso a las minas y el relieve se integra por suaves lomadas y depresiones de 0,5 - 1,5 m de altura, presentándose una situación similar en cuanto a la morfología superficial en la restante localidad, pero con una cantidad significativamente menor de bocas de acceso.

Con respecto a la edad y no obstante ser común referirse a ellas como antiguas (*Diario Nueva Era 2002, Pérez 2003*), viejas o remotas (*Pérez 2000*) "minas de arena", no existe una fecha precisa con respecto a cuando comenzaron a desarrollarse estas prácticas de extracción de depósitos de arena del subsuelo, existiendo de la misma manera incertidumbre con relación al momento en que estas actividades cesaron. Al respecto, se ha señalado que las arenas extraídas se utilizaron en la construcción durante el siglo XIX y los primeros años del siglo XX (*Pérez 2000*). Por otro lado, mientras que para algunos, las "minas de arena" fueron abandonadas al promediar el siglo pasado (*GEA. 2004*), para otros están en desuso desde hace casi un siglo (*Diario Nueva Era 2003*). Asimismo, la información obtenida de fuentes locales ha permitido conocer que para algunos frentes de viviendas, cuya construcción se realizó en gran medida hacia la mitad del siglo pasado, se habrían utilizado al menos parte de las arenas extraídas del subsuelo cercano.

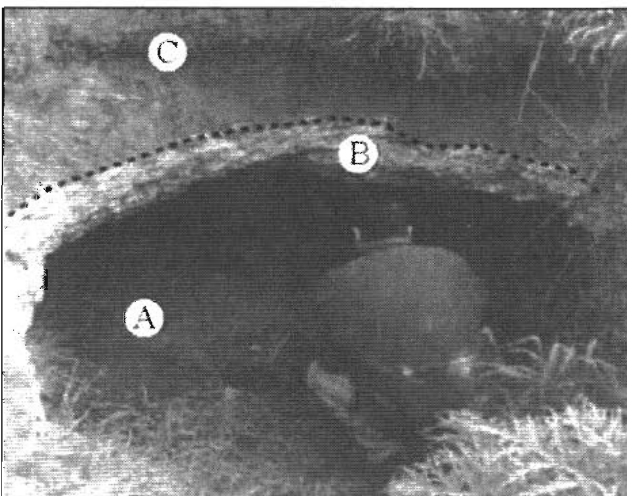
En L19, a través de una abertura (Fig. 7) se accedió a algunas de las minas que allí se desarrollan. En distintos sectores

de las galerías se diferencian a partir de la base secuencias fluviales (Figs. 5, 6 y 8) las que pueden alcanzar alrededor de 1,3 m de potencia. Las mismas, están representadas principalmente por arenas / areniscas gravosas de color castaño, poco compactadas, de granometría predominantemente gruesa, integradas por clastos de basamento cristalino, algunos de mayor tamaño (psefita) suelen diferenciarse dispersos en la masa (Fig. 8). Los depósitos presentan en general pobre selección y suelen desarrollar estratificación paralela, entrecruzada y lentiforme. En sectores fue reconocido intercalado en las secuencias, un nivel de desarrollo horizontal de hasta unos 15 - 20 cm de granometría más fina, finamente estratificado a laminado. Hacia la parte superior de la secuencia pueden reconocerse esporádicamente clastos de composición limolítica. Los depósitos fluviales gradan hacia arriba a unos 1 - 1,5 m aproximadamente de espesor visible de limos / limolitas con manifestaciones de CO<sub>3</sub>Ca las que se incrementan hacia el techo integrando un encostramiento (Paleosuperficie Tandil) de unos 0,4 m de potencia que puede observarse en distintos sectores de acceso a las minas (Fig. 7). Por sobre estas secuencias, se ubican en discordancia erosiva y con espesores variables del orden de 0,8 m - 1,5 m sedimentos eólicos correspondientes a la Formación Las Animas (Fig. 7).

##### 5. DAÑOS EN DISTINTAS OBRAS EN LOS SECTORES RECONOCIDOS

En los cinco sectores diferenciados con presencia de "minas de arena", distintas obras producto de la actividad del hombre han sufrido en mayor o menor grado algún tipo de daño. De acuerdo a los datos obtenidos, las zonas con mayores referencias de problemas se corresponderían con el Sector C, ubicado en los alrededores y hacia el sur del Hipódromo de la ciudad y el Sector E, en las cercanías de la Fábrica La Tandilera. En los sectores A y B, se ha citado un número algo menor de inconvenientes respecto a los anteriores, siendo el registro de daños comparativamente mínimo en el Sector D, no presentándose prácticamente obras en superficie por sobre las "minas de arena" en el último. En las Tablas 7, 8 y 9 se sintetizan algunos de los daños / inconvenientes registrados, los que han sido citados tal como fueran referidos en las distintas fuentes consultadas.

**FIGURA 7. LOCALIDAD 19 (A):** Entrada a una antigua mina. (B): Tosca (Paleosuperficie Tandil); la línea de trazos indica el techo. (C): Depósitos eólicos (Formación Las Animas) con desarrollo del perfil de suelo.



**FIGURA 8. LOCALIDAD 19. SECUENCIA DE UNOS 90 CM DE DEPÓSITOS FLUVIALES (A):** Arenas. (B): Capa de arenas y limos en parte con laminación. (C): Arenas y psefitas. Las flechas señalan clastos de unos 4 - 6 cm de eje mayor.

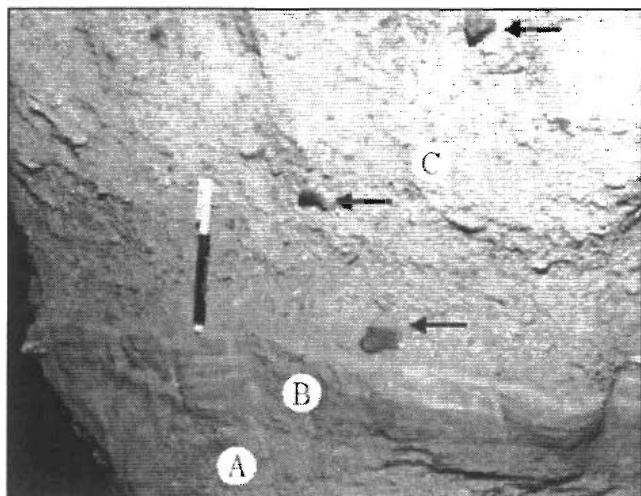


TABLA 7. UBICACIÓN Y ALGUNOS DE LOS DAÑOS REGISTRADOS EN OBRAS

Sector	Localidad	Fuente de obtención de los datos	Elemento afectado	Ubicación	Problemas	Parte afectada	
A	2	Vecino	Casa particular	Calle 14 de Julio casi esquina calle Garibaldi	Pozo	Piso de patio	
	3	Vecino	Estación de Servicio (Etapa de construcción)	Esquina de calles Avenida España y 14 de Julio	Vinculados al vertido de hormigón	Fundación	
B	5	Vecino	Edificio en propiedad horizontal	Esquina de calles Avenida Santamarina y San Martín	Vinculados a la fundación por presencia de "minas de arena"	Supresión de pisos	
	6	Pérez (2000)	Calle	Calle Garibaldi entre calles Gral. Roca y Alsina	Derrumbe	Sector de la calle	
		Pérez (2003)			Hundimiento		
	8	Vecino	Casa particular	Calle Mitre entre calles 4 de Abril y Alsina	Hundimiento	Piso	
10	Vecino	Casa particular y calle	Calle Las Heras entre calles Gral. Roca y Alsina	Hundimiento	Piso y sector de la calle		
C	11	Diario Nueva Era -Tandil- (1973)	Calle Barrio FATICA	Calle Primera Junta entre calles Méjico y Rauch)	Desmoronamiento	Sector de la calle	
	12	Diario Nueva Era -Tandil- (2002)	Casa particular y vía pública (Barrio FATICA)	Esquina de calles Primera Junta y Gómez	Pozo	Parte de la propiedad y vereda	
	13	Diario Nueva Era -Tandil-(2002)	Barrio FATICA	Cercanías de Localidad 12	Pozo	No especificado	
	14	Villalba (1998 a)	Escuela N° 47	Esquina de calles Méjico y P. de Ugalde	Hundimiento	Piso Paredes	
					Fracturas		
		Diario Nueva Era- Tandil- (1998)	(a)	Escuela N° 47	Esquina de calles Méjico y P. de Ugalde	Boquete	Piso
			(b)			Derrumbe	
		Diario Nueva Era -Tandil- (2005)	Escuela N° 47	Esquina de P. de Ugalde calles Méjico y	Hundimiento	Piso de un aula	
	Fracturas					Paredes	
	Diario El Eco de Tandil (2005 b)	Escuela N° 47	Esquina de calles Méjico y P. de Ugalde	Hundimiento	Piso		
				Fracturas	Paredes		
16	Vecino	Quinta El Remanso	Calle Colectora Sur J. C. Pugliese entre calles Méjico y Guatemala	Fracturas	Pileta de natación		
17	Vecino	Casa particular	Calle Guatemala entre calles Darragueira y P. de Ugalde	No especificado	No especificado		

TABLA 8. UBICACIÓN Y ALGUNOS DE LOS DAÑOS REFERIDOS EN OBRAS

Sector	Localidad	Fuente de obtención de los datos	Elemento afectado	Ubicación	Problemas	Parte afectada
D	20	Observaciones propias	Empresa de fumigación	Al norte del predio del Hipódromo	Depresiones en superficie	Sectores de pista de aterrizaje
					Hundimiento	Sectores del predio
E	21	Villalba (1998 c)	Distintas casas en Barrio La Tandilera	Zona de Fábrica La Tandilera	Una descripción de daños y sectores afectados se detalla en la Tabla 9	
		Diario Nueva Era - Tandil- (2003)	Viviendas en Barrio La Tandilera	Zona de Fábrica La Tandilera	Derrumbes hundimientos	No especificado
		Diario El Eco de Tandil (2005 a)	Distintas casas en Barrio La Tandilera	Zona de Fábrica La Tandilera	Hundimientos	Pisos
					Fracturas	Pisos, paredes, cielorrasos
					Derrumbes	Pozos ciegos
					Despegue de materiales	Pisos
	22	Vecino	Casa particular	A unos 150 m del Barrio La Tandilera	Inclinación	Ventana
					Fracturas	Paredes
23	Vecino	Casa particular	Calle Vigil entre calles Rosales y Labardén	Fracturas	No especificado	

TABLA 9. ALGUNOS DE LOS DAÑOS CITADOS EN VIVIENDAS DEL BARRIO AUTOCONSTRUCCIÓN MUNICIPAL (Barrio La Tandilera).

Localidad 21							
Ubicación: (Barrio Autoconstrucción Municipal), Zona de Fábrica La Tandilera							
Fuente de obtención de datos: Villalba (1998 c)							
Elemento afectado							
Casa A	Casa B	Casa C	Casa D	Casa E	Casa F	Casa G	Casa H
Daños registrados							
<i>Parte o sector afectado</i>							
Fracturas verticales <i>Pared</i>	Fracturas horizontales <i>Pared</i>	Despegue de materiales <i>Piso</i>	Fracturas oblicuas <i>Pared</i>	Demolida como consecuencia de los daños <i>Casa</i>	Fracturas horizontales <i>Pared</i>	Fracturas horizontales y verticales <i>Paredes</i>	Fracturas <i>Cielorrasos</i>
	Cavidades <i>Piso exterior</i>	Fracturas <i>Pared</i>	Inclinación <i>Pared (tapial)</i>			Fracturas <i>Cielorrasos</i>	Problemas de cierre <i>Puertas y ventanas</i>
						Fracturas <i>Dintel</i>	
						Compresión sobre marco <i>Ventana</i>	Despegue de materiales <i>Pisos</i>

FIGURA 9. LOCALIDAD 21. (VIVIENDA G)

A: Fractura en un dintel

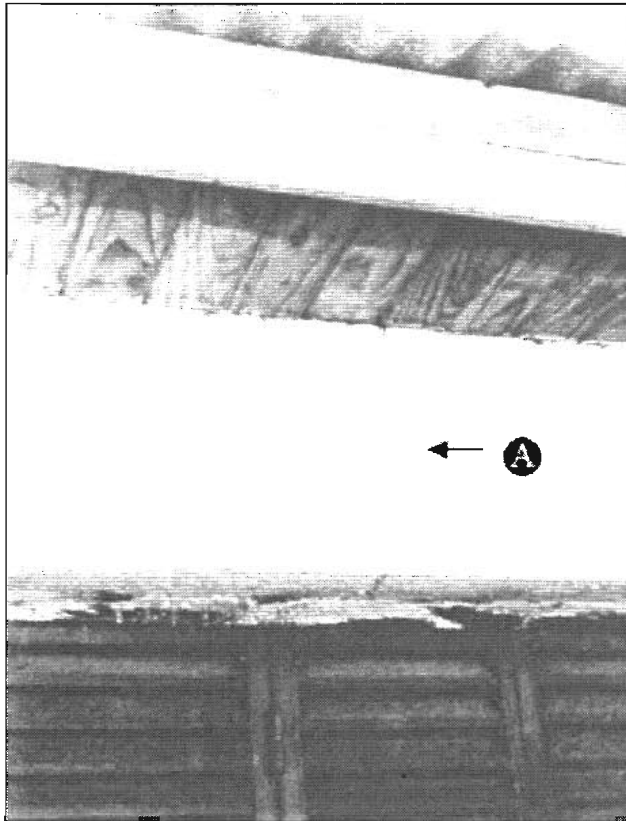
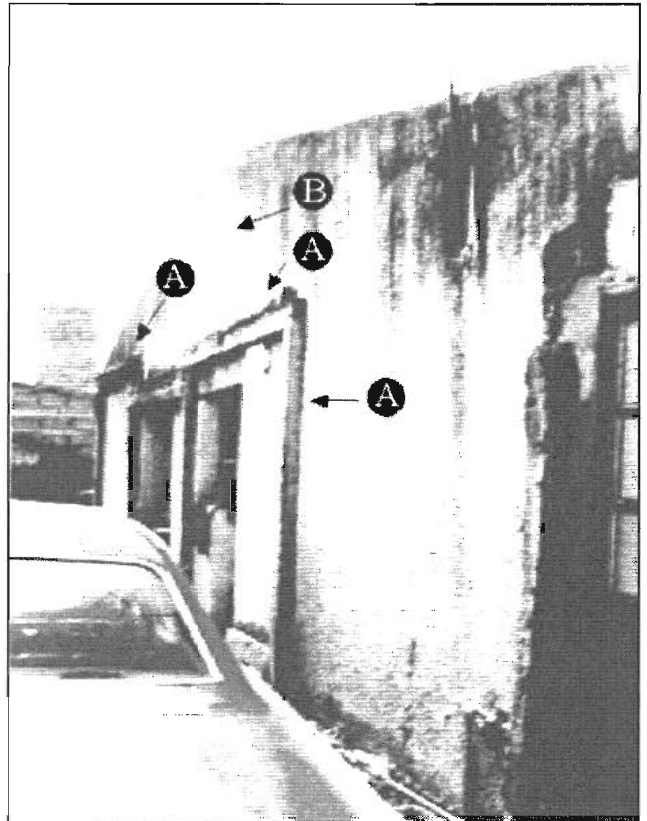


FIGURA 10. LOCALIDAD 21 (VIVIENDA D)

A. Resfuerzon construidos B. arreglo en una fractura



Los mismos involucran daños estructurales a distintas obras realizadas por el hombre los que serán agrupados solamente con fines descriptivos en tres apartados: 1. Roturas y daños en parte de distintos componentes de las construcciones; 2. Hundimientos, desmoronamientos, derrumbes, formación de pozos / cavidades / boquetes, depresiones; 3. Otros inconvenientes.

Considerando el apartado 1, el desarrollo de fracturas es uno de los problemas comunes y ha sido señalado principalmente, en muchas viviendas del Barrio La Tandilera, también denominado Barrio Autoconstrucción Municipal, ubicado en el Sector E (Figs. 9 y 10; Tablas 8 y 9) y en la Escuela N° 47 = L14 (Fig. 11; Tabla 7) en el Sector C. Las fracturas que afectaron fundamentalmente paredes, además de cielorrasos, dinteles y en ocasiones piscinas (L16), son de diseño horizontal, vertical e inclinado y pueden presentarse afectando una parte o la totalidad de una pared. Otros problemas que afectaron viviendas involucran la inclinación y compresión de marcos de ventanas y puertas y problemas de cierre de dichos elementos, como asimismo la inclinación de algunas paredes (tapiales) y despegue de pisos. Dentro del apartado 2, los hundimientos afectaron pisos de viviendas particulares y en ocasiones edificios públicos, algunas calles de la ciudad y sectores de predios. Al respecto, en la Escuela N° 47 (L14, Sector C) se originó, como consecuencia de un hundimiento (Villalba 1998 a) que afectó parte de un patio de la misma (Diario Nueva Era 1998 a, b, c), un hueco de unos 4 m de diámetro y una profundidad cercana a los 3 - 4 m (Fig. 12). Los hundimientos registrados en distintas arterias de la ciudad se produjeron dentro del Sector B en L6 ubicada en la calle Garibaldi entre Alsina y Roca (Pérez, 2003) y de acuerdo a datos

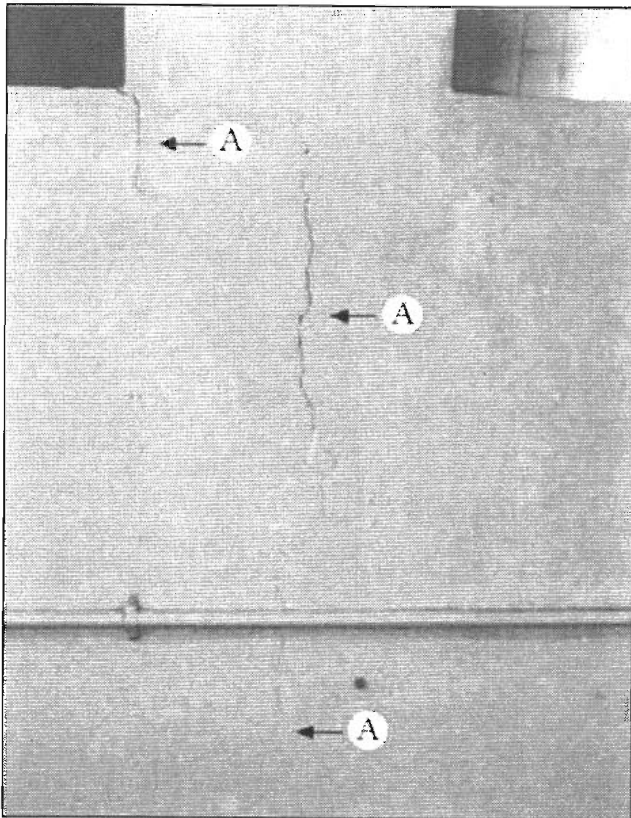
aportados por vecinos en L10 (calle Las Heras entre Alsina y Roca). Asimismo, algunos hundimientos afectaron partes de predios carentes de obras como los observados en algunos lugares de L20 (Sector D). En esta última, además, algunos de los accesos a las "minas de arena" identificados, aunque parcialmente cubiertos, se ubican a escasos 15 - 20 m de las vías férreas del Ferrocarril General Roca.

Una depresión de unos 3,5 m de largo y alrededor de 1,5 m de ancho que afectó un sector de la calle

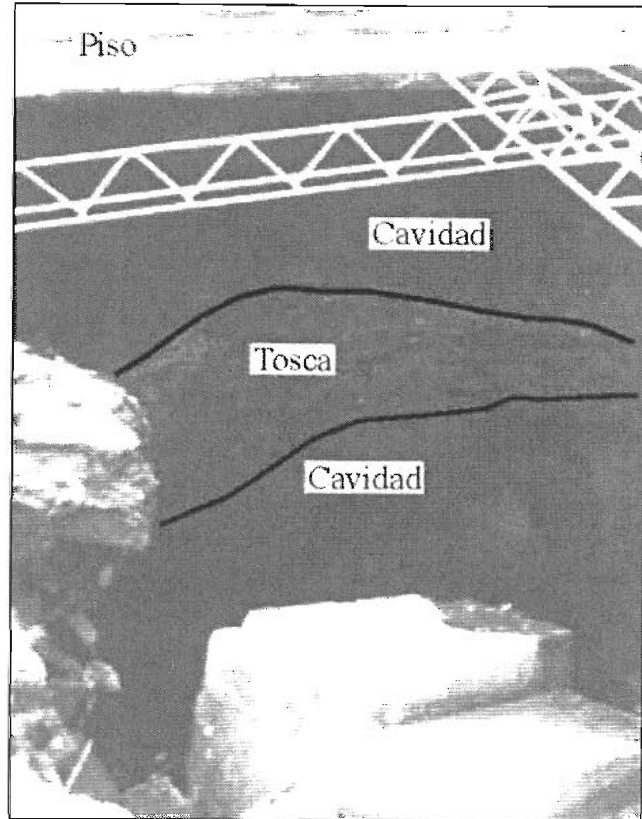
Primera Junta entre las de Méjico y Rauch en el Barrio FATICA fue citada como desmoronamiento (Diario Nueva Era 1973). En otras ocasiones, se produjeron derrumbes durante la construcción de pozos ciegos como los referidos en el Barrio La Tandilera (Diario El Eco de Tandil 2005 a) y otras veces para una misma localidad los términos hundimiento y derrumbe fueron utilizados indistintamente, como es el caso de las localidades 6, 14 y 21. En distintos sectores y fechas se ha hecho referencia a la presencia o desarrollo de pozos / cavidades / boquetes. Entre otros, en el Barrio FATICA fueron citados en parte de una casa y la vereda en la intersección de las calles Primera Junta y Gómez (Diario Nueva Era, 2002) y en sus cercanías (Diario Nueva Era 2002).

Asimismo fueron señalados en el Barrio Autoconstrucción Municipal (Villalba 1998 a) y en la Escuela N° 47 (Diario Nueva Era de Tandil 1998 a). En L19 (Sector D) se ha indicado además la formación de depresiones en la superficie del terreno, las que afectaron sectores de una pista de aterrizaje local. Considerando el ítem 3, como consecuencia de los daños sufridos se produjo, en ocasiones, la demolición de la totalidad de una vivien-

**FIGURA 11: LOCALIDAD 14 (ESCUELA N° 47).** A: Fracturas en pared cercana al lugar donde se produjo el colapso por cavidad que se muestra en la Figura 12.



**FIGURA 12. LOCALIDAD 14 (ESCUELA N° 47).** La cavidad presenta una profundidad de unos 3 - 4 m y un diámetro de aproximadamente 4 metros.



da afectada o parte de un edificio público (aula), como los referidos en el Barrio La Tandilera (Tabla 9) y Escuela N° 47 (*Diario Nueva Era* 2005) respectivamente. En otras oportunidades fueron suprimidos algunos pisos en el edificio de planta horizontal construido en la esquina de las calles Avenida Santamarina y San Martín (L5, Sector B), mientras que, durante la construcción de la estación de servicio ubicada la esquina de las calles Avenida España y 14 de Julio (L3, Sector A), se registraron dificultades en algunas de las estructuras de fundación debido a cavidades en el subsuelo. Independientemente de los daños físicos causados en las distintas obras, se produjeron como consecuencia de aquellos lógicos perjuicios económicos y dificultades en el normal desenvolvimiento de actividades. Cabe citar dentro de estos últimos, los inconvenientes en el dictado habitual de las clases en la Escuela N° 47 en el año 1998 (*Diario Nueva Era* 1998 a, 1998 b y 1998 c) y en el año 2005 (*Diario Nueva Era* 2005; *Diario El Eco de Tandil* 2005 b). Asimismo y como resultado de haber cedido un piso durante la construcción de la Escuela N° 47 tres operarios debieron ser rescatados por bomberos (*Diario El Eco de Tandil* 2005 b).

## 6. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

Rabassa (1973) indica que por debajo de las limolitas típicas de la Formación Vela, suelen desarrollarse importantes depósitos de arenas de color castaño, limosas, con estratificación marcada y aspecto fluvial. Señala que en algunos lugares (esquina de las calles Avenida Avellaneda y Alsina) los niveles conglomerádicos intercalados en estos depósitos presentan imbricación de sus rodados y una grosera estratificación diagonal, haciendo referencia, además, que en dos localidades se observa como las

limolitas castaño claras se disponen sobre las arenas limosas castañas, formando parte ambas de la Formación Vela.

Las características de los depósitos y posición estratigráfica permitirían asignar las secuencias de depósitos fluviales antiguamente explotadas como correspondientes a la Formación Vela. Dichos depósitos corresponden a antiguas redes de drenaje que fueron luego sepultadas, en primer término por secuencias de la parte superior de la Formación Vela, las que culminan con una capa de tosca de distribución regional y posteriormente como consecuencia de la acumulación de depósitos eólicos de la Formación Las Animas con la que se completan los procesos agradacionales.

Las divisorias de las antiguas cuencas de drenaje dentro de las cuales se generaron los depósitos fluviales considerados, han estado desarrolladas en el ámbito de suave relieve, en parte sobre paleosuperficies integradas por secuencias correspondientes a la Formación Barker y en algunos sectores a partir de rocas integrantes del Complejo Buenos Aires, mientras que en la zona serrana de mayor relieve las divisorias mencionadas se ubicarían, principalmente, sobre rocas que componen el complejo citado.

Las cabeceras de las cuencas de drenaje que proveyeron los materiales integrantes de los depósitos fluviales, cuyas arenas fueron objeto de explotación, deberían haber estado en la zona serrana, ubicadas en posiciones no muy alejadas de las actuales. Esta estimación surge como consecuencia de la mayor resistencia a la erosión de las rocas integrantes del basamento cristalino, las que habrían minimizado el desplazamiento de las divisorias generando, de esta manera, una mayor persistencia en la ubicación de las mismas en dicho ámbito. Esta situación indica,

además, una fuente de aporte cercana para los clastos del basamento cristalino integrantes de las secuencias fluviales.

La profundidad a la cual se ubica el techo de las "minas de arena" permite una estimación aproximada de la agradación posterior, indicando que aquellas antiguas líneas de drenaje correspondientes a partes deprimidas del relieve fueron agradadas, en ocasiones, con espesores máximos cercanos a los 10 m, de acuerdo a los datos obtenidos. Actualmente los principales cursos de agua (arroyos del Fuerte, Blanco y Langueyú) se hallan desplazados y en ocasiones con distinta orientación respecto a algunos de los sectores diferenciados con evidencias de explotación de antiguos depósitos fluviales.

Las características de los depósitos integrantes de la Formación Las Animas han favorecido las tareas realizadas con el objeto de alcanzar los materiales fluviales subyacentes. Al respecto, el carácter friable y prácticamente suelto de aquellos depósitos que se desarrollan coronando el paisaje han facilitado las excavaciones manuales.

Por su parte, el encostramiento en ocasiones intenso que caracteriza el manto de tosca de extensión regional en la parte superior de la Formación Vela, denominado en el área como Paleosuperficie Tandil (*Teruggi et al. 1973*), ha actuado producto de su resistencia como un impedimento para acceder a los depósitos fluviales subyacentes que fueron objeto de explotación. No obstante, el mismo encostramiento ha minimizado al menos en parte los movimientos en masa verticales durante las actividades de explotación, ya que actúa como una "losa natural" sobre las secuencias subyacentes de limos / limolitas y depósitos fluviales, facilitando los procesos de extracción (los que, dada la poca compactación del material, se realizaban con pico y pala) que dieron lugar a la formación de galerías subterráneas, con un techo relativamente seguro.

Una vez que las explotaciones finalizaron las cavidades en el subsuelo fueron abandonadas, pudiendo las bocas de acceso ser rellenadas o haber permanecido abiertas parcialmente como las observadas en L19 (Sector D). En oportunidades algunas de las galerías han sido objeto al menos en parte de trabajos de relleno (L20) y en otras se han acumulado residuos de distinto tipo (L18).

La demanda creciente de tierras como consecuencia de la expansión paulatina de la ciudad desde los sectores céntricos hacia la periferia originó que la misma se desarrollara, al menos, en parte en áreas con galerías subterráneas producto de las antiguas explotaciones. Estas galerías pueden, o no, ser detectadas como consecuencia de las distintas obras que se realizan en superficie. Al respecto, la mayoría de las excavaciones que se efectúan con el objetivo de establecer las fundaciones de gran parte de las viviendas domiciliarias no permiten determinar si por debajo existen galerías subterráneas correspondientes a las "minas de arena" tratadas ya que afectan en general y a partir de la superficie unos 60 - 70 cm de depósitos mayoritariamente integrantes de la Formación Las Animas o bien pueden alcanzar el techo del manto de tosca de extensión regional (Paleosuperficie Tandil), la que actúa como una excelente roca de fundación en esos casos. No obstante, aquellas pueden ser localizadas en construcciones que requieren fundaciones más importantes y que afectan niveles más profundos, o bien en áreas carentes de servicios cloacales cuando se procede a la construcción de pozos absorbentes.

Desde el punto de vista geológico - geomorfológico, la presencia de "minas de arena" en el subsuelo ha promovido el desarrollo de procesos de remoción en masa correspondientes a hundimientos (*Thornbury 1960*) o subsidencias (*Summerfield*

1991) responsables directa o indirectamente de los distintos daños registrados. Mientras que el primero de los términos hace referencia al asentamiento hacia abajo de material con poco movimiento horizontal (*Thornbury 1960*), la subsidencia puede corresponder a un colapso por cavidad cuando se manifiesta como un colapso más o menos instantáneo de materiales en el interior de una caverna u otra cavidad, o bien a un asentamiento, en aquellos casos en los cuales se produce un progresivo hundimiento de la superficie, que puede ocurrir naturalmente donde el volumen de materiales pobremente compactados es reducido por la adición de agua o hidrocompactación (*Summerfield 1991*). En lo que respecta a hundimientos (*Thornbury 1960*) como a colapsos por cavidad (*Summerfield 1991*) la actividad minera ha sido referida como una de las causas impulsoras de los mismos.

Las características obtenidas de las distintas fuentes indican que parte de los daños referidos como hundimientos, al igual que aquel referido como desmoronamiento en L11 (*Diario Nueva Era 1973*) y las citas de derrumbes, algunos de ellos vinculados a pozos ciegos corresponden a colapsos por cavidades (*Summerfield 1991*). No obstante, otros recientemente referidos en la Escuela N° 47 como hundimientos en pisos (*Diario Nueva Era 2005: Diario El Eco de Tandil 2005 b*) al igual que aquellos citados en viviendas del Barrio La Tandilera (*Diario El Eco de Tandil 2005 a*) corresponderían a asentamientos (*Summerfield 1991*).

Por su parte las depresiones observadas en la superficie del terreno (L19) se relacionarían también con asentamientos debido a la adición de agua sobre rellenos de "minas de arena" deficientemente compactados. Con respecto a las citas de pozos / cavidades / boquetes, el citado en la Escuela N° 47 (*Diario Nueva Era 1998 a*) correspondió a un colapso por cavidad y un origen similar tendrían aquellos referidos en otras localidades.

La generación de estos procesos primarios provocó además del desarrollo de daños físicos (expresados entre otros a través de fracturas de distinto tipo, despegue de pisos, inclinación de tapiales, problemas de cierre, demoliciones) perjuicios económicos y conflictos sociales.

De acuerdo a los datos obtenidos, algunas áreas ubicadas en las cercanías del Hipódromo serían las que presentan mayor desarrollo de "minas de arena" en el subsuelo, correspondientes a los sectores C, D y E. De éstos, además, los sectores C y D son quizás los que cuentan con mayores citas de distintos tipos de daños a obras producto de actividad antrópica. En el Sector C, los más importantes han sido referidos en el Barrio FATICA y en la Escuela N° 47, mientras que en el restante en el Barrio La Tandilera. En dichas obras, un conjunto de factores ha actuado para ocasionar perjuicios vinculados a la presencia de "minas de arena".

En el Barrio La Tandilera los daños producidos en viviendas fueron atribuidos en parte a la presencia de cavidades en el subsuelo y en parte a la falta de compactación del relleno sobre estas (*Villalba. 1998 c*), lo que habría provocado asentamientos. La profundidad del nivel freático en la zona anterior se ubica entre unos 12 - 14 m aproximadamente (*Villalba y Nuñez 2001*); mientras que las antiguas "minas de arena" se desarrollan principalmente en la zona de aireación, en general y de acuerdo a los datos obtenidos en L14 (Fig. 4) con pisos ubicados a algo menos de 11 m de la superficie como máximo. El aporte del agua infiltrada a través de esta zona con el transcurso del tiempo, ha ido deteriorando el estado de las galerías, pudiéndose además agravar el problema mediante el aporte de agua al subsuelo, por pozos absorbentes o ciegos o filtraciones directas des-



de la superficie a través de accesos (sin rellenar o parcialmente rellenados) a las minas.

Las filtraciones de agua en las minas han sido señaladas como responsables, al menos en parte, de los hundimientos que suelen azotar las viviendas en el Barrio La Tandilera. Mientras que en otras oportunidades, la generación de cavidades en superficie en sectores del Barrio FATICA estuvo estrechamente relacionada con lluvias intensas caídas en días anteriores.

Asimismo, los sectores D y E no cuentan con red de servicios cloacales, eliminándose las aguas servidas a través de pozos absorbentes o ciegos, los que interrelacionarían en ocasiones con las galerías subterráneas. Este es el caso de la cavidad generada en la Escuela N° 47 (de la cual emanaba un intenso olor a aguas servidas), que fue interpretada como consecuencia del colapso del piso del patio resultado del fracturamiento del sector de tosca (Paleosuperficie Tandil) que actuaba como losa natural sosteniendo el peso suprayacente, contribuyendo a esto la excavación del pozo absorbente relacionado con antiguas galerías en ese lugar y el permanente vuelco de agua a través del tiempo. Estas y otras áreas con problemas relacionados a la presencia de pozos ciegos en sectores con galerías subterráneas deberían estar sujetas a una futura extensión de los servicios cloacales, lo que contribuiría a prevenir la amenaza de procesos de remoción en masa (colapsos por cavidad y asentamientos) y daños derivados.

El desconocimiento respecto a la ubicación de las antiguas "minas de arena", en algunos casos, y la falta de una planificación territorial que las contemple ha provocado que sectores con amenaza producto de la presencia de galerías subterráneas hayan sido incorporados paulatinamente a la estructura urbana de la ciudad. La ubicación de los barrios FATICA y La Tandilera en los sectores C y E respectivamente, en zonas con desarrollo al menos en parte de "minas de arena" es una prueba de lo antes mencionado.

Las referencias publicadas a través de los años en fuentes escritas locales de daños de distinta índole producidos en áreas con presencia de dichas minas ponen de manifiesto que, de una u otra manera, los problemas han persistido a través del tiempo y que estos a su vez, han generado un conjunto de conflictos sociales entre los vecinos perjudicados y las autoridades municipales de turno.

Ante estas situaciones, desde el municipio se realizaron tareas con el objetivo de solucionar los inconvenientes producidos. Las mismas consistieron en el relleno de las aberturas generadas como en el Barrio FATICA (*Diario Nueva Era 2002*), estudios geotécnicos del estado del subsuelo en el Barrio La Tandilera (*Villalba 1998 c*) como asimismo un conjunto de relevamientos que dispondría el Departamento Ejecutivo, casa por casa en el último barrio citado y en el cual cada hogar tendría una propuesta de trabajo para terminar con las subsidencias que suelen azotar las viviendas del mismo (*Diario Nueva Era 2003*). Trabajos geotécnicos solicitados por el Consejo Escolar de la ciudad de Tandil fueron realizados en la Escuela N° 47 y terrenos adyacentes (*Villalba 1998 a, 1998 b*). Actualmente y como consecuencia de recientes daños producidos en parte de las instalaciones de dicha escuela se han requerido nuevos estudios de suelos (*Diario Nueva Era 2005*), mientras que en el Barrio La Tandilera estudios de este tipo están siendo nuevamente realizados.

Algunos de los trabajos de remediación de aberturas generadas como consecuencia de "minas de arena" en el subsuelo consistieron, simplemente, en el vertido de fragmentos de rocas u otros tipos de materiales, no obstante ello no garantiza el

relleno total de la galería subterránea, sino de un sector de ella, solucionándose una parte pero no la totalidad del problema.

Como consecuencia de la relación observada entre daños producto de movimientos verticales de materiales y sectores con "minas de arena", distintas acciones sumadas a las que se vienen efectuando podrían ser llevadas adelante con el objetivo de minimizar la amenaza y riesgo de subsidencias que aquellas representan. Las mismas deberían considerar en principio la realización de un inventario de las "minas de arena", que amplíe el registro que aquí se presenta; esta situación permitirá un conocimiento más detallado de la distribución de las minas y la relación que guardan con los distintos componentes en superficie. El mismo, podría llevarse a cabo a partir de la información disponible y de un relevamiento que incluyera consultas a los pobladores no solo de cada uno de los sectores afectados, sino además de otras zonas de la ciudad. Esto último se vincula con el hecho de que muchas de las "minas de arena" se encuentran actualmente debajo de viviendas sumado además a que algunas de ellas podrían ser el resultado de extracción local por antiguos propietarios. En parte, la obtención de la información podría ser encaminada a través de asociaciones o representantes barriales con el objetivo de favorecer la centralización de los datos.

En una etapa posterior, se efectuaría el mapeo de las mismas con el objetivo de conocer las dimensiones, profundidad a la cual se ubican los techos y pisos respectivos, ancho y cubicación de las galerías y determinación de bocas de acceso. Un relevamiento de mayor detalle permitiría conocer el estado de las "minas de arena" (filtraciones, vertidos cloacales, derrumbes, situación del techo), lo que sumado a la relación con los elementos en superficie permitiría identificar sectores con niveles de amenaza y riesgo. Esta información debería ser evaluada por los organismos encargados de planificación con el objetivo de establecer pautas para la toma de decisiones.

Adicionalmente, las cavernas producto de procesos geológicos como aquellas que resultan de la actividad humana despiertan el interés no solo de especialistas sino también de las personas en general. Algunas de las galerías subterráneas, preferentemente aquellas que no cuentan con infraestructura en superficie, como las desarrolladas frente al predio del Hipódromo Municipal de la ciudad en el Sector D, previamente realizados y evaluado los estudios respecto al estado de situación, podrían quizás ser preservadas con objetivos culturales o incluirse a los atractivos turísticos de una ciudad, que ha venido incrementando marcadamente estas actividades en los últimos años.

Las antiguas "minas de arena", representan una parte de la historia y costumbres de la ciudad en aquellas épocas y conforman además evidencias de prácticas mineras en el pasado cercano, actualmente en desuso en aquella localidad. La preservación de aquellas que cumplan con requisitos técnicos preestablecidos permitiría el estudio de estos ambientes subterráneos, incluyendo los geológicos paleontológicos, arqueológicos e históricos.

## 7. CONCLUSIONES

Parte del subsuelo de la ciudad de Tandil presenta depósitos fluviales que han sido objeto de

explotación durante parte del siglo XX, comenzando dicha actividad quizás hacia fines del siglo XIX. El cese de aquellas explotaciones dejó un número importante, aunque no determinado exactamente, de galerías subterráneas conocidas localmente como "minas de arena". Al menos cinco sectores presentan evi-

dencias de las antiguas minas, no obstante nuevos datos permitirán ampliarlos y modificarlos.

La presencia de dichas minas en el subsuelo favoreció el desarrollo de procesos de remoción en masa correspondientes a subsidencias (colapsos por cavidad y asentamientos). Dichos procesos generaron un conjunto de daños de distinta jerarquía en obras realizadas por el hombre. Los daños y perjuicios más comunes registrados en los sectores con desarrollo de antiguas "minas de arena" involucran: colapsos debido a cavidades por debajo de viviendas y calles de la ciudad, asentamientos en viviendas y una pista local de aterrizaje de pequeña envergadura; fracturas, inclinación y problemas de cierre de marcos de puertas y ventanas, despegue de pisos, derrumbes de pozos ciegos, demolición de parte o de la totalidad de viviendas, inconvenientes durante la etapa de construcción de algunos edificios y dificultades en el normal desenvolvimiento de actividades.

La explotación de los depósitos fluviales y la utilización en la industria de la construcción durante parte del siglo XX y

quizás finales del XIX habría impulsado, al menos localmente, la creación de fuentes de trabajo y desarrollo. No obstante, como consecuencia de la actividad extractiva se generó un conjunto de galerías subterráneas las que paradójicamente fueron la causa en ciertos sectores de daños físicos y conflictos sociales décadas después de la utilización de aquellos depósitos.

Un plan de inventario, mapeo y estado de las "minas de arena" permitiría el establecimiento de un conjunto de medidas mínimas a ejecutar por parte de los organismos encargados de planificación las que conducirían a prevenir inconvenientes derivados de la construcción en áreas afectadas por las antiguas explotaciones subterráneas.

## 8. AGRADECIMIENTOS

A distintos vecinos de la ciudad de Tandil que aportaron numerosos y significativos datos y referencias vinculados a las antiguas "minas de arena" consideradas.

## 9. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ANGELELLI, V., 1975.

Yacimientos Minerales y Rocas de Aplicación.

*Relatorio Congreso Geológico Argentino. (Babía Blanca): 195-217.*

CABALLE, M. y E. KIRILOVSKY. 2004.

¿Minería vs. reserva natural?

*Revista del Consejo Profesional de Ciencias Naturales de la Provincia de Buenos Aires. Año 1, Núm. 1: 6-10.*

CABALLE, M., N. CORIALE Y M. BRAVO ALMONACID, 2004.

Provincia de Buenos Aires.

*En Lavandao, E. y Catalana, E. (eds.). Historia de la Minería Argentina. SEGEMAR, Anales 40.*

*Tomo 2: 305 – 313. Buenos Aires.*

CABALLE, M., M. TESSONE, D. GANUZA, N. CORIALE Y D. MUNTZ. 2005.

Prospección de rocas de aplicación en Tandil, Provincia de Buenos Aires.

*VIII Congreso Argentino de Geología Económica. Actas: 43-49. Buenos Aires.*

DALLA SALDA, L., 1999.

Cratón del Río de La Plata. 1. Basamento granítico – metamórfico de Tandilia y Martín García.

*En R. Caminos (ed.). Geología Argentina. Anales 29 (4): 97-106. Buenos Aires.*

DIARIO EL ECO DE TANDIL. 2005 a.

Autoconstrucción La Tandilera. El barrio donde las casas se hunden.

*El Eco digital. <http://www.eleco.com.ar/nuevo/index.asp?dia=12&mes=febrero&ano=2005>*

DIARIO EL ECO DE TANDIL. 2005 b.

Las minas de arena vuelven a provocar problemas. La EGB 47 trasladaría sus clases a otra escuela.

*Página 3. Martes 13 de Septiembre de 2005. Tandil.*

DIARIO NUEVA ERA. 1973.

Se produjo un desmoronamiento en una calle del Barrio Fatica ayer.

*Página 3. Martes 27 de Noviembre de 1973. Tandil.*

DIARIO NUEVA ERA. 1998 a.

Hubo que suspender las clases en la Escuela 47. Cráter, en el patio.

*Página 9. Miércoles 18 de Marzo de 1998. Tandil.*

DIARIO NUEVA ERA. 1998 b.

Sigue sin clases la Escuela 47.

*Página 8. Jueves 19 de Marzo de 1998. Tandil.*

DIARIO NUEVA ERA. 1998 c.

Del cráter en el patio del edificio nuevo. Las clases de la 47 se dictan en la escuela vieja.

*Página 10. Lunes 23 de Marzo de 1998. Tandil.*

DIARIO NUEVA ERA. 2002.

Antiguas minas subterráneas de arena provocan temor en el barrio Fatica.

*Zona de riesgo. <http://www.nuevaera.com.ar/2002/05/20/inicio.htm>*

DIARIO NUEVA ERA. 2003.

Prometen solucionar problemas por minas de arena abandonadas.

*<http://www.nuevaera.com.ar/2003/01/28/loc103.htm>*

- DIARIO NUEVA ERA. 2005.  
"Grietas" en la educación. La EGB 47 debió suspender sus clases  
*Página 7. Lunes 12 de Septiembre de 2005. Tandil.*
- ECHEVESTE, H. J., D. MARCHIONNI Y N. CORIALE. 2005.  
Rocas ornamentales de la Provincia de Buenos Aires.  
*En de Barrio. R. E., Etcheberry, R. O., Caballé. M. F. y Llambías (eds.). Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Cap. XXVI: 409-416. La Plata.*
- FIDALGO, F., F. O. DE FRANCESCO Y R. PASCUAL. 1975.  
Geología superficial de la llanura bonaerense (Arg.).  
*VIº Cong. Geol. Arg., Relatorio (Bahía Blanca): 103-138.*
- GABRIELE, N., C. PLACHESI Y J. MENDY. 2004.  
Las minas de arena de Tandil.  
*II Congreso Nacional Argentino de Espeleología. Febrero 2004, Tandil - Actas - CDRom - AR13, pp: 6.*
- GEA. 2004.  
Publicación informativa del Grupo Espeleológico Argentino.  
*Boletín GEA. N° 38. SIN 1666-8448. <http://www.petersen.com.ar/geal/docs/bolegealbol38.pdf>.*
- MARCHESE, H. G. Y E. DI PAOLA. 1975.  
Reinterpretación estratigráfica de la Perforación de Punta Mogotes I, provincia de Buenos Aires.  
*Asociación Geológica Argentina, Revista 30 (1): 44-52.*
- NÁGERA, J. J., 1940.  
Historia Física de la Provincia de Buenos Aires, I. Tandilia.  
*Universidad Nacional de La Plata. Fac. Human. Cienc. Educ., Biblioteca Humanidades. 24 páginas.*
- PÉREZ, D. E., 2000.  
Las huellas que dejó el pasado. El mundo subterráneo.  
*Documentos Tandilenses II: 7-10. Tandil.*
- PÉREZ, D. E., 2003.  
Una ciudad y cinco misterios. Túneles.  
*Tiempos Tandilenses. N° 84: 3-5. Tandil.*
- RABASSA, J., 1973.  
Geología superficial en la Hoja " Sierras de Tandil ".  
*LEMIT, anales 3: 115-160. La Plata.*
- SUMMERFIELD, M.A., 1991.  
Global Geomorphology.  
*Longman Ltd, 537 pp. London.*
- TERUGGI, M. E., L. A. SPALLETTI Y L. H. DALLA SALDA. 1973.  
Paleosuelos en la Sierra de Bachicha, Partido de Balcarce. Provincia de Buenos Aires,  
*Rev. Museo de La Plata. Sec. Geol. Tomo VIII: 227-256.*
- TERUGGI, M. E., M. LEGUIZAMON Y V. RAMOS. 1988.  
Metamorfitas de bajo grado con afinidades oceánicas en el basamento de Tandil: su implicancia geotectónica, provincia de Buenos Aires.  
*Asociación Geológica Argentina. Revista 43 (3): 366-374.*
- TESSONE, M. Y D. MARCHIONI. 2000.  
Situación ambiental de la minería a cielo abierto en la Provincia de Buenos Aires, Argentina.  
Análisis de casos. I Jornadas Iberoamericanas sobre cierre de minas. La Rábida, Huelva, España. Sept. del 2000. CD-Actas. Módulo III, pp: 6.
- THORNBURY, W. D. 1960.  
Principios de Geomorfología.  
*Editorial Kapelustz. 627 pp. Buenos Aires.*
- VILLALBA, H. A., 1998 A.  
Estudio de Suelos Escuela N° 47, Calle Ugalde y Méjico.  
*Tandil. Consejo Escolar Tandil. 10 páginas.*
- VILLALBA, H. A., 1998 B.  
Estudio de Suelos Terrenos adyacentes a la Escuela N° 47, Calle Méjico entre Ugalde y Darragueira. Tandil.  
*Consejo Escolar Tandil. 7 páginas.*
- VILLALBA, H. A., 1998 C.  
Estudio de Suelos Barrio Autoconstrucción Municipal. Labardén y Vigil. Tandil.  
*Secretaría de Obras Públicas de la Municipalidad de Tandil. 12 páginas.*
- VILLALBA, H. A. y R. G. Nuñez. 2001.  
Manejo del recurso hídrico para consumo humano en una ciudad intermedia de Argentina.  
*El caso de Tandil. Provincia de Buenos Aires.*
- VILLALBA, H. A., 2003.  
Estudio de Suelos, Predio Ubicado en la esquina de calles 4 de Abril y Av. Marconi. Tandil.  
*Estudio Arq. Nicolás Dubourg. 9 páginas.*



## Remanentes de la actividad ladrillera en El Chorrillo, Juana Koslay San Luis, Argentina. Su impacto ambiental

Sosa, Graciela del R. <sup>1</sup>

### Resumen

*La actividad de los hornos de ladrillo en el sector de San Roque, perteneciente al municipio de Juana Koslay, ha sido una actividad artesanal, con tradición centenaria. Desde la creación del municipio, en 1989, se originaron cambios urbanos que llevaron a la erradicación y relocalización de algunos hornos a sectores más alejados de los núcleos urbanos, pero sin haber realizado un estudio de impacto ambiental.*

*La investigación evalúa el impacto ambiental remanente que genera la actividad de los hornos de ladrillo en el municipio de Juana Koslay, provincia de San Luis.*

*Se utilizó como base la restitución planialtimétrica de la provincia de San Luis "El Chorrillo", a escala 1:20 000, del año 1968 y fotografías aéreas a igual escala. Se analizó la información geológica, geográfica, municipal existente, se realizaron entrevistas y visitas a los hornos.*

*El estudio ha revelado que el impacto negativo es elevado en la fase de extracción de los materiales para la elaboración del ladrillo, pero es mayor en la fase de producción y su efecto en la población es inmediato. Para reducir los impactos negativos se propone trasladar el foco contaminante a sectores rurales apropiados, ubicados al SE del municipio, y así mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.*

*En la etapa de elaboración, se sugiere adoptar formas de extracción del suelo menos degradantes y considerar el reemplazo de la leña por gas natural en la cocción del ladrillo.*

**Palabras claves:** Impacto ambiental, hornos, ladrillos, evaluación.

### Abstract

*The investigation evaluates the environmental impact the activity of the brick ovens generates on the municipality of Juana Koslay, county of San Luis.*

*In 1989, the creation of the municipality of Juana Koslay generated urban changes and new projects that involved the eradication of some ovens and their relocation far from the urban nuclei, but without having carried out a study of environmental impact. From then on the tradition ladrillera that was begun years ago declined, and it is still executed in handmade form.*

*The Evaluation of the Environmental Impact was carried out using like mapabase the topographic sheet "El Chorrillo", at 1:20000 scale, of the year 1968, and aerial photography to the same scale. The existent geologic, geographical and municipal information was analyzed. Interviews and visits to the ovens were carried out.*

*The study has revealed that the negative impact is elevated in the phase of extraction of materials for the elaboration of the brick, but it is bigger in the production phase and its effect in the population is immediate. To reduce the negative impacts it is*

Recibido: 06 de Octubre de 2006 ▪ Aceptado: 22 de Agosto de 2007

1. Dpto. de Geología - UNSL. Av. E. de los Andes 950. (5700). San Luis.  
Dirección electrónica: sosagr@unsl.edu.ar

proposed to move the polluting focus to appropriate rural sectors, being suggested the sector located to the south-east of the municipality and in this way to improve the quality of the citizens' life.

In the elaboration stage it is suggested to adopt less degrading forms of soil extraction and to consider the substitution of firewood for natural gas in the cooking of the brick.

**Keywords:** Impact, environment, oven, brick, study.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 1989, la legislatura de la provincia de San Luis creó el Municipio de Juana Koslay, que fue conformado por los vecindarios de El Chorrillo, San Roque, Cuchi Corral, Cruz de Piedra, Los Puquios, Las Chacras y Daniel Dónovan.

Gran parte del núcleo poblacional de esta región vivió hasta hace unos 20 años casi exclusivamente de la fabricación del ladrillo. La actividad económica giraba alrededor de ésta industria cuyo producto era elaborado con técnicas centenarias.

La llegada de la incipiente ciudad, trajo aparejado progreso, cambios paisajísticos y nuevos proyectos urbanos, pero marcó el final de toda una tradición con la erradicación de casi todos los hornos hacia sectores más alejados de los núcleos urbanos.

Algunos de los hornos, cuyos propietarios son también dueños de la tierra, han permanecido en sectores que actualmente están más urbanizados. Los emprendimientos más recientes, se iniciaron aproximadamente en el año 2000 y se han emplazado en sectores alejados, menos poblados.

Las autoridades municipales de Juana Koslay están considerando reglamentar esta actividad como así también asignar un sector rural adecuado para el establecimiento de los hornos de ladrillos.

El estudio de impacto ambiental se elaboró sobre una actividad que ya se estaba desarrollando, por lo que se omitieron las etapas previas, de elaboración del proyecto de factibilidad.

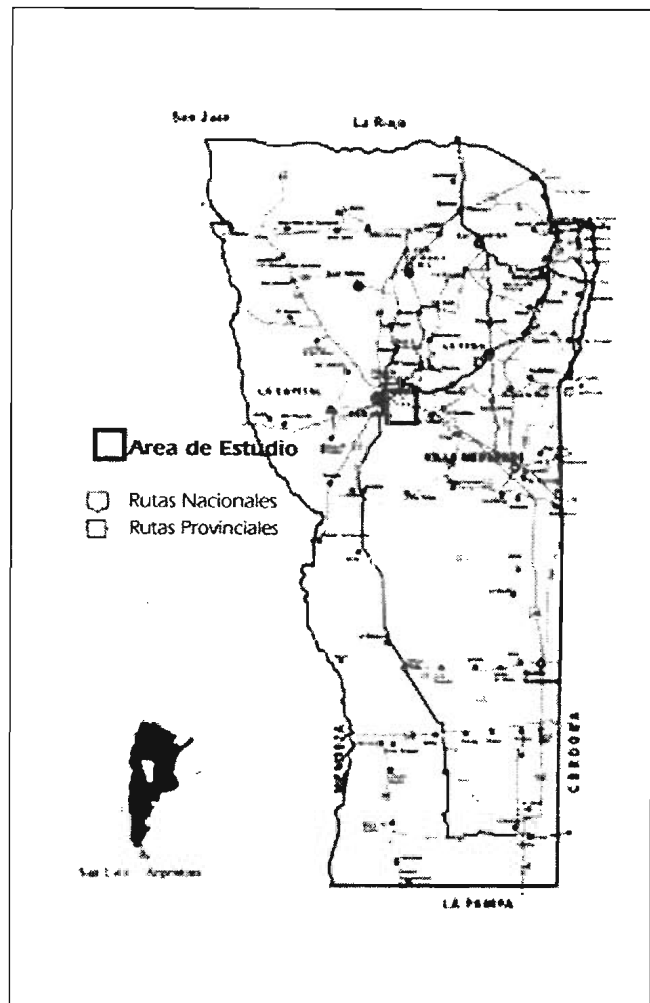
El análisis de impacto ambiental se refiere a los hornos de ladrillos más antiguos del área más urbanizada, a los que se considera como remanentes de la industria original. Esto corresponde a los establecimientos ubicados en el sector noroeste de la ciudad de Juana Koslay, en la zona conocida como El Chorrillo. (ver Figura 2).

El presente estudio será ampliado en el futuro debido a que los establecimientos ladrilleros más nuevos no están concentrados en un solo sector del municipio, si en sectores más alejados y menos urbanizados pero sin haber realizado un estudio de impacto ambiental.

## 2. UBICACIÓN

La ciudad de Juana Koslay, Argentina, se ubica 13 km al este de la ciudad capital de la provincia de San Luis y se accede a la misma a través de la ruta provincial N° 22 y por medio de la multitrocha San Luis - Trapiche. (Figura 1). Dentro de Juana Koslay, el sector denominado históricamente El Chorrillo se ubica en el sector NO del municipio.

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO



## 3. DESARROLLO

### Materiales

Se trabajó con la restitución planialtimétrica de la provincia de San Luis "El Chorrillo", a escala 1:20 000, del año 1968 y se la combinó con fotografías aéreas a igual escala.

Para localizar los hornos de ladrillos se trabajó con GPS.

Se tomaron fotografías digitales de varios establecimientos y se consultaron informes geológicos, revistas de divulgación, y libros de geografía de San Luis.

Las nuevas urbanizaciones se fueron marcando con GPS y se volcaron al mapa base.

FIGURA 2. SEGMENTO DE FOTO AÉREA INDICANDO ÁREA DE ESTUDIO. Vista parcial de un sector (El Chorrillo) del municipio de Juana Koslay. Año foto 1968. Actualmente el área ha sido muy urbanizada.



### Metodología

Se realizaron entrevistas con los dueños de los hornos, con empleados municipales y con propietarios de viviendas próximas al sector, los resultados se analizaron y se consideraron en la elaboración de la matriz final.

En la elaboración del informe se utilizó la Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, de *Vicente Conesa Fernández-Vitora 1997*, adaptando la misma a las características de la industria del ladrillo evaluada.

### Generalidades

Los hornos de ladrillos se encuentran ubicados en distintos sectores del municipio (ver figura N°2). Tres establecimientos (Figura N° 3 y 4) que cuentan con tradición centenaria, se ubican próximos al pasaje Los Hornos, en el barrio Los Nogales, al noroeste del municipio. Este sector, denominado El Chorrillo, se encuentra densamente poblado y es considerado un área residencial (ver figura 2). Estos establecimientos son los considerados remanentes y son los analizados en este estudio.

Un segundo grupo se concentra en el sector SE del primero, en la zona denominada Cuchi Corral; son cuatro emprendimientos instalados en terrenos alquilados. Es un área considerada urbana, aunque la población es menor (ver figura 2)

Un tercer sector de hornos (dos) se ubican en el sector sur del municipio, ubicado a unos 6 km del grupo anterior. Es una zona alejada y rural, en terrenos que también se alquilan pero de mayores dimensiones. Otros pocos establecimientos ladrilleros

que trabajan en forma muy intermitente se ubican en diferentes sectores de la ciudad.

### Evaluación del medio físico, el medio perceptual y el medio socio - económico

Según *Fernández Conesa - Vitora, V. op. cit.* los factores medioambientales clima, agua, suelo, flora, fauna, valores culturales, etc., que son afectados, se pueden desagregar en los factores ambientales específicos de la industria ladrillera. Tales como factores biológicos, paisajísticos, físico-químicos, factores relativos al uso del suelo y equipamientos, infraestructura y servicios de los núcleos habitados. También factores sociales, culturales y humanos y factores económicos.

Los grupos de factores específicos quedan individualizados en la totalidad de los factores medioambientales considerados.

### Definición del entorno del proyecto

La descripción general del entorno incluye una descripción del medio físico, tanto inerte como biótico y perceptual, además la descripción del medio socioeconómico del entorno que esta afectado y lo será en el futuro.

Se obtuvo un inventario de la información considerada potencialmente más representativa del territorio afectado.

Se tuvo en cuenta que la descripción de los medios físicos y biológicos se encuentran afectados por variaciones temporarias o cíclicas.

FIGURA N° 3. VISTA DE LOS HORNOS DE DON VALERIO SOSA. EN EL PASAJE DE LOS HORNOS

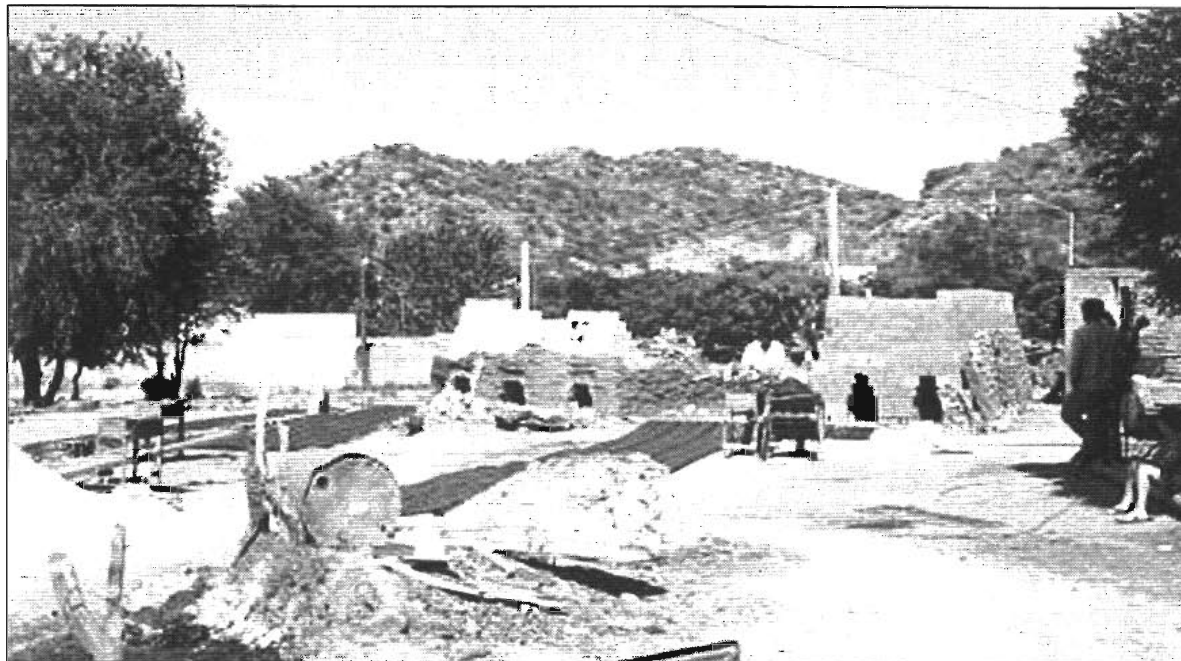


FIGURA N° 4. OTRA VISTA DE HORNOS DE DON VALERIO SOSA



Se determinó la capacidad de recepción del Medio respecto a los emprendimientos.

#### Medio Físico

##### *Inerte*

La región presenta un clima templado subhúmedo serrano.

Los vientos en la región provienen de cuatro sectores (*Capitanelli y Zamorano 1972*), siendo los más intensos y continuos los del SE y N. Las lluvias ocurren principalmente en el verano y suelen ser de carácter torrencial. Las precipitaciones medias anuales están entre los 500 a 650 mm. La temperatura medias en verano son de 21°/23° C y en invierno de 8°/9° C.

El agua que se consume en el municipio proviene de los diques Cruz de Piedra y La Florida. Anteriormente se tomaba también agua del dique Potrero de Los Funes. Las perforaciones son escasas y el agua subterránea es muy poco utilizada. Además, el municipio es atravesado por el río Chorrillos y los arroyos Cuchi Corral y Las Chacras, de los cuales se obtiene el agua para riego y para algunos emprendimientos privados entre los cuales están los hornos de ladrillos. El agua se obtiene desviando el río o utilizando bombas para su extracción y posterior almacenamiento en "represas" de tierra.

##### *Suelo*

El régimen hídrico y térmico de los suelos es Ustico-térmico (menos de 1 000 m s.n.m.), la distribución esquemática de los suelos a nivel de orden incluye molisoles y entisoles. Algunos se cultivan y unos pocos se dedican al pastoreo.

Son suelos susceptibles a la erosión eólica e hídrica. (*Peña Zubiate et. al. 1998*).

Los molisoles poseen un perfil poco evolucionado, con escasa diferenciación de horizontes. La capa arable es más o menos oscura con mediana cantidad de materia orgánica (entre 1 y 2 %) hasta casi los 25 cm. Se distribuyen en áreas reducidas. Estos suelos ocupan geformas de relieve llano actualmente sin vegetación arbórea, con una cobertura loésica de más de 1 metro de espesor con textura franco a franco limosa.

Los entisoles son suelos muy jóvenes, con horizontes ausentes o débilmente desarrollados. Con baja estabilidad estructural y escaso contenido de materia orgánica, los 10 cm superiores son estructurados.

##### *Relieve*

Juana Koslay se inserta en una depresión tectónica ubicada en el extremo sur de la sierra de San Luis.

Las rocas dominantes del sector son rocas del basamento cristalino, cubiertas por depósitos loésicos, aluviales y coluviales.

La depresión fue rellenada con materiales de abanicos aluviales provenientes de las sierras y rellenos eólicos, sobre esta cubierta se han desarrollado suelos de tipo entisoles y molisoles en menor porcentaje.

El relieve del área se dividiría en dos grandes grupos: la Planicie Pedemontana con modelado fluvio eólico y la Sierra de San Luis.

Biótico: flora y fauna

##### *Flora*

La vegetación predominante original es un bosque mediano semiabierto, con pastizales y pajonales de festuca

hieronymil y stipa trichotoma. Hay variadas especies de gramíneas y otras variedades leñosas.

En el sector urbano y suburbano presenta abundante vegetación antrópica, exótica, ciprés, pino, arce, nogal, álamo, eucalipto, etc..

##### *Fauna*

La fauna incluye una gran variedad de roedores, mustélidos, cricétidos, múridos, cavidos, aves, reptiles y peces, arácnidos y moluscos.

##### *Perceptual (paisaje)*

El límite norte corresponde a serranías de altura media 1 100 m s.n.m. que constituyen las últimas estribaciones australes de las Sierras de San Luis.

El paisaje que rodea a la ciudad de Juana Koslay responde a un piedemonte con una superficie suavemente ondulada con pendiente hacia el SE que hacia el norte culmina las sierras antes mencionadas.

El sector de mayor urbanización tiene un desarrollo este oeste, emplazado casi en su totalidad en el mencionado piedemonte.

Al este se encuentra el embalse Cruz de Piedra, alimentado por los arroyos El Volcán y Los Puquios. El río Chorrillos, es el límite sur de la zona urbanizada y nace de la unión de los arroyos Las Chacras y Cuchi Corral y recorre todo el municipio con dirección NE a SO.

El municipio creado por ley N° 4 829 en septiembre de 1989, fue denominado Ciudad de Juana Koslay a mediados de 1990. El número de habitantes era de 8 770 según el *Censo Nacional de Población de 2001*.

Un alto porcentaje de la población trabaja en la ciudad de San Luis, ubicada a unos 13 km al oeste. Otros trabajan en instituciones públicas locales como el municipio, establecimientos escolares y el resto en actividades privadas.

Hay algunos sectores considerados residenciales, donde los terrenos son más grandes y las construcciones más importantes.

El gobierno de la provincia de San Luis ha construido varios barrios en distintos vecindarios, algunos de ellos han utilizado ladrillos elaborados en el municipio.

#### Identificación de factores ambientales del entorno susceptibles a recibir impactos

El entorno está constituido por elementos y procesos interrelacionados, los cuales pertenecen a los siguientes sistemas: medio físico y medio socioeconómico y cultural y subsistemas medio inerte, medio biótico y medio perceptual, por una parte, y medio rural, medio de núcleos habitados, medio socio-cultural y medio económico por otra.

Cada uno de estos subsistemas incluye algunos componentes o factores ambientales susceptibles de recibir los impactos de un proyecto industrial. Dichos componentes son elementos, cualidades y procesos del entorno que pueden ser afectados por las acciones impactantes consecuencias del proyecto.

#### Previsiones de los efectos que la industria ladrillera generará sobre el medio.

Operaciones de la industria ladrillera involucran algunas acciones impactantes que inciden sobre factores ambientales que



son necesario explicitar. En este estudio, como se ha mencionado, solo se considera la fase de extracción de materias primas y elaboración de ladrillos. En realidad, dichas fases son simultáneas por cuanto son realizadas por diferentes grupos en distintos lugares.

Las acciones impactantes derivadas de las fases mencionadas son las siguientes:

- Alteración de cubierta vegetal.
- Ruido y vibraciones.
- Alteración de cubierta terrestre.
- Procesado de material.
- Alteración hidrológica y drenaje.

- Almacenamiento de productos.
- Vías de acceso.
- Control de erosión.
- Emplazamiento de hornos.
- Accidentes.
- Transporte pesado.
- Emisión de polvo y humo.
- Excavaciones superficiales.
- Inversión anual.

Los factores ambientales impactados durante la fase de extracción y elaboración se pueden agrupar según el medio natural y medio socioeconómico como se muestra a continuación en la Tabla N° 1.

**TABLA N° 1. FACTORES IMPACTADOS A CONSIDERAR**

Factores Impactados	
Medio Natural	Medio Socioeconómico
<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>Aire</b> (calidad, microclima, direcciones dominantes de viento)</li> <li>· <b>Tierra-Suelo</b> (compactación y asientos, reposición, estabilidad, valores geológicos, geomorfología y topografía, perfil y horizontes del suelo, grado de evolución del suelo, componentes orgánicos, características físicas, características químicas, erosión, calidad para usos agrícolas).</li> <li>· <b>Agua</b> (recarga, escorrentía-drenaje, calidad de agua, recursos hídricos aprovechables, aguas superficiales, aguas subterráneas).</li> <li>· <b>Flora</b> (evapotranspiración, diversidad, productividad, biomas, especies endémicas, especies interesantes o en peligro, estabilidad, comunidades vegetales).</li> <li>· <b>Fauna</b> (diversidad, biomasa, especies endémicas, especies interesantes o en peligro, estabilidad, cadenas tróficas, insectos roedores, aves, otros vertebrados, otros invertebrados).</li> <li>· <b>Medio Perceptual</b> (paisaje natural, paisaje protegido, paisaje preservado, vistas panorámicas, naturalidad y singularidad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>Uso del territorio</b> (suelo industrial, suelo agrícola ganadero, zona residencial, zona de ocio, ..)</li> <li>· <b>Cultural</b> (valor histórico), valor paisajístico temático.</li> <li>· <b>Infraestructura</b> (red de transporte y comunicaciones, red de abastecimiento, de saneamiento municipal, otros servicios).</li> <li>· <b>Economía y población</b> (estructura de la población activa, empleo fijo, estacional; inversiones y gastos, beneficios, economía local, provincial; valor del suelo, urbanizable).</li> </ul>

**Identificación de las acciones de la industria potencialmente impactantes**

Entre las acciones que modifican el uso del suelo se considera la excavación de la capa superficial donde se encuentran los horizontes A y E. Es importante aclarar que la extracción del suelo se hace en sectores rurales, alejados de los distintos establecimientos.

La extracción de leña para la "quema" del horno es una acción importante debido a que la tala de árboles en regiones semiáridas provoca la exposición y erosión del suelo.

La "cocción" de los ladrillos es una acción considerada mínima debido a que la superficie del suelo que se verá afectada por el calor es pequeña con relación a las otras acciones.

Las acciones que implican *emisión de contaminantes* involucra la emisión de CO, CO<sub>2</sub> causada por la cocción de los ladrillos y la generada al suelo por el recalentamiento de la superficie del suelo ocupada por el horno y sus cenizas.

Las acciones derivadas del *almacenamiento de residuos* esta concentrada dentro del establecimiento ladrillero y es mínima en cuanto al almacén y un poco mayor en cuanto a la dispersión durante el transporte.

Se consideran también las acciones que modifican el *entorno social, económico y cultural*.

El listado de componentes ambientales, con los valores de Unidades de Importancia Ponderada (UIP) adaptados para el estudio se muestran en la tabla N° 2.

TABLA N° 2. LISTADO DE COMPONENTES AMBIENTALES, CON VALORES DE UNIDADES DE IMPORTANCIA PONDERADA (UIP) ADAPTADOS PARA EL ESTUDIO

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE AMBIENTAL	UIP
Medio Físico	Medio Inerte	Aire	150
		Tierra y suelo	200
		Agua	50
		TOTAL MEDIO INERTE	400
	Medio Biótico	Flora	150
		Fauna	50
		TOTAL MEDIO BIÓTICO	200
	Medio Perceptual	Unidad de paisaje / paisaje intrínseco	100
		TOTAL MEDIO FISICO	700
	Medio Socio económico cultural	Medio Socio Económico	Uso del territorio
Infraestructura (calles y rutas)			75
Humanos y estéticos			75
Economía			50
Población			50
		TOTAL MEDIO SOCIO ECONÓMICO	300
		TOTAL MEDIO AMBIENTE	1 000

Identificación de los factores del medio potencialmente impactados

#### *Medio Físico*

##### *· Aire:*

Los vientos principales tienen dirección dominante SE-NO y N. El primero es el denominado Chorrillero con dirección SE-NO y que siempre tienen gran intensidad (hasta 120 km/h). Cuando los hornos están encendidos, el humo es transportado a varios km de distancia, consecuentemente, la calidad del aire se ve afectada en distinta intensidad y con distinto radio de acción dependiendo de la dirección de los vientos.

##### *· Tierra y Suelo*

La modificación que sufre el suelo y sus horizontes en el lugar del proceso de elaboración es mínima, debido a que la materia prima para la construcción de los ladrillos en todo el municipio es transportado desde otro sector del mismo municipio. En cada establecimiento hay un sector donde se hace la mezcla del material; es una fosa circular de unos 5 m de diámetro promedio, otro donde se alisa la superficie destinada al secado de los ladrillos "crudos", otro, de unos 20 m<sup>2</sup> promedio, donde se edifica el horno y finalmente otro sector donde se deposita la materia prima utilizada para la elaboración y también para almacenamiento de los ladrillos terminados.

Por el contrario, el suelo resulta muy afectado en aquellos lugares donde se extraen capas del terreno que son cargadas y transportadas en camiones hasta donde se asientan los hornos. Los lugares más utilizados para la obtención de tierras son los márgenes del dique Cruz de Piedra de donde se extrae sedimentos de "embanque" y campos ubicados al SE del parque industrial abandonado.

También es afectado el suelo donde se extrae la leña destinada a la cocción del ladrillo. Los lugares son diversos y dependen de los pedidos de material. En general los insumos "suelo" y "leña" son comprados a "terceros".

##### *· Agua*

Con relación al agua utilizada en el proceso de mezclado de la pasta para el ladrillo, el requerimiento es de unos 12 000 litros por cada 3 500 ladrillos. El líquido es almacenado en pequeñas represas antes de comenzar la producción. Los terrenos ubicados en el Chorrillo obtienen el agua de la red municipal con agua potabilizada pagada mensualmente.

En otros sectores más alejados, los propietarios toman agua del río Cuchi Corral por medio de bombas y otros de un acueducto que abonan en forma anual.

El agua subterránea no se utiliza en la elaboración de ladrillos en Juana Koslay.

##### *· Flora:*

El área ocupada por los establecimientos de estos emprendimientos varía pero en ningún caso excede los 1 000 m<sup>2</sup>.

El emprendimiento de don Valerio Sosa (figura N° 3) y el de otros ladrilleros pequeños están ubicados en el sector urbano de Juana Koslay, próximos al pasaje Los Hornos por lo que no es afectada la estabilidad ni la comunidad de vegetales.

Donde más se afecta la vegetación es en los campos donde se extrae la materia prima y en los campos donde se corta la leña. A pesar de los cambios de los sectores de extracción, esta produce un impacto directo en la flora y en la fauna.

##### *· Fauna:*

El sector más afectado es el área de donde se extrae el material para armar el ladrillo y donde se corta la leña para cocer los ladrillos. A pesar de ir variando los sectores, la extracción de leña tienen un impacto directo en la extinción de la flora y migración de la fauna.

#### *Medio Perceptual*

Se considera que este factor tiene un impacto variable según la ubicación de los emprendimientos.

En el sector urbano analizado, el paisaje natural fue modificado desde hace más de cien años con la instalación de estos hornos, que hasta hace una década atrás eran aproximadamente siete, sólo en el sector denominado El Chorrillo. Con el crecimiento de la población, estos emprendimientos se vieron rodeados por núcleos habitacionales que fueron creciendo cada vez más, y en los últimos años algunos de dichos hornos se trasladaron a otros sectores de la provincia, algunos se abandonaron y las tierras fueron utilizadas para construir viviendas. De ellos uno se mantiene en actividad permanente y dos trabajan en forma discontinua.

El paisaje natural de los sectores de extracción de la tierra y de la leña, para la elaboración de los ladrillos, es continuamente modificado y no se perciben acciones para su restauración y no existe legislación al respecto.

#### Medio Socioeconómico:

##### · Uso del territorio:

Los tres hornos de ladrillos están insertos en la actualidad dentro del barrio Los Nogales de la ciudad de Juana Koslay. En este lugar el uso del territorio es urbano y se considera que los hornos producen un impacto negativo con su producción. No obstante este impacto se hace mayor en los sectores de extracción del suelo y leña donde son afectados los territorios utilizados para agricultura y ganadería o bien son bosques naturales.

##### · Cultural: valor histórico

Uno de los valores históricos que tiene el municipio son los hornos de ladrillo del sector central de Juana Koslay, debido a que son unas de las actividades desarrolladas por los primeros pobladores de la zona.

Actualmente quedan unos pocos hornos viejos en actividad. Esta circunstancia representa un aspecto controvertido ya que la erradicación afecta negativamente lo histórico y simultáneamente mejora la calidad de vida.

##### · Infraestructura:

Hay rutas provinciales que rodean la ciudad de Juana Koslay y la conectan con otras ciudades de la provincia. La red de transporte es muy accesible en el sector analizado. En su mayoría las calles son asfaltadas y solo son de tierra las que rodean a los establecimientos ladrilleros. La red de abastecimiento es

bueno, cuenta con agua potable, y servicios municipales de luz, barrido y limpieza.

##### · Humanos:

La calidad de vida de los habitantes de Juana Koslay varía según sus ingresos y su ubicación dentro de la ciudad. Algunas viviendas son precarias, sin cierre perimetral, otras son casas de barrio construidas por el gobierno provincial y muchas de ellas, cuentan con mejoras. Hay en la ciudad numerosos sectores de viviendas que corresponden a sectores residenciales.

La seguridad está controlada por un sistema de seguridad comunitaria y por una comisaría que cuenta con varios móviles policiales.

Con relación a la salud, solo hay un hospital de día que deriva al hospital regional que dista unos 6 km en la ciudad capital de San Luis.

##### · Economía y Población:

La población de la ciudad de Juana Koslay, según el censo nacional de 1991 es de 4 186 habitantes, de los cuales 2 162 son varones y 2 024 mujeres. Más de la mitad tiene empleo fijo, principalmente en la ciudad de San Luis y otro en la ciudad de Juana Koslay, en su mayoría en el sector privado. Hay una porción considerable que trabaja en un plan provincial denominado "Plan de Inclusión Social" y recibe una ayuda económica como subsidio equivalente a media canasta familiar.

Dichos planes han disminuido el nivel de indigencia pero también contribuye a la falta de mano de obra entre los empleados de la construcción (albañiles, gasistas, electricistas, plomeros), incluso en los hornos de ladrillos.

La ciudad cuenta con inversiones en el campo comercial y, en menor proporción, en el turístico. Desde hace más de dos décadas hubo un incremento de la población y en consecuencia un aumento del valor de la tierra (de la superficie).

Debido a un mayor control municipal, la ciudad en los últimos años ha ido creciendo más ordenadamente.

La renta promedio per cápita es baja.

Las relaciones causa-efecto entre las acciones del proyecto y los factores del medio considerados para su estudio se muestran en la matriz de la tabla N° 3.

TABLA N° 3. MATRIZ DE IMPACTOS A UTILIZAR EN LA FASE FUNCIONAMIENTO

Matriz de relaciones causa-efecto entre acciones del proyecto y los factores del medio

FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS			ACCIONES IMPACTANTES · FASE DE FUNCIONAMIENTO				
			Extracción		Proceso de Elaboración	I Movimiento de vehículos	n+I Total Fase
			Extracción de suelo	Extracción de leña			
SUBSISTEMA CONSIDERADO	Componente j	Atmósfera					
		Agua superficial					
		Suelo					
		Flora					
		Fauna					
		Paisaje					
	Componente j	Uso del Territorio					
		Infraestructura					
		Humano y estético					
		Economía					
		Población					
Impacto Total del Sistema							

TABLA N° 4. IMPORTANCIA INDIVIDUAL DE IMPACTOS SOBRE CADA ACCIÓN

Acción	Atmósfera			Agua			Suelo/Tierra			Flora			Fauna			Paisaje			Uso del Territorio			Socio-económico		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Atributos	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Signo	3	5	8	2	1	12	10	5	10	8	10	6	6	6	4	1	12	10	10	6	1	1	1	1
Intrinsidad (I)	2	2	2	1	1	4	4	1	4	4	4	2	2	2	2	1	4	4	4	1	2	1	2	2
Extensión (Ex)	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	2	4	4	4	2	1	4	4	3	4	4	4	4	4
Momento (MO)	2	4	1	1	1	4	4	1	3	3	2	2	3	1	1	4	4	2	1	2	1	1	1	1
Persistencia (PE)	4	4	1	1	1	4	4	1	4	4	2	2	3	1	1	4	4	1	1	1	1	4	4	1
Reversibilidad (Rv)	6	4	2	1	1	4	4	1	8	4	4	3	3	1	1	8	4	2	1	2	1	8	4	2
Recuperabilidad (MC)	4	4	4	4	1	2	2	1	2	2	2	4	4	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Sinergia (SI)	2	3	4	2	1	4	4	1	4	4	1	3	4	3	1	4	4	1	1	1	2	2	1	1
Acumulación (AC)	3	4	4	4	1	4	4	1	4	4	1	2	2	2	1	4	4	1	1	1	2	2	1	1
Efecto (EF)	4	4	2	0	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	4	4	2	1	2	2	2	2	4
Periodicidad (PR)	42	50	50	25	16	72	66	25	67	61	52	44	47	30	13	76	66	48	30	24	17	+31	+27	+50
Importancia del impacto (I)																								+48

Nota: 1: Extracción del suelo 2: Extracción de leña 3: Proceso de elaboración 4: Movimiento de vehículos

La importancia del impacto de las distintas acciones se estableció a través de 11 atributos ordenados en la tabla N° 3 con su valoración correspondiente.

Los atributos son: Signo, Intensidad (I), Extensión (Ex), Momento (MO), Persistencia (PE), Reversibilidad (RV), Recuperabilidad (MC), Sinergia (SI), Acumulación (AC), Efecto (EF), Periodicidad (PR) y la Importancia del impacto (I) según *Conesa Fernández, V. op. cit.*

La sumatoria representa la importancia del impacto

$$I = \pm (3I + 2EX + MO + PE + RV + MC + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (1)$$

Se consideró por separado la acción de extracción de suelo y la de la extracción de la leña.

Es importante aclarar que aunque los dueños de cada establecimiento al ser compradores de la tierra también son responsables del impacto producido por la extracción de la

misma, no son los encargados de extraer la tierra para la elaboración de los ladrillos y la leña para su cocción; son responsables de su compra y en consecuencia del impacto que esto genera. Al realizar la matriz final de valoración de impactos estos dos ítems (suelo/ leña) se unificaron, usando el promedio.

La evaluación de impacto en cada uno de los factores ambientales fue calculada siguiendo la metodología de *V. Conesa Fernández (1997)* y cuya evaluación de impacto individual se resume en la tabla N° 4 y la información elaborada se sintetiza en la tabla N° 5 sobre la importancia del Impacto, y cuya evaluación de impacto individual se resume en la tabla N° 4 y la información elaborada se sintetiza en la tabla N° 5 sobre la importancia del Impacto.

Sobre la base de los valores de importancia de impacto ambiental se efectuó la ponderación según (*Conesa Fernández 1997*), obteniéndose la siguiente matriz de impacto para la fase de funcionamiento de los hornos de ladrillos que se observa en la tabla N° 6.

**TABLA N° 5. SÍNTESIS DE TABLAS SOBRE LA IMPORTANCIA DEL IMPACTO**

Importancia del impacto (I)	Fase de Funcionamiento			
	Extracción de suelo	Extracción de leña	Proceso de Elaboración	Movimiento de Vehículo
Atmósfera	-42	-50	-50	-25
Agua	-	-	-16	-
Suelo/ tierra	-72	-66	-25	-
Flora	-67	-61	-52	-
Fauna	-44	-47	-30	-13
Paisaje	+4	+4	+2	+1
Uso del territorio	-	-	+2	+1
Socio económico	+31	+27	+50	+48

Nota: Como uso del territorio solo se considera el ocupado por la ladrillera.

**TABLA N° 6. SÍNTESIS DE LA VALORACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN EL ENTORNO DEL PROYECTO**

FACTORES AMBIENTALES	ACCIONES PRODUCTORAS DE IMPACTOS			
	Fase del Proyecto			
	Explotación			
	Extracción del suelo	Extracción de leña/vegetación	Producción	Movimiento de vehículos
Atmósfera	-42	-50	-50	-25
Agua	0	0	-16	0
Suelo	-72	-66	-25	0
Flora	-67	-61	-52	0
Fauna	-44	-47	-30	-13
Paisaje	-76	-66	-48	-30
Uso del territorio	0	0	-24	-17
Socio económico	+31	+27	+50	+48
Total Absoluto	-270	-263	-195	-37

#### 4. RESULTADOS

##### Valoración cuantitativa del impacto ambiental

Como referencia se considera que los impactos con valores de importancia inferiores a 25 son irrelevantes. Los impactos moderados presentan una importancia entre 25 y 50. Severos entre 50 y 75 y críticos cuando el valor es superior a 75.

La valoración cualitativa de las acciones impactantes y de los factores ambientales impactados se realizó a través de una matriz de importancia, denominada matriz de cálculo, en donde se contempla la ponderación de la importancia relativa de los factores de Unidades de Importancia Ponderada (UIP). El análisis del modelo resultante permitió definir:

La importancia total  $I_i$  de los efectos debidos a cada acción  $i$

$$I_i = \sum_j I_{ij} \quad (2)$$

La importancia total ponderada  $IR_j$  de los mismos

$$IR_j = \sum_i I_{ij} \cdot P_j / \sum_i P_j \quad (3)$$

La importancia total  $I_j$  de los efectos causados a cada factor  $j$

$$I_j = \sum_i I_{ij} \quad (4)$$

La importancia total ponderada  $IR_j$  de los mismos

$$IR_j = \sum_i I_{ij} P_j / \sum_i P_j \quad (5)$$

La información resultante se observa en la tabla N° 6

En la tabla N° 7 se puede observar la Matriz Final de Valoración de Impactos

**TABLA 7. MATRIZ FINAL DE VALORACIÓN DE IMPACTOS.** UIP: Unidades de Importancia Ponderada

Factores Ambientales	UIP*	Fase Explotación				
		ACCIONES			Importancia Total	
		Extracción de suelo y leña	Proceso Elaboración	Movimiento de vehículo	Absoluto	Relativo
Atmósfera	150	-46	-50	-25	-121	-80.66
Agua	50	-	-16	-	-16	-32
Suelo	200	-69	-25	-	-94	-47
Flora	150	-64	-58	-	-122	-81.33
Fauna	50	-45	-30	-13	-90	-180
Paisaje	100	-71	-54	-36	-155	-155
Uso del territorio	50	-	-24	-17	-41	-82
Socio-Económico	250	+29	+50	+48	+127	+50.1
Total	$I_i$	-266	-207	-43	-600	-
	$IR_j$	-32.4	-17.9	+3.15	-	-51.38

\*UIP: Unidades de Importancia Ponderada

#### 5. VALORACIÓN

Como cada factor del medio representa sólo una parte del medio ambiente, se ponderó la importancia relativa de cada factor en cuanto a su contribución a la situación del medio ambiente. Para esto se distribuyó un factor de peso o índice ponderal (UIP) expresado en unidades de importancia.

En base a la suma ponderada de la importancia del impacto se identificó que las acciones mas agresivas ocurren en la extracción del suelo y la leña (-32.4) y las menos agresivas en el movimiento de vehículos, considerando la producción actual.

La suma ponderada de la importancia del efecto de cada factor ambiental nos indica que el factor ambiental que sufre las mayores consecuencias del funcionamiento de la actividad ladrillera es el paisaje a nivel regional y localmente la fauna en el sector de extracción del suelo y leña.

Los factores ambientales que sufren en mayor medida las consecuencias del funcionamiento de la actividad, considerando el grado de participación que dichos factores tienen en el deterioro del medio ambiente, son la fauna y el paisaje y los de menor consecuencia son el agua.

En la fase de explotación el impacto mas agresivo de los hornos de ladrillo del sector central de Juana Koslay se produce por la extracción del suelo y de la leña en el paisaje de los alrededores. Se lo considera un impacto "oculto" debido a que la extracción del suelo y de la leña se realiza en diferentes sectores alejados de la obra local pero con un fuerte impacto regional.

En la producción (proceso de elaboración del ladrillo), los impactos beneficiosos se advierten en el factor socio económico.

En este caso no se pudo obtener el impacto total neto por desconocerse como era el medio ambiente antes de la instalación de los hornos de ladrillos.

Haciendo un análisis cualitativo la acción de extracción de los materiales suelo y leña es la mas agresiva del entorno ambiental, pero alejado del municipio de Juana Koslay.

#### 6. CONCLUSIONES

En base a lo analizado para la fase de explotación de los hornos del barrio Los Nogales en Juana Koslay, es necesario trasladarlos a sectores rurales, mas adecuados para dicha actividad.

El impacto negativo es mayor en la fase de extracción de los materiales para la elaboración del ladrillo, pero el impacto negativo durante la fase de producción es también alto y con un

efecto mas inmediato en la población. Por esto se considera que la resolución de estos problemas nombrados consiste en la remoción del foco contaminante y su traslado a sectores rurales, apropiados, dentro del mismo municipio. Esta medida permitirá disminuir el impacto negativo de estas industrias, su mala relación con el entorno por estar ubicada en medio de un barrio y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Sin embargo esta acción no disminuirá el impacto negativo de la extracción del suelo y leña en regiones alejadas.

Por tal motivo, se considera que se trata de un impacto "oculto" debido a que la extracción del suelo y de la leña se realiza en diferentes sectores alejados de la obra local, pero con un fuerte impacto regional.

Para la fase de elaboración se sugiere la adopción de formas de extracción del suelo no degradantes, planificando su restauración y reemplazando la leña por gas natural en la cocción del ladrillo.

## 8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CAPITANELLI, R. Y M. ZAMORANO, 1972.

Geografía de la Provincia de San Luis.

*Boletín de Estudios Geográficos. Instituto de Geografía Universidad Nacional de Cuyo. Vol. XIX. N° 74 - 77. Mendoza.*

CONESA FERNÁNDEZ, V., 1997.

Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental.

*Ed. Mundi-Prensa. Madrid.*

GEZ JUAN W., 2002.

Geografía de la Provincia de San Luis.

*Reedición en fascículos del Gobierno provincia de San Luis.*

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SAN LUIS, 2003.

Localidades de San Luis, su historia y desarrollo.

*Fascículos.*

PEÑA ZUBIATE, C., ANDERSON D., DEMMI, A., SAENZ, J. L. Y D'HIRIART, A., 1998.

Carta de suelos y Vegetación de la Provincia de San Luis.

*Edición INTA y el Gobierno de la provincia de San Luis.*

Se aconseja que el municipio elabore un programa de vigilancia ambiental para industrias que generan impactos, no sólo en el propio establecimiento o en su entorno próximo sino en sectores mas alejados e incluso dispersos dentro de la región, los que muchas veces por estar "ocultos" y no ser de acción inmediata sobre los pobladores pasan desapercibidas durante mucho tiempo.

En base al estudio realizado se puede considerar que la actividad no es viable pese a estar en la fase de exploración.

## 7. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Luis que a través del Proyecto 22F531 "Formación Geoambiental" ha posibilitado la financiación del trabajo y al Doctor Hector L. Lacreu por la lectura crítica del mismo.



## Importancia de las metadatos en el uso de indicadores geoambientales

### El caso del nitrato como indicador de estado de calidad ambiental en aguas subterráneas

Cionchi, J.L.<sup>1,2,3</sup> - del Río, J.L.<sup>1,3</sup> - López de Armentia, A.<sup>1,3</sup> - Bó, M.J.<sup>1,3</sup>

#### Resumen

*En el presente trabajo se pone de manifiesto la necesidad de establecer y considerar como de singular importancia a las metadatos en el uso y aplicación de los indicadores geoambientales.*

*Se exponen las diversas implicancias del uso de parámetros de calidad de agua subterránea, tomando como indicador el tenor de los nitratos, teniendo en cuenta que una de las cuestiones más delicadas luego de definir el parámetro a ser utilizado es el alcance de su significado. El parámetro y su valor no deben ofrecer dudas respecto a la información que brindan respecto al ambiente de aplicación, tipo de sitios donde debe monitorearse, escala espacial del dato, método y frecuencia de medida, limitaciones del dato, la temporalidad y posibles umbrales del parámetro.*

*En el caso particular del nitrato en aguas subterráneas, utilizado como geoindicador de Estado de un acuífero, deben considerarse cuestiones relevantes como el método de muestreo y la técnica química empleada, tanto como el tipo y estado de la perforación.*

*En el presente aporte se demuestra la importancia del estado constructivo de las obras de captación para la aplicación de geoindicadores al momento de analizar las condiciones de Estado del acuífero, y advierte de las conclusiones erróneas a las que puede arribarse de no considerarlo apropiadamente.*

**Palabras Clave:** indicadores, metadatos, aguas subterráneas, nitratos.

#### Abstract

*The present work shows the necessity to establish and to consider as of singular importance to the metadatos in the use and application of the geo-environmental indicators. It was exposed the diverse implications of the use of parameters of groundwater quality are exposed, taking the amount of nitrates as an indicator, bearing in mind that one of the most delicate questions after defining the parameter to be used, is the scope of his meaning. The parameter and its value should not offer doubts about the information that brings, environment of application, type of sites where it has to be monitoring, spatial scale of the datum, method and frequency of measurement, limitations, temporality and possible thresholds of the parameter.*

*In the particular case of the groundwater nitrate used as State geo-indicator of a aquifer should be considered as a relevant questions, the method of sampling and the chemical technology as well as the type and state of the perforation.*

*This work emphasizes the importance of the constructive condition of the wells to be used on studies based on geoindicators.*

**Keywords:** indicators, metadatos, groundwater, nitrates.

Entregado: 06 de Octubre de 2006 ▪ Aceptado: 21 de Diciembre de 2007

1. Grupo de Geología Ambiental, CGC y C, UNMDP
2. Obras Sanitarias Sociedad de Estado
3. Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Fac. de Cs. Exactas y Nat., Univ. Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Nivel +1.80, 7600, Mar del Plata.  
Dirección electrónica: jldr@mdp.edu.ar



## 1. INTRODUCCIÓN

Los indicadores ambientales nacen como resultado de la creciente preocupación por los aspectos ambientales del desarrollo y del bienestar humano (*Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, OCDE, 1994*). Particularmente, luego de la Cumbre de La Tierra -Eco '92- se postula a nivel global su fomento a todos los Estados miembros de la ONU, para medir el desarrollo sostenible de los *programas nacionales de planificación económica y social y en sus procedimientos de toma de decisiones, con miras a la eficaz integración de los sistemas de contabilidad económica integrada en la planificación del desarrollo económico en el plano nacional*.

La importancia de los indicadores radica en su posibilidad de dar imágenes sintéticas de un problema ambiental; son medidas que proveen una señal o explicación sobre cuestiones de mayor significancia, o que hacen perceptible una tendencia o fenómeno que a veces no es evidente o inmediatamente detectable (*OCDE 2003*).

Un indicador ambiental es una variable que provee información agregada y sintética sobre un proceso o fenómeno determinado más allá de su propio significado y, además, debe atender a un claro interés social ya que debe asistir a la toma de decisiones.

Una de las cuestiones más delicadas luego de definir el parámetro a ser utilizado como indicador es el alcance de su significado, esto es que el dato que emerja del mismo no ofrezca dudas respecto a la información que brinda; causas naturales o artificiales implicadas en su presencia o en sus variaciones; ambiente de aplicación, tipo de sitios donde debe monitorearse, escala espacial del dato, método y frecuencia de medida, limitaciones del dato y el monitoreo, temporalidad (aplicabilidad al pasado y al futuro) y posibles umbrales de parámetro.

Por tales motivos, al implementar un sistema de indicadores es necesario además decidir cuales son los parámetros a monitorear. Debemos establecer lo que denominamos metadata de la medida, que son descriptores detallados de las condiciones del parámetro a ser medido y su entorno físico y conceptual. Otras definiciones de la expresión remiten a la idea de los datos acerca de los datos, esto es que las metadata proveen información acerca del contenido, calidad, condición y otras características de los datos (*USGS 2005*).

Establecer cual es la calidad del agua en base a pocos parámetros es sin dudas un difícil desafío. Sin embargo, en el

contexto de los geoindicadores, a través del programa GEOIN de la IUGS, ha sido posible seleccionar unos pocos parámetros de primer orden que pueden ser usados en la mayoría de las circunstancias para evaluar procesos o tendencias del orden de los 50 a 100 años (*GEOIN 2005*).

Los indicadores de primer orden propuestos por GEOIN son:

1. Salinidad: Cl.
2. Acidez y estado redox: pH, HCO<sub>3</sub>, Eh.
3. Radioactividad: <sup>3</sup>H, <sup>3</sup>
4. Polución Agrícola: NO<sub>3</sub>,
5. Polución Minera: SO<sub>4</sub>, pH,
6. Polución Urbana: Cl, HCO<sub>3</sub>, DOC,

La calidad de las aguas subterráneas refleja los aportes atmosféricos, del suelo, las reacciones de meteorización, y de los posibles contaminantes derivados de las actividades humanas como la minería, la agricultura, los usos domésticos e industriales y la disposición de residuos.

## 2. OBJETIVO

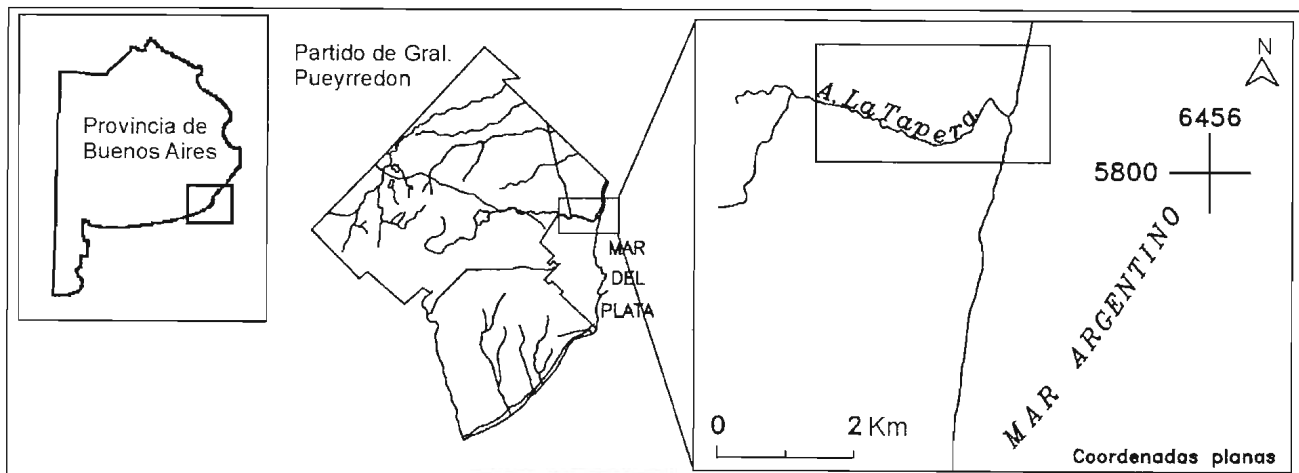
El objetivo del presente trabajo consiste en brindar una discusión sustentada sobre la importancia de la calidad, consistencia y confiabilidad de los parámetros a ser medidos, en particular del recurso agua, pero extensible a los restantes medios, en el proceso de producción de geoindicadores de calidad o sustentabilidad ambientales.

Más específicamente, este trabajo intenta a través del estudio de un caso demostrar la importancia de incorporar a las *metadata* de los indicadores de contaminación de aguas subterráneas criterios básicos de la construcción de los pozos de muestreo.

## 3. UBICACIÓN Y MARCO REGIONAL

La zona estudiada se encuentra situada en el vértice noreste de la ciudad de Mar del Plata, Partido de General Pueyrredón, en el sudeste la Provincia de Buenos Aires, entre los paralelos 37° 55' 59" y 37° 57' 04" sur y los meridianos 57° 31' 24" y 57° 34' 08" oeste. Abarca una pequeña superficie de 3 km<sup>2</sup>, en la cuenca inferior del arroyo La Tapera (Fig. 1). Dicho arroyo es el límite noreste del ejido de la ciudad de Mar del Plata.

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN



El área de estudio corresponde al periurbano marplatense el cual se define como un ecotono, dinámico y fragmentado (Mantobani y del Río 2005), caracterizado por la acumulación de metabolitos de procesos urbanos y rurales y la falta de continuidad de servicios ambientales y urbanos (Morello 2000) que devienen en riesgos ambientales en general, y para la calidad de las aguas subterráneas en particular (Bocanegra, et al 2003; del Río, et. al 2004).

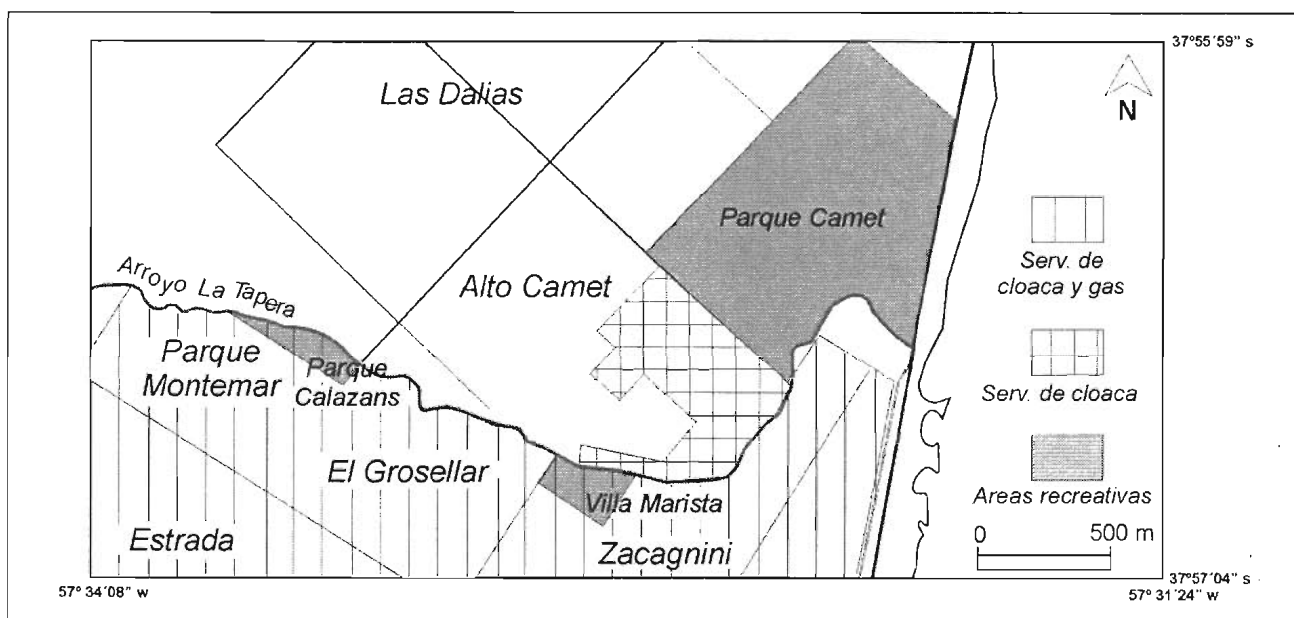
Los usos del suelo predominantes son urbano y de agricultura intensiva.

La zona abarca los barrios Zacagnini, El Grosellar, Parque Montemar, Alto Camet y Las Dalias, los cuales cuentan con los servicios de gas, electricidad (Fernández et al., 1996) y cloaca (Cionchi y Redin, 2004) (fig. 2).

Al norte del arroyo, sobre la franja costera se encuentra el parque Camet, un área de 136 Hectáreas de las cuales 40 están profusamente arboladas con eucaliptos y coníferas formando un monte que alterna con claros, dando espacio para la práctica de distintos deportes y actividad recreativa. También en la parte central se encuentra la Villa Marista, predio de 10 hectáreas cuyo límite norte es el arroyo La Tapera con características similares a la anterior (Fig. 2).

Según datos agregados por la Municipalidad de Gral. Pueyrredón de los censos del INDEC de 1991 y 2001, para los barrios que se ubican en el área de estudio, la cantidad de habitantes es de aproximadamente de 8 338 (INDEC 1991), con 3 851 viviendas edificadas en 1991 y 6 447 según estimación del año 2000, con sectores de actividad económica comercial e industrial en menor medida (INDEC 1991).

FIGURA 2. COBERTURA DE SERVICIOS Y ÁREAS RECREATIVAS



#### 4. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El clima de la región es del tipo "subhúmedo-húmedo, mesotermal, sin deficiencia de agua", de acuerdo con el método de Thornthwaite (en Burgos y Vidal 1951). El módulo pluviométrico histórico del siglo XX, para la Estación Mar del Plata (SMN) es de 861,3 mm, mientras que para el período 1961-2000 es de 930,4 mm.

Los registros térmicos para el período 1901-2000 es de 13.8 °C, y para el intervalo 1961-2000 es de 13.9 °C. Para el período 1961-2000, según el método de Thornthwaite (en Burgos y Vidal op. cit.), el "exceso" de agua, destinado a la recarga de los acuíferos es de 202,1 mm, con una media histórica para todo el siglo XX de 142.7 mm anuales.

La región dentro de la cual se encuentra el sector estudiado se caracteriza hidrogeológicamente por la presencia del Complejo Clástico Permeable (en el sentido de Sala 1975), el que constituye un complejo sedimentario de origen eólico y fluvioeólico, de composición muy variable aunque predominantemente pelítico, limos loessoides, en parte arcilloso a algo arenoso fino a muy fino, con abundante vidrio volcánico y carbonato de calcio desde pulverulento a capas de tosca distribuida en

manchones irregulares y con diferentes grados de compactación. En el sector estudiado, el Complejo Clástico Permeable está representado, esencialmente por la Sección Epiparaniana, ya que de las restantes (Paraniana e Hipoparaniana), sólo se tienen referencias aisladas y de carácter indirecto (Ruíz Huidobro 1975; Sala op.cit.)

Los espesores varían desde unos 80 metros a algo más 100 metros. La permeabilidad media se ha estimado en 10-15 m/día. Los valores de transmisibilidad resultan muy variables.

Los coeficientes de almacenamiento varían desde 10<sup>-3</sup> hasta 10<sup>-2</sup>. La recarga del sistema acuífero se produce en forma autóctona, en toda la región, a expensas de los excedentes de lluvias del ciclo hidrológico de la región.

#### 5. METODOLOGÍA

En este sector se revisaron unas 60 perforaciones domiciliarias, de las cuales se seleccionaron 38, de las que se disponen no sólo los correspondientes análisis químicos sino además un conocimiento detallado de los diseños de construcción de las mismas (Cionchi, 2005).

Las 38 perforaciones seleccionadas tienen profundidades totales promedios entre 45 y 55 metros bajo nivel natural del terreno y 20 de ellas cuentan con cañería de aislación hasta profundidades entre 30 y 35 metros.

Las muestras de agua obtenidas en los correspondientes pozos fueron analizadas en los laboratorios de Obras Sanitarias Mar del Plata SE, de acuerdo con las técnicas de "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (Adams 1999). En algunos casos, los pozos pudieron ser muestreados antes de la instalación de la cañería de aislación y luego de haber completado la misma.

Con esta información seleccionada se confeccionaron 2 mapas de isocontenidos de nitratos, el primero de ellos con los valores de los 38 pozos analizados, lo que implica una cobertura espacial de 12,66 pozos por km<sup>2</sup>, mientras que el segundo se elaboró exclusivamente con los datos de los pozos que cuentan con anillo sanitario a profundidades variables de entre 30 y 35 metros bajo el nivel natural del terreno, con una densidad de muestreo de 6,66 pozos por km<sup>2</sup>.

## 6. RESULTADOS

En el caso que nos ocupa, al utilizar el mismo sistema de muestreo y la misma técnica química de determinación de nitratos, las diferencias observadas deben vincularse a variaciones en el acuífero o en los pozos de muestreo.

Cada una de estas últimas opciones remite necesariamente a conclusiones diferentes, las que pueden eventualmente derivar en respuestas distintas al interpretar el fenómeno analizado.

Las zonas con mayor concentración de nitratos parecen estar situadas en la porción noroeste y central de la zona de estudio. El primer sector se encuentra "aguas abajo" de pequeñas áreas en las que predominan las actividades hortícolas, mientras que el segundo coincide con áreas urbanizadas.

La interpretación del primer mapa (Fig 3) induce a pensar en una fuente de contaminación difusa vinculada a actividades agropecuarias intensivas donde el exceso de fertilizantes nitrogenados y la disposición "in situ" de efluentes domésticos estarían aportando a los niveles superiores del acuífero, generando un proceso de contaminación importante, el que se vería favorecido por la ausencia de mecanismos de protección como lo son las cañerías de aislación (Cionchi y Redín 2005).

En cambio, en el caso de los pozos con cañería de aislación cementada (Fig. 4), el máximo valor determinado de nitratos es de 41 mg/l, valores que se encuentran en la porción central de la zona de estudio. De todas formas vale la pena destacar que aún los valores determinados en los pozos con cañería de aislación cementada ubicados en las mismas zonas en que se registran los máximos, tanto en áreas rurales como urbanas, presentan tenores de nitratos significativamente menores, lo que nos permite admitir que no es la actividad que se desarrolla en la superficie el factor de mayor incidencia en la contaminación de las aguas subterráneas sino el diseño inadecuado de los pozos (Cionchi y Redín 2005).

FIGURA 3. MAPA DE ISOCONTENIDO DE NITRATOS

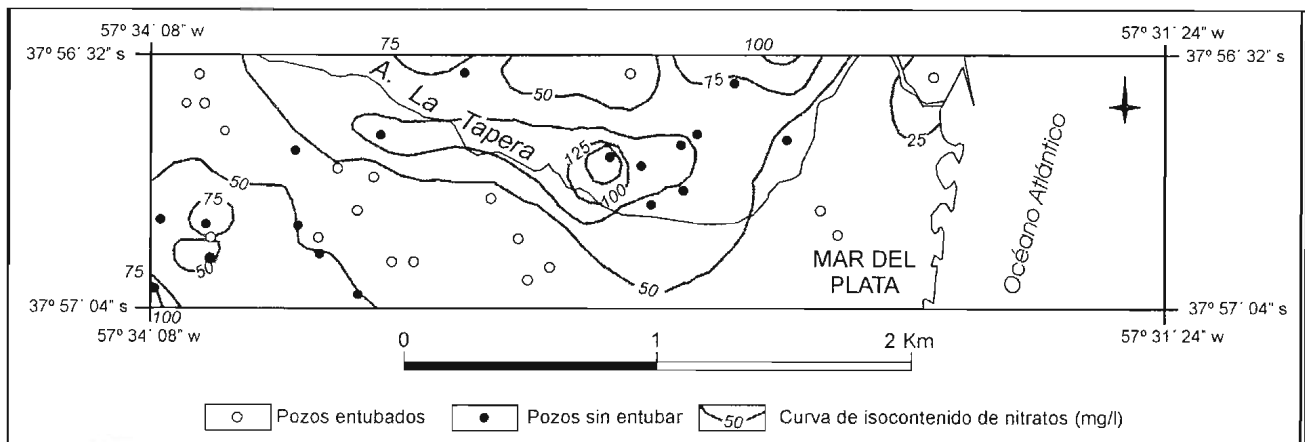
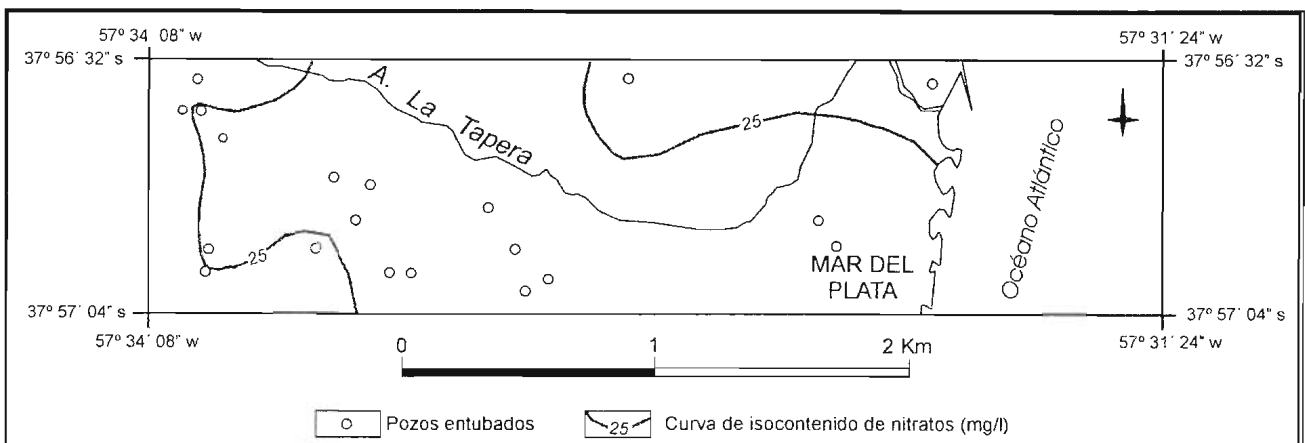


FIGURA 4. MAPA DE ISOCONTENIDO DE NITRATOS. POZOS CON AISLACIÓN CEMENTADA



## 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los nitratos, que pueden ser aportados a partir de diversas fuentes (residuos biológicos, aguas servidas, fertilizantes, etc.), se encuentran entre los indicadores más importantes (Blarasin et al. 2003; GEOIN op. cit.; GCRIO, 2005), no sólo por su estabilidad y movilidad en un medio oxidante, así como la ventaja adicional de que ayuda a definir las condiciones redox (Berger y Iams 1996), sino además por la sencillez y bajo costo de su determinación (Varsavsky y Fernández Dillon 2004).

El contenido de nitratos en las aguas subterráneas, en ambientes rurales y periurbanos, es un parámetro que reúne las condiciones consideradas relevantes que debe tener un indicador (en este caso de contaminación antrópica), tales como: Validez científica, Representatividad, Sensibilidad a los cambios, Fiabilidad de los datos, Relevancia, Comprensibilidad, Predictibilidad, Objetivo de metas, Comparabilidad interterritorial, Cobertura geográfica y Eficiencia en términos de costo beneficio.

Sin embargo, a los fines de cumplir acabadamente con lo postulado es necesario establecer con claridad algunos aspectos que se originan en la calidad y sistematización de la toma de datos.

Custodio (1983) advierte que las muestras deben obtenerse en condiciones de máxima representatividad y agrega que para ello deben seleccionarse pozos correctamente construidos y cuyas zonas de producción o de aporte resulten coincidentes en todos ellos, ya que cuando estas condiciones no son observadas puede ocurrir que en el pozo se mezclen aguas de diferentes orígenes

Las metadatos deben establecer claramente sólo el tipo de información que debe ser incluida y no la estructura de una base de datos. Las mismas pueden incluir tópicos tales como: Nombre del indicador, Tipo del indicador (Estado, Presión o

Respuesta), Función Ambiental (Fuente, Sumidero, Naturalidad o Soporte), Componente del ambiente a ser medido, Significación y/o relevancia del indicador, información sobre la calidad ambiental que provee, Tipo de unidad espacial al cual es aplicable, tipo de ambiente y lugar donde las muestras deben ser tomadas, medida bruta, dato normalizado, disponibilidad y frecuencia de muestreo, procedimiento de medición, precisión de la medición, confiabilidad, e incluso pueden o deben agregarse comentarios adicionales.

Las conclusiones a las que se arribaría en función de una u otra situación establecerían, atentos al carácter de indicador de estado que se le atribuye al anión, dos resultados francamente contradictorios, ya que en un caso los tenores de nitratos permitirían considerar al agua dentro de los límites recomendados en el Código Alimentario Argentino, mientras que en el restante debería descartarse el recurso para el suministro como bebida.

Esto pone de manifiesto la necesidad de establecer y considerar como de singular importancia a la metadatos de los parámetros utilizados como geoindicadores y en el caso particular del nitrato en aguas subterráneas incorporar no solo cuestiones relevantes como el método de muestreo, el nivel muestreado o la técnica química empleada en la determinación del dato el tipo y estado de la perforación.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a la empresa Obras Sanitarias Mar del Plata Sociedad de Estado que ha puesto a disposición del presente trabajo documentación relevante y necesaria.

Los autores expresan su reconocimiento a los proyectos de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT. AR-Pict 439) y de la Universidad Nacional de Mar del Plata (Exa 258/03) que han colaborado en el financiamiento del presente aporte.

## 9. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ADAMS, V. D., 1999.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

20ª Edición (APHA – AWWA – WEF) ISBN 0873711998. University of Nevada. Reno, Nevada, USA, 264 pp.

BERGER, R. A. AND W. J. IAMS, 1996.

Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in Earth Systems.

Edit. Balkema, 466 pp.

BLARASIN M., A. CABRERA AND E. MATTEODA, 2003.

Groundwater Geoindicators as tools for the Assessment of Environmental changes and their Implications for Planning and Policies Implications, Río Cuarto City, Argentina.

*Journal of Environmental Hydrology*, ISSN 1058-3912, Volume 11.

BOCANEGRA, E.M, DEL RÍO, J.L. AND A. LÓPEZ DE ARMENTIA, 2003.

Geoindicators applied to the Risk of Groundwater Contamination due to Urban Expansion and Externalities in Mar del Plata, Argentina.

*1st International Conference on Groundwater in Geological Engineering*, 4 pp. Bled, Slovenia.

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.

CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN, HOGARES Y VIVIENDAS 1991.

Dirección Provincial de Estadística.

CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN, HOGARES Y VIVIENDAS 2001.

Datos agregados del partido de Gral. Pueyrredon. Comparativa intercensal 1991-2001.

*Sobre datos de la Dirección Provincial de Estadística. Departamento de Información Estratégica.*

*Dirección General de la Producción. Munic. de Gral. Pueyrredon, mayo de 2004.*

- CIONCHI, J. L., 2005.  
La influencia de las características constructivas en la caracterización hidroquímica del agua subterránea.  
*IV Cong. Hidrogeol. Arg., T 2: 135-140. Río Cuarto.*
- CIONCHI J.L. E I. REDIN, 2004.  
Contaminación del agua subterránea producida por las deficiencias constructivas en las perforaciones.  
*Informe inédito de la Gerencia de Planificación y Administración de Recursos Hídricos –OSSE (Informe RH 1/2004).*
- CIONCHI, J. L. E I. REDIN. 2005.  
La construcción deficiente de pozos y su influencia en la contaminación de acuíferos en el sudeste bonaerense (Argentina).  
*IV Cong. Hidrogeol. Arg., Actas, T 1: 251-258. Río Cuarto.*
- CUSTODIO, E., 1983.  
Principios básicos de química y radioquímica de aguas subterráneas.  
*En Custodio, E y R. Llamas (Editores) Hidrología Subterránea, T 1, Secc. 4, págs 175 – 246. Ediciones Omega SA. Barcelona (España).*
- DEL RÍO, J. L., 2002.  
Funciones y disfunciones ambientales en la zona periurbana.  
*Edit. GADU.FAUDI-UNMdP. Serie Libros. Mar del Plata. 74pp.*
- DEL RÍO J.L ; CIONCHI, J.L. , GONZÁLEZ, J. MARTÍNEZ ARCA J. Y M.J. BÓ., 2004.  
Evaluación del riesgo de contaminación de acuíferos mediante una aproximación paramétrica en el partido de General Pueyrredon, Buenos Aires, Argentina.  
*Revista de Geología aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Volumen XX: 1-10.*
- FERNÁNDEZ, R., 1996.  
Habitar Mar del Plata.  
*Editorial UNMDP-PA, Buenos Aires-Mar del Plata. 186 pp.*
- GEOINDICATORS INITIATIVE (GEOIN), 2005.  
International Union of Geological Sciences.  
*Final report to IUGS. www.geoindicator.org*
- MANTOBANI, J. Y J. L. DEL RÍO. 2003.  
Reflexiones sobre el significado de los Ambientes Periurbanos desde la Perspectiva de la Relación Sociedad/Naturaleza.  
*IV Seminario Internacional de Estudios Urbanos. 11pp. Tandil.*
- MORELLO, J., 2000.  
Funciones del sistema periurbano: el caso de Buenos Aires.  
*Ediciones CIAM. Serie Libros. Mar del Plata. 50 pp.*
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE), 1994a.  
OECD Core Set of Environmental Indicators.  
*Paris.*
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE), 1994b.  
OECD Environmental Indicators and the Environmental Performance Review of the Netherlands.  
*Paris.*
- OCDE, 1994.  
Environmental Indicators.  
*Report from Secretary General of the OCDE. Paris.*
- RUIZ HUIDOBRO, O., 1975.  
Informe final referente convenio O.S.N.  
*Facultad de Cs. Exactas y Naturales (U.B.A.). Informe Inédito. Buenos Aires.*
- SALA, J.M., 1975.  
Recursos Hídricos (especial mención de las aguas subterráneas).  
*VI Cong. Geol. Arg.. Relatorio: 169-194. Buenos Aires.*
- US GLOBAL CHANGE RESEARCH INFORMATION OFFICE (GCRIO), 2005.  
*http://www.gcrio.org/GCDIS/iplan/tab3gcdip.html.*
- USGS at American Geophysical Union Meeting December 5 - 9, 2005.
- VARSAVSKY, A.I. Y D. FERNÁNDEZ DILLON. 2004.  
Nitratos en el medio ambiente. ¿Qué se dice y que se sabe?  
*Revista Industria y Química. N° 347: 17-21. Buenos Aires.*



## Evaluación del grado de torrencialidad en la cuenca del Río Gastona y su relación con hidrogramas de crecientes

Tucumán, Noroeste Argentino

Busnelli, José <sup>1,2\*</sup> - Collantes, Mirian M. <sup>1</sup> - Sayago, José M. <sup>1\*</sup>

### Resumen

La cuenca alta del río Gastona es representativa de las condiciones hidrogeomorfológicas de las cuencas de drenaje en las áreas montañosas del Noroeste Argentino, con una alta jerarquización y un elevado número de tributarios. Esta situación sumada a fuertes pendientes y lluvias estacionales intensas le brindan un carácter torrencial a los ríos.

En el Noroeste de Argentina, como en varios lugares del país, es notable la ausencia de estaciones de aforos de caudales de crecidas, lo que dificulta el estudio hidrológico de las inundaciones tendientes a plantear medidas de mitigación de los riesgos. El presente trabajo presenta una metodología semicuantitativa para la evaluación del grado de torrencialidad en cuencas de drenaje, que puede servir de base para estudios de riesgos de inundación en regiones carentes de registros hidrológicos.

La metodología se basa en el análisis de la torrencialidad de la cuenca a partir de la evaluación de parámetros morfométricos por medio del mapeo detallado de la red de drenaje a partir de fotointerpretación y el manejo de datos usando el ILWIS (Integrated Land and Water Information System).

La división de la cuenca se planteó a partir de los principales ríos del sistema fluvial del Gastona. Se analizaron en forma separada las cuencas primarias o carentes de tributarios, de las secundarias o receptoras de otras subcuencas. Este estudio permite obtener el grado de torrencialidad de las subcuencas a partir de las características geomorfológicas de la red de drenaje, facilitando la determinación de los hidrogramas de crecientes.

**Palabras clave:** Torrencialidad, Hidrogramas de crecientes, Cuencas primarias y secundarias, Río Gastona, ILWIS.

### Abstract

The high basin of the Gastona River, with a high hierarchic order and a high number of tributary rivers is representative of the hydrogeomorphologic conditions of the mountainous drainage basins of Northwestern Argentina. The rivers have a torrential pattern due to this situation, in addition to steep slopes and intense seasonal rains.

Entregado: 13 de Octubre de 2006 ■ Aceptado: 13 de Junio de 2007

1. CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

\* Instituto de Geociencias y Medio Ambiente (INGEMA).  
Cátedra de Geomorfología. Facultad de Ciencias Naturales e  
Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán.  
Miguel Lillo 205. San Miguel de Tucumán. (4000). Tucumán.  
Teléfono: 0381-4239456. Fax: 0381-4330633.

2. Dirección electrónica: jose.busnelli@gmail.com

The lack of water volume measure stations during a flood event complicates the hydrological study of floods in order to propose risk mitigation measurements. Therefore, the current research develops a semiquantitative methodology to evaluate the torrential grade in drainage basins that can be useful as a basis for flood hazard studies in regions lacking of hydrological registers.

*The methodology is based on the basin torrential analysis through the morphometric parameter evaluation through the detailed drainage net mapping and the data management using ILWIS (Integrated Land and Water Information System).*

*The basin was divided considering the main rivers of the high fluvial system of the Gastona. The primary basins (without tributaries) and the secondary basins (receiving basins) were analyzed separately. The torrential grade can be obtained by the geomorphologic features of the drainage net, supplying a base for determining the flood hydrograph.*

**Keywords:** *Torrenciality, Flood hydrograph, Primary and Secondary basins, Gastona River, ILWIS.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El área de estudio corresponde a la cuenca alta del río Gastona, departamento Chichigasta, sudoeste de la provincia de Tucumán. El río Gastona constituye un tributario de la cuenca Salí-Dulce, aunque no drena sus aguas directamente al río Salí, sino que desembocan en un delta compartido en el dique Frontal (límite con Santiago del Estero). La topografía de la región es abrupta con alturas de 380 m s.n.m. en el límite pedemontano hacia el este hasta más de 5 000 m s.n.m. en las sierras hacia el oeste. En términos generales, las alturas y el gradiente de pendiente se incrementan progresivamente y exponencialmente de este a oeste.

La cuenca alta del Gastona presenta una gran bifurcación en las subcuencas más elevadas, lo que se traduce en un alto número de tributarios, lo que sumado a un clima subtropical sub-húmedo a semiárido con contrastes pluviométricos estacionales, le brinda un carácter torrencial a la cuenca durante el verano que es cuando se producen la mayor cantidad de precipitaciones y éstas se presentan como tormentas de corta duración y gran volumen generando una gran intensidad erosiva y riesgos de inundación.

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental establecer el grado de torrencialidad de la red de drenaje de la cuenca alta del río Gastona, a partir del estudio de los parámetros morfométricos de la misma, y su relación con los hidrogramas de crecientes medidos para predecir hidrogramas para cada subcuenca.

La evaluación del grado de torrencialidad de una cuenca, entendiéndose como torrencialidad la magnitud alcanzada durante una creciente, caracterizada por su brusca y repentina aparición y su elevada energía, es uno de los objetivos más complicados e importantes a lograr en trabajos de sistematización. Su determinación en ríos de la región montañosa del noroeste argentino se dificulta al no contar, la mayoría de los mismos, con estaciones de registros continuos de caudales sólidos y/o líquidos durante las crecidas.

La demostración que en ciertas áreas algunas características de los hidrogramas, así como la cantidad de flujo, están fuertemente relacionadas a algunos factores hidrogeomorfológicos medibles en la cuenca, indicaría que un análisis detallado de los parámetros morfométricos, permitiría alcanzar una determinación preliminar de la intensidad de la torrencialidad tanto en cuencas carentes de aforos como en aquellas, que aún poseyéndolas, presentan una compleja dinámica hidrogeomorfológica.

En tal sentido, se planteó recurrir al análisis de los parámetros geomorfológicos de las cuencas hídricas, de fácil obtención a partir de la fotointerpretación, como herramienta para la evaluación del grado de torrencialidad en especial en cuencas carentes de registros hidrológicos.

Se planteó aplicar una metodología modificada y adaptada del estudio realizado por *Guido y Busnelli (1993)*, donde a partir de la utilización de criterios hidrogeomorfológicos, representativos y fácilmente medibles sobre fotografías aéreas, se determinaron diferentes grados de torrencialidad en cuencas fluviales de la región.

Para correlacionar la metodología aplicada con la información hidrológica disponible se tomó un evento de inundación ocurrido con fecha de 21 y 22 de enero de 1971 contrándose con los datos de precipitaciones diarias de esas fechas y fechas anteriores, como así también los hidrogramas de crecientes medidos por la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia para el río Solco y el arroyo Membrillo en sus desembocaduras.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1. Ubicación

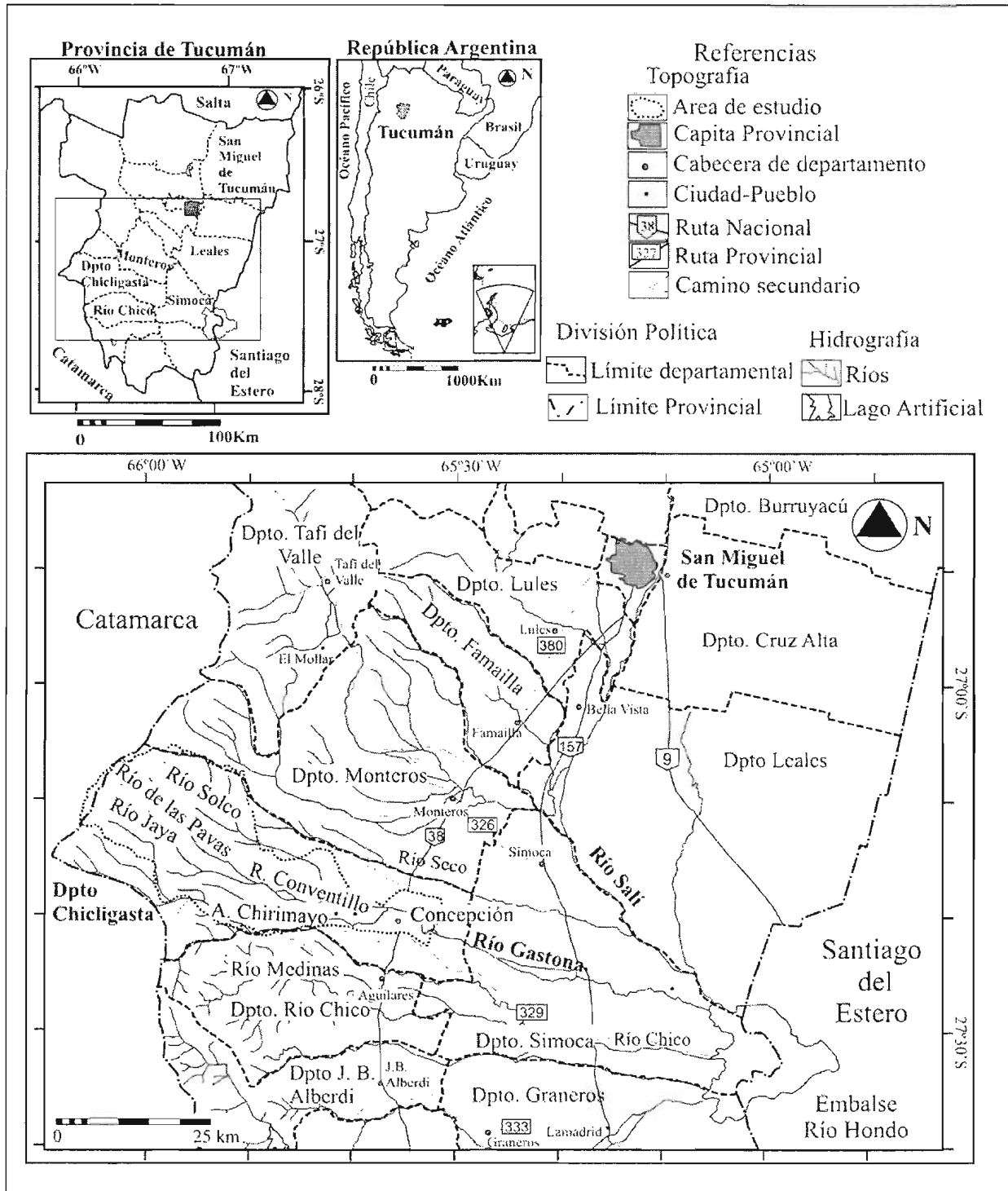
La cuenca alta del río Gastona se ubica en el faldeo oriental y piedemonte de la Sierra del Aconquija en el sector sudoeste de la provincia de Tucumán al Noroeste de la República Argentina (Fig. 1) y es representativa de las cuencas de transición montañas-pedemontanas de exposición oriental en el Noroeste Argentino. La cuenca completa del río Gastona es tributaria de la gran cuenca del río Salí en la provincia de Tucumán. Esta cuenca desemboca en el Embalse de Río Hondo compartiendo un delta con el río Salí, en el límite con la provincia de Santiago del Estero al este, mientras que hacia el oeste, el límite está representado por las altas cumbres de la Sierra del Aconquija que separan la cuenca de la provincia de Catamarca. La cuenca del río Gastona limita al norte con la cuenca del río Seco y al sur con la del río Medinas-Chico, mediante divisorias de aguas.

### 2.2. Clima

Regionalmente la cuenca se encuentra bajo la influencia de un clima subtropical continental, con una marcada amplitud térmica estacional, con altas temperaturas en verano y relativamente bajas en invierno. El régimen pluvial también es contrastado estacionalmente, siendo húmedo a subhúmedo en verano y semiárido en invierno. Ambos, la precipitación y la temperatura, se encuentran controladas por las características topográficas (*Torres Bruchmann 1977*).

El 85 % del total de las precipitaciones cae en verano y primavera y se manifiesta generalmente como lluvias torrenciales (*Bianchi y Yañez 1992*). El 15% restante precipita en las otras estaciones del año y se presenta en forma de lloviznas suaves en el piedemonte y como neviscas y nevadas ligeras en las sierras. En el área de estudio se presentan "lluvias generadas por barreras orográficas" que se incrementan desde el piedemonte (400 m s.n.m. y precipitaciones de 1 000 mm anuales) hasta cierta elevación en la ladera oriental (1 300 m s.n.m. con precipitaciones mayores a los 2 000 mm); y que luego decrecen debido a

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO GASTONA



que a esta altura descarga su máximo contenido de humedad y para altitudes mayores por el efecto de "sombra de lluvia" vuelve a disminuir hasta los 500 mm anuales hacia los 4 500 m s.n.m. de altitud (Minetti 1999).

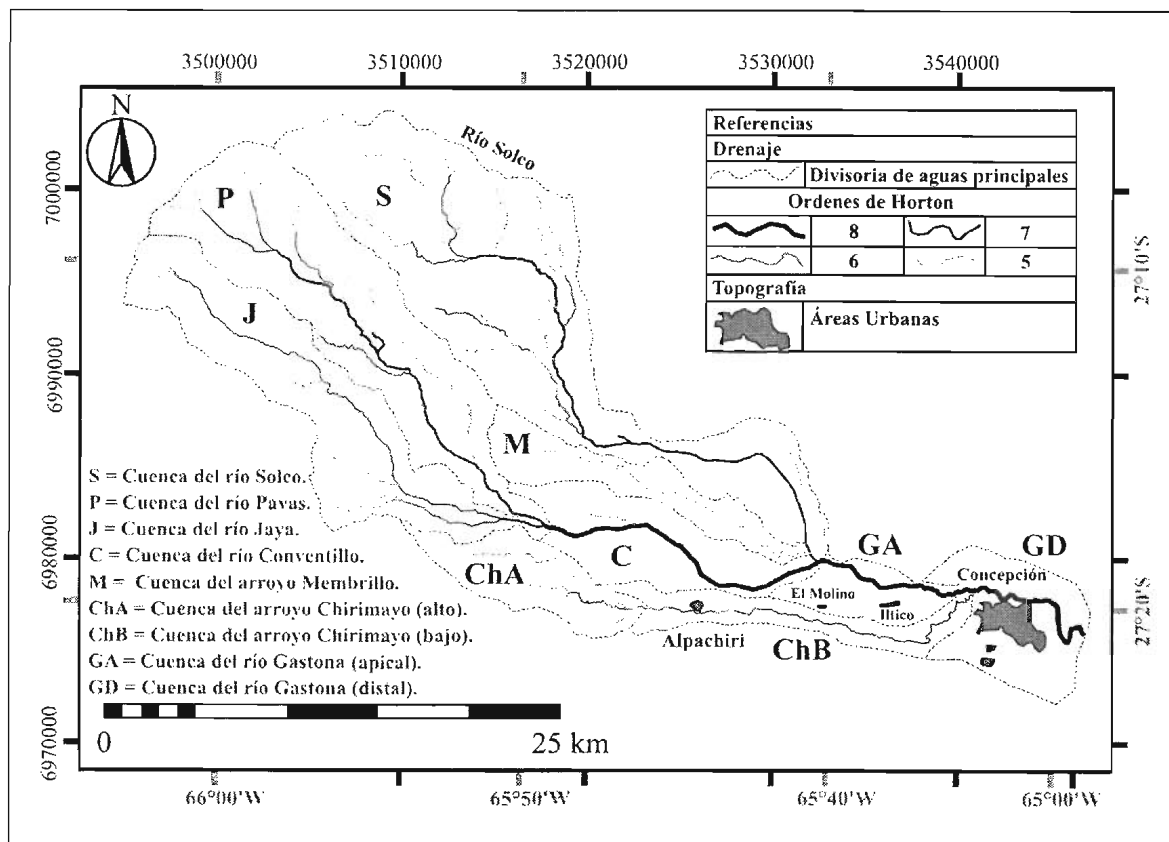
### 2.3. Hidrografía

La cuenca imbrífera (Fig. 2) tiene sus límites en los nevados del Aconquija hacia el oeste, que constituyen las divisorias de aguas regionales en la Sierra del Aconquija que separan la amplia ladera oriental extendida en territorio tucumano, de la

ladera occidental de menor extensión y mayor pendiente en Catamarca (Santillán de Andrés y Ricci 1980). Sus principales afluentes son el río Solco, que hacia la cuenca baja recibe las aguas del Arroyo Membrillo. En el límite de las divisorias de aguas regionales, pero hacia el sur, fluyen el Pavas y el Jaya que conforman el Conventillo, los que en la localidad de El Molino se unen con el Solco para originar el Gastona que al oeste de Concepción recibe al Arroyo Chirimayo y que luego drenan en dirección E-SE hasta encontrar el Embalse de Río Hondo (Alderete 1998).



FIGURA 2. PRINCIPALES RÍOS (ORDENES DE HORTON DE 5 A 8) Y SUBCUENCAS EN LA CUENCA ALTA DEL GASTONA



#### 2.4. Geología

El área de estudio se encuentra situada en el ámbito de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales (Caminos 1979) o Sierras Pampeanas Septentrionales (Aceñolaza y Toselli 1981) abarcando el área serrana y pedemontana.

El basamento de las Sierras Pampeanas Noroccidentales corresponde al orógeno Precámbrico-Eopaleozoico (Ramos 1988), caracterizado por rocas antiguas metamórficas cristalinas de grado medio de metamorfismo regional (basamento metamórfico), constituido principalmente por gneises y luego esquistos bandedados (Mon y Mansilla 1998), además de filitas, pizarras y micacitas cuarzosas y anfibolitas de grano fino en menor medida. Además se encuentra un basamento ígneo-metamórfico con zonas de migmatización (Basamento migmatítico según García 2005) y cuerpos plutónicos graníticos (basamento ígneo) de edad Paleozoico indiferenciado (González Bonorino 1950). Por encima de este basamento y en discordancia tectónica se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias de carácter continental hacia el este apoyado sobre el núcleo cristalino en forma más o menos continua que pertenecen al Grupo Aconquija, Subgrupo Concepción (Mon y Urdaneta 1972), atribuido al Terciario Inferior (Eoceno medio), aunque también fueron considerados que pertenecen al Calchaquense y Araucanense, edad Mio-Pliocena (González Bonorino 1950 y 1951). Sin embargo García, op. cit., le asigna una edad que va desde el Mioceno al Pleistoceno inferior en base a correlaciones estratigráficas y el contenido fosilífero.

Los depósitos cuaternarios presentan amplia distribución en el ámbito pedemontano y de llanura y se manifiestan con predominio de sedimentos fluviales, aluviales y eólicos (Sayago et al. 1998). Aunque además en las partes altas se presentan

depósitos de morrenas y drift glacial (Abumada et al. 2002). Finalmente, los materiales más actuales e incluso inconsolidados están representados por los bloques, gravas y arenas que constituyen el cauce actual de los principales ríos.

### 3. DESARROLLO METODOLÓGICO Y BASES TEÓRICAS DEL ESTUDIO

En el presente trabajo se analizaron fotografías aéreas en blanco y negro con escala 1:50 000 del año 1971 (Vuelo Spartan del Instituto Geográfico Militar). La evaluación del grado de torrencialidad de las subcuencas en la cuenca alta del río Gastona se realizó a partir del mapeo detallado de la red de drenaje y divisorias de aguas de cada subcuenca tomada como base de análisis. Para cada subcuenca fueron analizados los parámetros morfométricos o hidrogeomorfológicos que definen la geometría fluvial de cada una.

Se procedió al mapeo temático de la geología y red de drenaje detallada, a partir de la fotointerpretación. Los mapas resultantes fueron digitalizados, almacenados y manejados con el Sistema de Información Geográfico ILWIS 3.2 (Integrated Land and Water Information System) desarrollado por el ITC (International Institute for Geo-informatics and Earth Observation) de Holanda.

La evaluación del grado de torrencialidad se basa en un sistema de clasificación semicuantitativo (Guido y Busnelli 1993). Para la cuantificación y análisis de los parámetros geométricos de la cuenca del río Gastona se procedió de acuerdo a las siguientes etapas:

El procedimiento se inició con la fotointerpretación detallada de la red de drenaje en la cuenca alta, delineando

tanto los cauces de carácter temporal como los ríos permanentes.

- La delimitación de las subcuencas a partir de los principales ríos tributarios de la red fluvial.
- Digitalización de la red de drenaje y subcuencas mediante tableta digitalizadora y almacenamiento de datos en el Sistema de Información Geográfico ILWIS.
- La utilización del SIG nos permitió obtener los valores, tanto areales como lineales, de los parámetros morfométricos considerados.
- La cuantificación de las características geométricas de las subcuencas se basó en los criterios establecidos por *Horton (1945)* y los posteriores trabajos de *Strahler (1957)*.

El análisis es presentado en primer lugar a partir del mapa hidrográfico general del área de estudio, donde se pueden observar los principales tributarios de la cuenca del río Gastona (Fig. 2).

Se tomó como base de análisis del grado de torrencialidad de las subcuencas del siguiente modelo: 1-Solco, 2-Pavas, 3-Jaya, 4-Conventillo, 5-Membrillo, 6-Chirimayo alto, 7-Chirimayo bajo, 8-Gastona Apical y 9-Gastona Distal.

Cabe destacar que se deben definir dos tipos de subcuencas diferentes:

- 1) Subcuencas primarias o independientes: Son subcuencas cerradas, donde todos los ríos tributarios presentan nacientes en divisorias de aguas y un solo colector principal que reúne las aguas y produce la descarga en la desembocadura de la subcuenca (Solco, Pavas, Jaya, Membrillo, Chirimayo alto).
- 2) Subcuencas secundarias, dependientes o tributarias: Cuyo colector principal proviene de una subcuenca hacia aguas arriba (Conventillo- confluencia del Pavas y Jaya; Chirimayo bajo-Chirimayo alto; Gastona apical- confluencia del Solco, Conventillo y Membrillo).

Los parámetros considerados para la determinación del grado de torrencialidad son los siguientes:

#### *Densidad de Drenaje (Dd)*

Es el cociente de la longitud total de los ríos de la cuenca ( $L_t$ ) en Km. y el área de la misma ( $A$ ) en Km<sup>2</sup>. Expresa la longitud media de los ríos por unidad de área.

Según *Verstappen (1983)* es uno de los parámetros más importantes para determinar caudal pico y es indicativa del grado de erodabilidad de los suelos y rocas, porcentaje de erosión y de las condiciones climáticas imperantes en la cuenca. Sus efectos teóricos sobre un hidrograma indican tiempos de concentración cortos. La  $Dd$  está íntimamente relacionada a la evolución e intensificación de los procesos de erosión lineal, y que un aumento en los procesos de erosión en cárcavas y barrancos en la cuenca alta, se traduce en un incremento de la longitud de cauces por unidad de área (*Guido, 1991*).

#### *Frecuencia del número de ríos*

$Fr = NT / A$ . Es un índice que refleja la relación entre el número total de ríos de la cuenca y el área total en Km<sup>2</sup>. En general, la  $Dd$  y la  $Fr$  presentan respuestas similares, o sea una alta densidad de drenaje se corresponde con una elevada frecuencia aunque sin embargo hay a veces excepciones, que es cuando los ríos presentan grandes longitudes pero están poco

ramificados, entonces la  $Dd$  es alta pero la  $Fr$  es baja. De la misma forma, una cuenca puede tener una elevada frecuencia debido a que presenta gran cantidad de ramificaciones de los cursos, pero sin embargo son de muy corta longitud, por lo que la densidad es baja.

#### *Coefficiente de Almacenamiento Hídrico (RHO)*

Es el cociente entre la relación de longitud ( $Rl$ ) y la relación de bifurcación ( $Rb$ ). La  $Rl$  es la relación entre la longitud media de los ríos de un orden dado y la longitud media de los ríos de un orden inmediato inferior; mientras que la  $Rb$  es el cociente entre el número de cursos de un orden dado y el número de cursos del orden inmediato superior.

El coeficiente  $RHO$  es un interesante parámetro hidrogeomorfológico relacionado con el tiempo en el que se alcanza el caudal máximo, es decir con la capacidad de almacenamiento de un sistema de drenaje y, en consecuencia es un indicador de la torrencialidad de una cuenca. Altos valores indican mayor almacenamiento hídrico en el cauce, un tiempo mayor al caudal máximo, atenuando los procesos erosivos de las descargas elevadas.

#### *Coefficiente de Compacidad (Kc)*

Es un parámetro que se calcula mediante la siguiente fórmula:  $0,28 P/\sqrt{A}$ , donde  $P$  es el perímetro de la cuenca en km y  $A$  es el área de la misma en Km<sup>2</sup>. Es un parámetro importante para predecir la variación de la intensidad de flujo en función del tiempo, especialmente cuando los datos hidrológicos son escasos o bien inexistentes.

El mínimo valor es 1 (uno) y corresponde a cuencas circulares, con bajos tiempos de concentración y elevadas descargas en la desembocadura. En cuencas muy elongadas,  $Kc$  supera a 2 (dos), la red de drenaje tiende a ser menos compacta y los tiempos de concentración a ser mayores, disminuyendo la torrencialidad.

#### *Coefficiente de Torrencialidad (Ct)*

Se define como el número total de ríos de orden 1 (uno) y el área de la cuenca en Km<sup>2</sup>. Es un indicador de la erodabilidad de una región, muy relacionado a los procesos de erosión lineal y a la capacidad de descarga de una cuenca. Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva (erosión en surcos y en cárcavas), altos valores, indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad.

Densidad de drenaje de los ríos de orden 1 ( $Dd1$ ): Es el cociente de la longitud total de los ríos de orden 1 ( $LT1$ ) en Km. y el área de la cuenca ( $A$ ) en Km<sup>2</sup>. Expresa la longitud media de los ríos de orden 1 por unidad de área. Este parámetro presenta una íntima relación con la susceptibilidad erosiva de la subcuenca. Cuanto mayor es la densidad de los ríos de orden 1, mayor es la torrencialidad manifestada por la mayor erodabilidad del substrato y la incisión de la erosión hídrica, evidenciada por la mayor longitud de ríos de orden 1 que está íntimamente ligada a la intensificación de la erosión.

Longitud Media de los Ríos de Orden 1 ( $Lm1$ ): Es un nuevo parámetro introducido por *Guido y Busnelli (1993)* e incorporado al estudio hidrológico de una cuenca. Se define como la relación entre la longitud total en Km de los ríos de orden 1 (uno) y el número total de ríos del mismo orden. A partir de un enfoque hidrogeomorfológico se deduce que valores elevados de  $Lm1$  indican ríos de primer orden más largos, mayor posibilidad

de captar agua en menor tiempo y mayor tiempo de duración del escurrimiento directo o tiempo base (Tb). Por otro lado se deduce que valores bajos de Lm1 indican mayor número de ríos de orden 1, lo que aumenta la torrencialidad de una cuenca.

La frecuencia del número de ríos (Fr) y la densidad de drenaje de los ríos de orden 1 (Dd1) son dos parámetros morfométricos agregados a la fórmula original planteada por *Guido y Busnelli op. cit.* debido a que fueron considerados como características hidrogomorfológicas de gran relación con la respuesta torrencial de las subcuencas.

Un análisis cualitativo inicial y conjunto de los parámetros hidrogomorfológicos descriptos, permitió obtener a través de una generalización, una evaluación preliminar del poder erosivo y grado de torrencialidad de una cuenca en particular.

Los signos más (+) y menos (-) indican valores altos y bajos respectivamente, de los parámetros intervinientes. La generalización realizada fue la siguiente:

Elevado poder erosivo y grado de torrencialidad:

Dd (+), Fr (+), RHO (-), Kc (-), Ct (+), Dd1 (+), Lm1 (-).

Bajo poder erosivo y grado de torrencialidad:

Dd (-), Fr (-), RHO (+), Kc (+), Ct (-), Dd1 (-), Lm1 (+).

Formula de clasificación: La evaluación cuantitativa del grado de torrencialidad se realizó mediante una modificación de la fórmula propuesta por *Guido y Busnelli op. cit.* La fórmula se basa en la medición de ciertos factores geométricos de las cuencas de drenaje y la aplicación de dicha fórmula en cada subcuenca. El grado de torrencialidad (GT) se valora a través de un sistema de puntaje con pesos y calificaciones, según la siguiente fórmula:

$$GT = (CDd \times PDd) + (CFr \times PFr) + (CRHO \times PRHO) + (CKc \times PKc) + (CCt \times PCt) + (CDd1 \times PDd1) + (CLm1 \times PLm1) \quad (1)$$

Donde C es la calificación y P es el peso de cada parámetro.

El factor Peso (P) fluctúa entre 1 y 5 de acuerdo, a la menor (valor 1) o mayor (valor 5) importancia ejercida por cada parámetro sobre la dinámica torrencial. La asignación de los pesos se tomó a partir del trabajo de *Guido y Busnelli (1993)*, quienes lo evaluaron de la influencia del parámetro en la torrencialidad de la cuenca a partir del estudio de trabajos realizados a nivel internacional y a partir de consultas a informantes calificados.

La calificación (C), que varía entre 1 y 5, es la valoración de las magnitudes alcanzadas en cada parámetro morfométrico, según la distinta influencia sobre el grado de torrencialidad. Se asigna una calificación de 5 a aquellos valores que sean indicadores de elevada torrencialidad y 1 en el caso contrario.

El cálculo de los parámetros morfométricos, como así también el valor mismo resultante de la fórmula del grado de torrencialidad fueron clasificados y estudiados mediante cálculos estadísticos. Los diferentes valores de los parámetros hidrogomorfológicos fueron subdivididos de acuerdo al promedio de los valores de cada uno y la desviación estándar de cada conjunto de valores, distribuyéndose en 5 clases:

Para los parámetros positivos en el análisis cuantitativo y la valoración del grado de torrencialidad para obtener las clases de torrencialidad:

Clases: I: < -1 d (desviación estándar), II: entre -1d y -0,5 d, III: entre -0,5 d y +0,5 d, IV: entre +0,5 d y +1 d; y V: > +1 d.

Para los parámetros negativos:

Clases: I: > +1 d, II: entre +0,5 d y +1 d, III: entre -0,5 d y +0,5 d, IV: entre -1d y -0,5 d; y V: < -1 d.

Para el estudio de las cuencas secundarias, caso del Conventillo, Chirimayo bajo y Gastona apical, no fueron analizadas en su totalidad, es decir toda su área y perímetro completo, ni el total del número de ríos y sus longitudes totales; sino que se procedió a la elección de 3 ó 4 subcuencas que fueran representativas de la cuenca en su totalidad. Estas subcuencas fueron delimitadas mediante ILWIS, calculadas sus áreas y perímetros como así también la cantidad de ríos y sus longitudes para cada una de ellas a su vez los parámetros también fueron calculados individualmente y fueron promediados para obtener parámetros representativos de las cuencas secundarias consideradas.

Cabe destacar que el análisis estadístico se realizó, por un lado, para las cuencas primarias y, por otro, para las secundarias, debido a que al analizarlas en forma conjunta se generaba una subvaloración del grado de torrencialidad, de la misma manera que ocurría cuando se comparaban estadísticamente cuencas primarias y secundarias completas.

El grado de torrencialidad de las subcuencas se relacionó con los datos de los hidrogramas de crecientes disponibles del 21 y 22 de enero de 1971. En esos dos días se registró la caída de 301 mm, que, a pesar de ser un valor relativamente bajo, anteriormente al 18 de enero de 1971 se registró una tormenta de 915 mm la cual no generó una creciente al estar el substrato subsaturado en agua, pero luego se produce una sobrecarga de los acuíferos y no habiendo suficiente tiempo para ser desagüados, cae nuevamente una tormenta que generó crecientes.

Los hidrogramas de crecientes fueron medidos en la confluencia del río Solco con el arroyo Membrillo. A partir de los datos de los hidrogramas se obtuvieron el tiempo pico (tp), el caudal pico (Qp) y el tiempo base (tb) de la creciente en la desembocadura de los ríos mencionados. El caudal pico es el caudal máximo alcanzado en un punto durante una tormenta extrema; el tiempo pico es el tiempo en el cual se alcanza el caudal pico y el tiempo base es el tiempo total que tarda un curso fluvial en volver a recuperar su caudal bajo condiciones normales de escurrimiento. Para el arroyo Membrillo el tiempo pico (tp) fue 2 h 12 min, su caudal pico (Qp) de 87 m<sup>3</sup>/s y el tiempo base (tb) de 40 horas. El Solco tuvo un Qp de 140 m<sup>3</sup>/seg. en 3 h 6 min y un tb de 50 horas. Tomando como base estos valores se calcularon los Qp, tp, y tb para las subcuencas analizadas.

#### 4. RESULTADOS

Los parámetros morfométricos analizados en una primera instancia fueron: el perímetro, área, porcentaje del área de cada subcuenca, número total y longitud total de ríos, orden superior alcanzado por el río que sale de la subcuenca (Tabla 1).

A partir del análisis de la tabla 1 se puede observar:

- Las cuencas con mayores superficies, número total de ríos y longitudes totales son las del Solco, Pavas y Jaya.
- El orden superior de las subcuencas del Solco, Pavas y Jaya alcanzan un orden 7 en su unión con otras subcuencas, que es una jerarquización elevada dentro de los órdenes de Horton. La subcuenca del Membrillo alcanza solo un orden 5, o sea que no es muy desarrollada como la del Chirimayo

**TABLA 1: PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS SUBCUENCAS ANALIZADOS EN LA ETAPA INICIAL** P = Perímetro en Km. A = área en Km<sup>2</sup>. % = Porcentaje del área de cada subcuenca. NT = número total de ríos. LT = Longitud total de ríos en Km. OS = Orden superior. Nota: La subcuenca de Gastona distal no es considerada en el estudio debido a que fue cortada para acotar el área de análisis y no representa la situación de la cuenca completa.

Subcuencas	P	A	%	NT	LT	OS
Solco	93,16	198,32	32,80	9938	1756,00	7
Pavas	69,10	126,94	20,99	5601	1105,36	7
Jaya	69,58	101,70	16,82	4712	917,49	7
Conventillo	41,49	52,00	8,60	954	305,19	8
Membrillo	44,73	36,86	6,10	1050	239,41	5
Chirimayo alto	32,91	35,71	5,91	1384	152,38	6
Chirimayo bajo	47,56	30,63	5,07	115	80,71	6
Gastona Apical	25,43	22,50	3,72	51	39,03	8
Gastona Distal	30,89	37,84		11	103,73	8

que alcanza un orden 6, a pesar que las superficies son similares. El río Conventillo que surge de la unión del Pavas y el Jaya resulta en un orden 8 en una posición más occidental y a mayor altitud (758 m s.n.m.) que el Solco (430 m s.n.m. en su unión), que solo alcanza una jerarquía de 7 en toda su subcuenca.

La cuenca alta del Gastona en su conjunto presenta una alta jerarquización en la red de drenaje, evidenciada por el orden 8 de los ríos desde la confluencia del Pavas y el Jaya a una altitud de 760 m s.n.m. en la zona de contacto ladera-piedemonte (27°17'50"S y 65°50'34"W).

El área total de la cuenca alta es de 645,5 Km<sup>2</sup> y su perímetro es de 149,4 Km. Las cuencas en orden decreciente de área son: Solco, Pavas, Jaya, Conventillo, Membrillo, Chirimayo alto, Chirimayo bajo y Gastona apical.

En una etapa posterior se analizaron otros parámetros morfométricos de importancia en la geomorfología fluvial: densidad de drenaje, frecuencia de los ríos, extensión media del escurrimiento superficial, relación de longitud y de bifurcación, coeficiente RHO o de almacenamiento, coeficiente de compacidad, coeficiente de torrencialidad y longitud media de los ríos de orden 1 (Tabla 2).

**TABLA 2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS SUBCUENCAS ANALIZADOS EN UNA SEGUNDA ETAPA**

Subcuencas	Dd	Fr	RHO	Kc	Ct	Ddl	Lml
Solco	8,85	50,11	0,605	1,881	38,49	4,77	122,51
Pavas	8,70	44,12	0,630	4,276	33,39	4,53	135,58
Jaya	9,02	46,33	0,624	3,414	35,80	4,78	133,41
Chirimayo alto	8,01	38,76	0,507	1,743	31,98	4,13	129,21
Membrillo	8,56	35,85	0,698	2,063	29,07	4,51	155,80
Conventillo	6,10	21,22	0,647	2,260	16,16	3,03	245,29
Chirimayo bajo	4,17	7,99	1,145	1,244	5,44	2,12	459,33
Gastona Apical	3,32	4,29	0,641	1,249	3,22	2,35	812,32

Las abreviaturas de la tabla 2 se refieren a los parámetros morfométricos descritos en la metodología.

El grado de torrencialidad por subcuenca se cuantificó realizando el análisis estadístico de los valores para obtener la calificación de cada parámetro de la fórmula.

A partir del análisis estadístico se obtuvo la calificación de cada parámetro y el peso (tabla 3).

Finalmente se obtuvo el grado de torrencialidad y las clases a partir de la aplicación de la fórmula y el uso del análisis estadístico (tabla 4). La clasificación del grado de torrencialidad se obtuvo a partir de análisis estadísticos de los valores resultantes de la fórmula y se definieron 5 clases de torrencialidad:

1 = Muy Baja, 2 = Baja, 3 = Moderada, 4 = Alta, y 5 = Muy alta. Cabe mencionar que esta clasificación del grado de torrencialidad se refiere a la torrencialidad posible ante lluvias esporádicas de fuerte intensidad y su respuesta a partir del análisis morfométrico de las subcuencas. Una cuenca de clase 4 y 5, que representa una alta torrencialidad, significa que en su desembocadura genera altos picos de crecientes ante eventos lluviosos intensos, produciendo importantes inundaciones en el área. Por otro lado, el valor 1 significa una mínima torrencialidad en la desembocadura de la misma, aunque si puede presentar áreas inundables como consecuencia de aportes de cuencas tributarias superiores aguas arriba u otros factores.

TABLA 3. CALIFICACIÓN Y PESO DE CADA PARÁMETRO INVOLUCRADO EN LA FÓRMULA DE TORRENCIALIDAD

Subcuencas	CDd	CFr	CRHO	CKc	CCt	CDd1	CLm1
Solco	4	5	3	4	5	4	5
Pavas	3	3	3	1	3	3	3
Jaya	5	4	3	2	3	4	3
Chirimayo alto	1	2	5	3	2	1	3
Membrillo	3	1	1	4	1	3	1
Conventillo	5	5	4	1	5	5	4
Chirimayo bajo	3	4	1	4	3	2	3
Gastona Apical	2	2	4	4	2	4	1

Peso asignado a partir de datos.

PDd	PFr	PRHO	PKc	PCt	PDd1	PLm1
5	2	5	4	2	5	1

TABLA 4. CÁLCULO DEL GRADO DE TORRENCIALIDAD: Producto de las calificaciones por los pesos

Subcuencas	CDd x PDd	CFr x PFr	CRHO x PRHO	CKc x PKc	CCt x PCt	CDd1 x PDd1	CLm1 x PLm1	CGT	GGT	Clases
Soleo	20	10	15	16	10	20	5	96	V	Muy alta
Pavas	15	6	15	4	6	15	3	64	III	Moderada
Jaya	25	8	15	8	6	20	3	85	IV	Alta
Chirimayo bajo	5	4	25	12	4	5	3	62	II	Baja
Membrillo	15	2	5	16	2	15	1	56	I	Muy baja
Conventillo	25	10	20	4	10	25	4	98	V	Muy alta
Chirimayo bajo	15	8	5	16	6	10	3	63	II	Baja
Gastona Apical	10	4	20	16	4	20	1	75	III	Moderada

Al analizar los valores del grado de torrencialidad de las cuencas primarias, se puede establecer que la cuenca con mayor torrencialidad es la del Solco, siguiéndole la del Jaya y luego la del Pavas, y después el Chirimayo alto, y finalmente con, el Membrillo.

Las cuencas secundarias como el Conventillo, Chirimayo bajo y Gastona apical presentan bajos valores de torrencialidad si son analizadas estadísticamente junto con las cuencas primarias. Es por esto que se analizaron los valores promedios de subcuencas menores representativas dentro de cada una de las cuencas secundarias. De esta manera se observa que entre las cuencas secundarias estudiadas la del Conventillo es la que presenta el mayor grado de torrencialidad perteneciendo a la clase 5 (muy alta), luego le siguen con valores mucho menores, la cuenca del Gastona apical, con clase 3 (moderada) y después el Chirimayo bajo con clase 2 (baja).

Los caudales picos en m<sup>3</sup>/s; y los tiempos picos y bases fueron estimados a partir del análisis de los hidrogramas de crecientes disponibles medidos durante la tormenta del 21 y 22 de enero de 1971 en los ríos Solco y Membrillo (Tabla 5). A partir del análisis de los datos obtenidos se puede observar que los

caudales descargados por las subcuencas son variados, pero de grandes volúmenes teniendo en cuenta la tormenta considerada. Por otro lado se observa que los tiempos picos son muy cortos comparados con los elevados valores de tiempos bases, lo que evidencia una rápida respuesta de crecida en todas las subcuencas y un tiempo prolongado de inundación o permanencia de gran caudal en los cursos fluviales luego de la lluvia. La forma general de todos los hidrogramas de creciente en las subcuencas presenta una curva de elevado gradiente hasta el pico de crecida y luego la descarga mantiene un gradiente exponencial decreciente hasta el tiempo pico con una pendiente mucho menor (Fig.3).

## 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

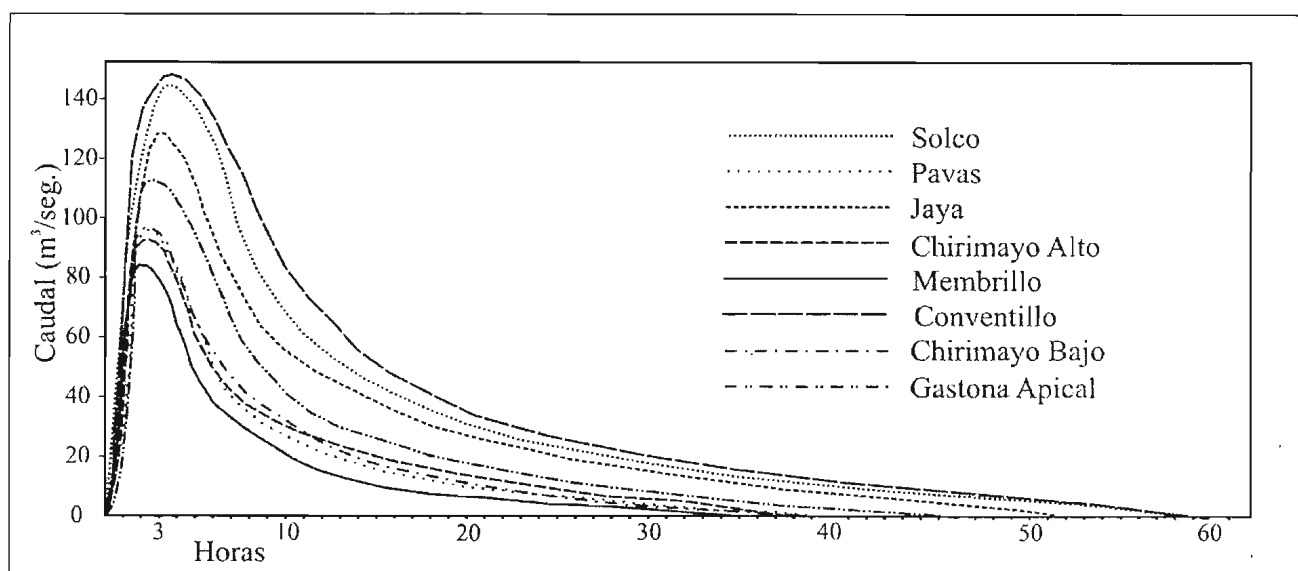
A partir de lo observado en las tablas 2, 3 y 4 se puede establecer lo siguiente:

La cuenca del río Solco, que posee el mayor grado de torrencialidad, tiene un valor de Dd menor que la del Jaya que posee un grado de torrencialidad menor. Mientras que la Dd1 es solo débilmente menor. La elevada torrencialidad de esta cuenca es debida principalmente a los altos valores de Fr y Ct y los

TABLA 5. CAUDAL PICO (QP), TIEMPO PICO (TP) Y TIEMPO BASE (TB)

Subcuencas	Caudal pico (m <sup>3</sup> /seg.)	Tiempo pico	Tiempo base (Hs.)
Solco	145	3 hs. 26' 08"	60
Pavas	96	2 hs. 17' 13"	40
Jaya	128	3 hs. 02' 22"	53
Chirimayo alto	93	2 hs. 13' 08"	38
Membrillo	85	2 hs. 00' 14"	35
Conventillo	148	3 hs. 30' 26"	61
Chirimayo bajo	97	2 hs. 15' 17"	39
Gastona Apical	113	2 hs. 41' 02"	47

FIGURA 3. HIDROGRAMAS DE CRECIENTES ESTIMADOS PARA LAS SUBCUENCAS EL ÁREA DE ESTUDIO



valores más bajos de Kc y Lm1. La cuenca del río Jaya le sigue en el grado de torrencialidad con los valores más elevados de Dd y Dd1. La cuenca del Pavas tiene menores valores de Dd, Dd1, Fr y Ct y mayores valores de RHO y Lm1 que las del Solco y Jaya, y el mayor valor de Kc o sea que es la cuenca más elongada, que hace disminuir su torrencialidad. En el caso de las cuencas primarias del Chirimayo alto y el Membrillo, con grados de torrencialidad bajo y muy bajo respectivamente, se puede observar también que posee mayor importancia la frecuencia de los ríos sobre la densidad, ya que el Chirimayo alto tiene un mayor valor de Fr y Ct y menor valor de Dd y Dd1. Además, el coeficiente RHO es el más elevado para el Membrillo, lo que disminuye en gran medida la torrencialidad y a su vez, el Chirimayo tiene el menor valor de RHO para las cuencas primarias, elevando su torrencialidad. Dentro de las cuencas primarias, la del Chirimayo alto es la más circular (menor valor de Kc), lo que incrementa su torrencialidad con respecto al Membrillo que posee una mayor elongación.

Al analizar las cuencas secundarias, se observa que la del Conventillo posee la mayor torrencialidad, debido a que la mayoría de los valores favorecen la mayor torrencialidad: mayores valores de Dd, Dd1, Fr, Ct y bajos valores de Lm1, salvo el caso del coeficiente Kc que es el mayor, o sea que disminuiría la

torrencialidad, al ser la cuenca con subcuencas muestras más elongadas. La cuenca del Gastona apical presenta una torrencialidad mayor a la del Chirimayo bajo debido principalmente a los menores valores de RHO y mayor valor de Dd1 principalmente. La cuenca del río Conventillo es secundaria y resulta de la confluencia del Pavas y Jaya, las cuales son las subcuencas primarias con altos valores de torrencialidad. La aproximación tomada a partir de subcuencas muestras presenta una buena aproximación al estudio hidrológico de las cuencas secundarias, aunque se debería establecer una metodología con mayor precisión en la que se consideren además de los parámetros morfométricos de la subcuenca en sí misma y la influencia de las subcuencas de aporte.

Lo mismo ocurrió al analizar las Cuencas del arroyo Chirimayo bajo y Gastona Apical comparativamente con el estudio estadístico de las cuencas primarias. En estos dos casos también se repite lo que se mencionó anteriormente del hecho de no considerarse las subcuencas tributarias en la evaluación de la torrencialidad. Presentan los valores menores de torrencialidad debido a que el análisis de los parámetros morfométricos analizados en dichas subcuencas se manifiestan de esa manera al ser tomadas como subcuencas aisladas; lo cual debería ser reconsiderado para obtener una aproximación más real a las condiciones

hidrológicas de las subcuencas. Sin embargo, es lógico de pensar, por ejemplo que, en la confluencia del Solco, Membrillo y Conventillo, el Solco con torrencialidad de clase V, el Membrillo, IV y el Conventillo, V, es posible que el Gastona apical tenga una torrencialidad de grado superior a III.

A pesar de la complicación encontrada en el análisis de las subcuencas secundarias, se pudieron observar que en forma general las características geométricas, morfométricas e hidrológicas de las subcuencas son respuestas de su configuración hidrogeomorfológica, ya sea tomando las cuencas primarias en su totalidad o tomando subcuencas muestras en el caso de las secundarias.

Debido a la limitante planteada por la escasez de registros de hidrogramas de crecientes en la cuenca bajo estudio o simplemente debido a que los registros son aislados, antiguos y poco confiables, se tomaron los de la lluvia del 21 y 22 de enero de 1971 debido a que se podían comparar los hidrogramas de crecientes medidos de dos de las subcuencas estudiadas y extrapolar la información a las demás subcuencas. Se puede sostener entonces (Tabla 5 y Fig. 3), que las subcuencas con mayores caudales y tiempos picos durante las crecientes son (en orden de mayor a menor): Solco, Jaya, Pavas, Chirimayo alto, y finalmente el Membrillo, siempre teniendo solo en cuenta las subcuencas primarias; mientras que para las cuencas secundarias, el orden es: Conventillo, Gastona apical y Chirimayo bajo.

A pesar que no se consideran la cantidad ni el grado de torrencialidad de las cuencas tributarias que alimentan a las secundarias, el presente trabajo constituye una primera aproximación al estudio hidrológico de cuencas hídricas tendientes a la corrección y sistematización de torrentes a partir de estudios geomorfológicos por medio de fotointerpretación detallada de la red de drenaje en lugares desprovistos de la tecnología necesaria para la cuantificación de caudales de crecientes, lo cual constituye la principal ventaja del estudio.

## 6. CONCLUSIONES

Los parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje analizados a partir de criterios geomorfológicos brindan elementos objetivos y cuantificables en la determinación del comportamiento hidrológico de los sistemas fluviales para poder

determinar el grado de torrencialidad de subcuencas y su posible respuesta ante eventos lluviosos extraordinarios causantes de inundaciones, considerando las cuencas primarias en su totalidad o tomando subcuencas-muestras en las cuencas secundarias.

El desarrollo de la presente metodología, mediante la fotointerpretación y fotoanálisis geomorfológico sumado al manejo de los datos mediante un Sistema de Información Geográfica y el control de campo, constituye una herramienta de fácil aplicabilidad y corroboración en cuencas carentes de registros de caudales y representa una primera aproximación a la respuesta de las subcuencas ante lluvias torrenciales de corta duración y alta intensidad. Esto permite de antemano una evaluación de propuestas de ordenación de cuencas y prevención de riesgos de inundación y/o anegamiento de las áreas situadas aguas abajo.

Basándose en la metodología propuesta por Guido y Busnelli (1993), que encontraron una estrecha relación entre torrencialidad e hidrogramas de crecientes medidos, sumado a la corrección y adaptación de la fórmula para subcuencas primarias y secundarias; además del estudio de los hidrogramas de crecientes disponibles en dos subcuencas representativas, se pudo observar una buena relación entre la torrencialidad de las subcuencas cuantificadas a partir de los parámetros hidrogeomorfológicos y los hidrogramas reales medidos.

El presente trabajo constituye una etapa inicial en el estudio hidrogeomorfológico de cuencas hídricas que permitan obtener metodologías tendientes a la sistematización de cuencas en regiones de transición entre montañosas, pedemontanas y llanura; en las que los registros hidrológicos son carentes o deficientes.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los investigadores del INGEMA por los aportes críticos al trabajo. Se agradece además la lectura y las ideas recibidas por la Dra. Marcela M. Busnelli. Se debe mencionar que el presente trabajo forma parte de estudios realizados con el apoyo de fondos de proyectos de CIUNT y CONICET, por lo que también se expresa gratitud hacia dichas instituciones.

## 8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AHUMADA, A. L., IBÁÑEZ PALACIOS, G. P. Y PÁEZ, S. V., 2002.  
Inventario de Glaciares de Escombros en la Ladera Oriental de la Sierra de Aconquija, Tucumán, Argentina.  
*XV Congreso Geológico Argentino. Actas. El Calafate. Santa Cruz. Formato digital.*
- ACEÑOLAZA, F. G. Y TOSELLI, A., 1981.  
Geología del Noroeste Argentina.  
*Publicación Especial Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán.*  
1287. 212 pp. Tucumán.
- ALDERETE, M. C., 1998.  
Unidades Fisiográficas.  
*En: Geología de Tucumán. Publ. Esp. Coleg. Grad. Cs. Geol. Tuc., pp.: 29-40. Gianfrancisco, M.: Puchulu, M. E.; Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. F. (Eds). Tucumán.*
- BIANCHI, A. R. Y YAÑEZ, C. E., 1992.  
Las precipitaciones en el Noroeste Argentino.  
*Instituto de Tecnología Agropecuaria: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (INTA) y Estación Agropecuaria de Salta. Centro regional Salta-Jujuy. Segunda Edición. Pp.383.*
- CAMINOS, R., 1979.  
Las Sierras pampeanas Noroccidentales de Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan.  
*Actas IIº Simposio Geológico regional Argentino (I): 225-291. Córdoba.*

- GARCÍA, J. W., 2005.  
Geología de la Cuenca del río Gastona, Vertiente Oriental de la Sierra del Aconquija, Provincia de Tucumán, República Argentina.  
*Actas del XVI Congreso Geológico Argentino. Tomo IV: 597-602. La Plata. Buenos Aires.*
- GONZÁLEZ BONORINO, F., 1950.  
Descripción Geológica de la Hoja 13e, Villa Alberdi, Provincia de Tucumán.  
*Dirección Nacional de Minería. Boletín 74. Buenos Aires. Pp. 78.*
- GONZÁLEZ BONORINO, F., 1951.  
Descripción Geológica de la Hoja 12e, "Aconquija", provincias de Catamarca y Tucumán.  
*Dirección Nacional de Minería. Boletín 75. Buenos Aires. Pp. 51.*
- GUIDO, E., 1991.  
Relación entre los parámetros morfométricos y los procesos de erosión en el río Tacanas (Provincia de Tucumán).  
*I Congreso Regional El NOA y su Medio Ambiente. Pags: 153-158. San Miguel de Tucumán.*
- GUIDO, E. Y BUSNELLI, M., 1993.  
Criterios morfométricos para la evaluación de la torrencialidad de una cuenca hídrica (Río Las Cañas, Catamarca).  
*Actas XII Congreso Geológico Argentino. Tomo VI: 112-122. Mendoza. Argentina.*
- HORTON, R., 1945  
Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology.  
*Geol. Soc. Amer. Bull., 56: 275 - 370.*
- MINETTI, J. L., 1999.  
Atlas climático del noroeste argentino.  
*Laboratorio Climatológico Sudamericano. Universidad Nacional de Tucumán. Pp. 86. Tucumán.*
- MON, R. Y URDANETA, A., 1972.  
Introducción a la geología de Tucumán, República Argentina.  
*Revista Asociación Geológica Argentina. XXIII:309-329. Buenos Aires.*
- MON, R. Y MANSILLA, N., 1998.  
Estructura Geológica del Territorio de la Provincia de Tucumán.  
*En: Geología de Tucumán. Publicación especial Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. pp.147-153. Gianfrancisco, M.: Puchulu, M. E.; Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. F. (Eds). Tucumán.*
- PORTO, J. C. Y FERNÁNDEZ, R. I., 1982.  
La presencia de laumontita en las brechas moradas de Aguas de Dionisio, provincia de Catamarca, Argentina.  
*V Congreso Latinoamericano de Geología. Actas 1º: 657-664. Buenos Aires.*
- RAMOS, V. A., 1988.  
Tectonics of Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America: A Collisional History.  
*Episodes 11 (3): 168-175. Ottawa.*
- SANTILLÁN DE ANDRÉS, S. E. Y RICCI, T. R.; 1980.  
Geografía de Tucumán (Consideraciones Generales). Facultad de Filosofía y Letras.  
*Publicación N° 1299. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán. Pags. 176.*
- SAYAGO, J. M., POWELL, J., COLLANTES, M. Y NEDER, L., 1998.  
El Cuaternario. En: Geología de Tucumán.  
*Publ. Esp. Coleg. Grad. Cs. Geol. Tuc., pp. 111-128. Gianfrancisco, M.: Puchulu, M. E.; Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. F. (Eds). Tucumán.*
- STRAHLER, A.; 1957.  
Quantitative analysis of watershed geomorphology.  
*American Geophysicist Union. 38, 913-925.*
- TORRES BRUCHMANN, E., 1977.  
Atlas agroclimático y bioclimático de Tucumán  
*Publicaciones Especiales N° 7 y 10. 1ª Parte: 12 pp. 2ª Parte: 13 pp. Universidad Nacional de Tucumán.*
- VERSTAPPEN, H.; 1983.  
Applied Geomorphology. Geomorphological Survey for environmental Development.  
*Elsevier Ed. 437 Pp. The Netherlands.*







# Aspectos geocriológicos y geotécnicos para la construcción de la pista aterrizaje en la planicie del Cabo Wellchness

## Isla Dundee, Península Antártica

Ermolin, Evgeniy <sup>1</sup> - Silva Busso, Adrián <sup>2</sup>

### Resumen

*El presente estudio, que abordará los temas de geología, geomorfología y geocriología, tiene como objetivo principal determinar las condiciones geotécnicas y evaluar las posibilidades de la construcción de una pista aterrizaje en la zona del cabo Wellchness, Isla Dundee, Antártida. El área de construcción se encuentra en la zona del permafrost continuo donde las capas superiores de los suelos se hallan sometidas a múltiples ciclos de congelamiento y descongelamiento, las que modifican sus propiedades mecánicas. Estas características particulares de los suelos determina que el diseño propuesto sea acorde conforme a las reglas de geotecnia en las zonas frías. Se ha determinado que es factible el aprovechamiento de materiales locales para la construcción del terraplén de la pista de aterrizaje y existen posibilidades tecnológicas accesibles en Argentina para la construcción de la pista de aterrizaje con pavimento rígido en el permafrost antártico*

**Palabras clave:** Geocriología, Pista aérea, Antártida

### Abstract

*This study, which will tackle the topics of geology, geomorphology and geocrylogy, takes as a principal target to determine the ground conditions and to evaluate the possibilities of the construction of a roadway in the area of the Welchness Cape, Dundee Island, Antarctica. The construction area is in the permafrost continuo zone where the active layer is submitted to the multiple of freezing and thaw cycles. This process modifies his mechanical properties. These particular characteristics of freezing ground, determinate the proposed design in accordance with the rules of construction in the cold areas. We considerate that is possible the use of local materials for the construction of the roadway embankment and with technological possibilities accessible in Argentina for the construction of the roadway with rigid paving in the antarctic permafrost.*

**Keywords:** Geocryology, Roadway, Antarctica

Entregado: 14 de Noviembre de 2006 ■ Aceptado: 10 de Julio de 2007

1 Depto de Cis. De la Tierra. Instituto Antártico Argentino,  
Cerrito 1248, 1010 Buenos Aires, Argentina.  
Dirección electrónica: ivgen52@yahoo.com

2 DSH - Instituto Nacional de Agua.  
Autopista Ezeiza Cañuelas, Empalme J. Newbery km 1.620,  
Ezeiza, Bs.As., Argentina.  
Dirección electrónica: pntsas@ina.gov.ar

### 1. INTRODUCCIÓN AL AREA DE ESTUDIO

La isla Dundee se halla ubicada en el sector nordeste de la península Antártica. Forma parte del grupo insular de la Tierra San Martín que está presentada por las islas D'Urvill, Joinville, Bransfield y varios islotes más pequeños (Fig. 1). La Isla posee una geometría redondeada, con una extensión máxima de 27 km en la dirección oeste-este. Actualmente sus 450 km<sup>2</sup>

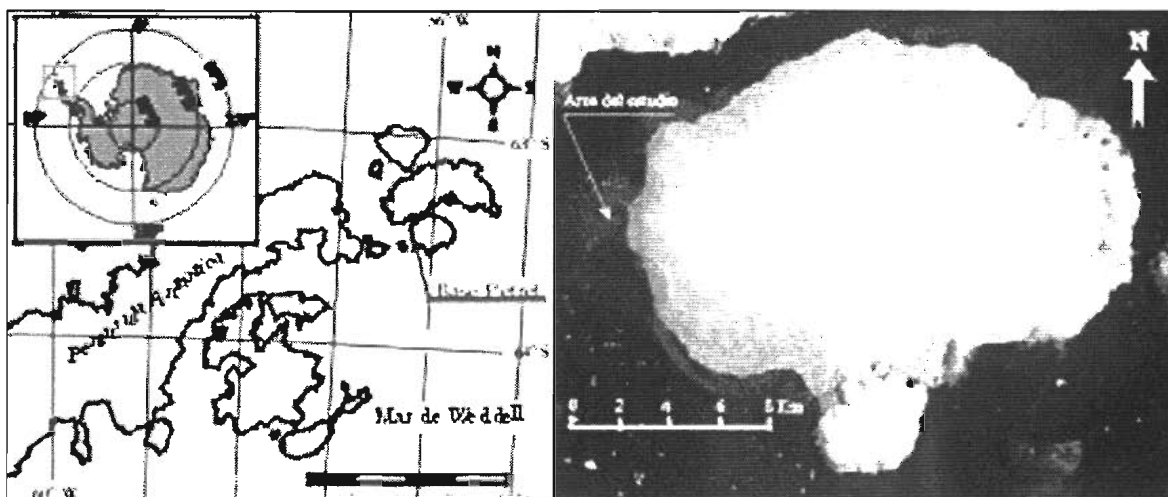
se hallan cubiertos de glaciares de descarga que llegan al mar. La única área libre de hielo se encuentra en la zona oeste de la isla, sus coordenadas geográficas son: 63°28'0" Latitud Sur y 56°17'0" de Longitud: Oeste (figura 1). Este sector denominado Cabo Wellchness consiste en un área triangular abarcado aproximadamente 2,5km<sup>2</sup>. La mayor parte del mismo presenta una superficie muy plana de unos metros de desnivel, especialmente en sus bordes externos que limitan con el mar y están erosionados por pequeños cursos de agua y los otros márgenes marcan por la cresta de la morena lateral del glaciar Rosamaría.

La extensión máxima de este sector plano es de 1 950 m en la dirección de noreste a suroeste y de 1 400 m en la dirección de noroeste a sureste. El presente estudio tiene como objetivo principal determinar las condiciones medioambientales y geotécnicas y evaluar las posibilidades factibles de la construcción de una pista aterrizaje en la planicie Petrel del Cabo Wellchness en la zona del permafrost continuo de este parte de la Península Antártica. En este informe se presenta el diseño para construir una pista en este sector, para lo cual se han realizado los estudios básicos, desarrollando la topografía, estudiando las condiciones geocriológicas y geotecnia en sus diversos aspectos. Como resultado, se proponen los métodos de construcción del terraplén de la pista en la zona del permafrost basado en el empleo de materiales naturales locales.

La información meteorológica de la base Petrel empleada en este informe fue proporcionada por Servicio Meteorológico Nacional Argentino para el periodo de las observaciones de 1967-1976 años, en siguientes modalidades utilizados posteriormente para evaluar propiedades medioambientales y geotécnicas del área: promedios diarios de temperatura, temperatura máxima y mínima, precipitación, dirección y velocidad de viento y nubosidad. Sobre la base de esta información anterior se determinó la característica climática general del área. También fueron usados los datos de las observaciones meteorológicas efectuadas durante la campaña antártica de verano entre Enero y Marzo de 2005. Las variaciones de la temperatura en este sector de la península Antártica están directamente relacionadas con las condiciones anticiclónicas variables durante el año y con las acciones moderadoras del mar Weddell. Según los datos obtenidos

durante el periodo de 1967-1976 las temperaturas extremas alcanzan la amplitud de 46 °C. La máxima absoluta se observó en el Agosto de 1968 superando 12.6 °C y la mínima observó en 12 de Febrero 1972 con un registro de -34.4 °C. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los -8.5 °C y -6.0 °C con temperatura promedio de - 6.8 °C, las temperaturas medias de invierno son de alrededor de -16 °C. y las medias de verano entre -1.5 °C y -0.5°C. La tendencia del aumento de la temperatura media anual en este sector es 0.06 °C/año y del medio de verano es 0.07 °C/año (Skvarca et.al., 1998). Conforme a esta tendencia observada en este sector de la Península Antártica la temperatura media anual consigue alrededores de -5 °C y temperatura medio de verano de 0.5 °C. Las precipitaciones rara vez superan los 200 mm anuales. Las mismas pueden ocurrir como niebla engelante, cencellada (capa de hielo sobre la superficie causada por nubes super-enfriadas), nieve, granizo blando y líquido. Dependiendo de las condiciones térmicas del verano, las precipitaciones pueden producirse como agua-nieve o lloviznas. En total, la cantidad de precipitación líquida en esa época puede superar más del 30-40 %. Según los registros de la frecuencia mensual de las precipitaciones durante año son mayores en principio de primavera u en verano. El régimen de los vientos en el sector noreste de la península Antártica responde normalmente a la situación sinóptica con la formación de las condiciones ciclónicas del mar de Weddell. En general esta región se caracteriza por fuertes vientos dominantes del suroeste que en ocasiones sobrepasan los 150 Km/h nudos y que bajan considerablemente la sensación térmica. Los vientos predominantes durante el año son del sector sur en un 27%, debido a la actividad dominante anticiclónica en esta zona. Siguen, al este sector, 14% y 5% en las direcciones SE y SW respectivamente. La región de la península Antártica se caracteriza por su mayor nubosidad durante todo el año. La mayor parte de la nubosidad es de tipo medio y bajo asociada a fenómenos de escala sinóptica para esta región, esto es, de centenas o miles de kilómetros de extensión. El reflejo estadístico de esto es que el porcentaje de cielo cubierto tiene una alta representatividad espacial. El porcentaje medio del cielo semi-nublado y nublado presenta un 32% y 58% proporcionalmente.

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



## 2. METODOLOGÍA

La metodología empleada de las investigaciones es de tipo exploratorio y descriptivo basada en las reglas y normas de las prospecciones y diseño de la construcción en la zona del permafrost (Gastroy, 1977 y 1978). Se inicia con tareas de investigación de campo, luego el muestreo, seguido del análisis de laboratorio, para definitivamente a la luz de los resultados ver la perspectiva y factibilidad del proyecto propuesto de diseño y la elaboración de un informe final.

Las tareas de campo consistieron en: mapeo topográfico con el equipo de GPS, la obtención de parámetros geocriogénicos y geotécnicos principales tales como la granulometría del material clásico, contenido total de agua en el suelo ( $W_t$ ), el contenido total de hielo ( $H_t$ ), estructura y criotextura de la capa activa y techo del permafrost, profundidad media de penetración de congelamiento y descongelamiento estacional. Para ello se realizó un levantamiento topográfico y nivelación detallada de la zona prevista para la pista principal, prospecciones geoelectricas y numerosas calicatas para analizar los parámetros criogénicos y geotécnicos de la capa activa y el techo del permafrost en este sector.

Con objeto de la determinación de las unidades geológicas, la morfología y estructura de la capa activa y el permafrost se ha usado el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). Se llama así a una serie de determinaciones de resistividad aparente ( $r_a$ ), efectuadas con el mismo tipo de dispositivo, una separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción (AB), azimut constante y con el centro del segmento MN fijo (Orellana, 1982).

La resistividad es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso en un material determinado. Las rocas se comportan como conductores de resistividad muy variable, debido, principalmente, a que sus poros están rellenos de fluidos (aire y agua) del horizonte del descongelamiento o hielos subterráneos en la zona del permafrost. La resistividad depende de diversos factores, uno de ellos es la salinidad del agua contenida por los sedimentos descongelados o cantidad de los hielos del permafrost. Otro factor importante, tal como el tipo de sedimento, no tiene influencia cuando se trata de zonas relativamente constantes en cuanto a variaciones litológicas y sin anisotropías direccionales como en este caso. La finalidad del

SEV es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado. Es un método muy empleado en zonas del permafrost y permite individualizar horizontes y de ese modo determinar las características estratigráficas, estructurales y geocriológicas y posible contenido de agua o hielo subterráneo.

Las tareas de laboratorio consistieron en ensayos para clasificación de suelos según Sistema HRB - Sistema Unificado con análisis para determinar la granulometría, humedad total, humedad óptima. Se han analizado las propiedades plásticas y la resistencia mecánica de las muestras de los suelos congelados y descongelados en el sector del trabajo. Además se realizaron ensayos para determinar la modificación de resistencia en muestras de los áridos de la construcción en función de la temperatura, humedad y contenido de los hielos (para los suelos congelados).

El valor de la resistencia al corte de un suelo, se puede determinar por medio de un ensayo de "corte directo" de una prueba triaxial, o simplemente midiendo la resistencia a la penetración del material. El Segundo método, si bien es empírico, se basa en un sinnúmero de trabajos llevados a cabo tanto en los laboratorios de prueba de material clásico, así como en el terreno, lo que permite considerarlo como uno de los factibles y mejores métodos en la práctica.

La determinación de la resistencia mecánica de los suelos congelados se realizó en el laboratorio frío LEGAN-DNA mediante un "penetrómetro a bolilla" utilizando para investigaciones geotécnicas en la zona del permafrost (Kudriavtsev, 1961 y 1978). Se trata de un método expeditivo de laboratorio para obtener la resistencia mecánica en suelos, que consisten en una bolilla de acero de 20 mm de diámetro que se apoya en el suelo y se la somete a 10 Kg de carga por un tiempo determinado, o se la deja caer desde una altura de 1 m. Se establece en este ensayo una relación entre la profundidad de la marca producida en el suelo congelado y el valor de la resistencia mecánica. En el presente trabajo se utilizaron la sistematización de suelos HRB (G: Grava; S: Arena; C: Arcilla; P: Selección pobre; W: Selección buena; H: Alta; M: Media, L: Baja) y la clasificación de los suelos utilizada para las zonas del permafrost o las zonas de congelamiento estacional profundo que figura en la Tabla 1.

**TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA DISEÑOS EN ZONAS DE PERMAFROST** (basada en United Soil Classification System, Corps of Engineers y Bureau of Reclamation, Hennion and Lobaz, 1973).

Clasificación según reacción al congelamiento	Tipos de suelo	Porcentaje en peso de partículas < 2 mm	Tipos de suelos típicos
F 1	Gravas	3-10	GM, GP, GW-GM, GP-GM
F 2	Gravas arenosas	10-20 y 3-15	GM, GW-GM, GP-GM SW, SP, SM, SW -SM, SP-SM
F 3	Gravas arenosas sin Limo-Arena	sobre 20 y sobre 15	GM, GC SM, SC
F 4	Arcillas Limos en general Limos arenosos	Sobre 15	CL, CH ML, MH SM
F5	Arcillas, sedimentos de grano fino en capas o bandas		CL, CL-ML, CL y ML, CL, CH y ML, CL, CH, ML y SM

### 3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA

La localización geográfica en la parte extrema del nordeste de la península Antártica, la existencia de los glaciares, la historia de la formación de relieve correspondiente a etapas de la glaciación cuaternaria y desarrollo del permafrost en superficie descubierta de hielo contribuyen a las condiciones particulares del medio ambiente del este sector de la isla. El mapa topográfico del cabo Wellness (*Ermolin et al y Lusky, 2005*) manifiesta las unidades fisiográficas del área de estudio. Esta información y los datos geológicos, geomorfológicos y climáticos abarcan los aspectos generales utilizados posteriormente para aporte de las investigaciones geotécnicas presentes.

Geológicamente, las unidades aflorantes de este sector de la Isla Dundee están compuestas inicialmente por dos unidades de las rocas sedimentarias. A largo de la zona costera durante los periodos de bajar se hallaron afloramientos las lutitas y fangolitas marinas del Grupo Trinity de edad triásica. Se sobrepone a esta secuencia un paquete sedimentario cretácico de lutitas y fangolitas consolidadas que se encuentra en parte este-sureste de la planicie Petrel y aflora en el límite este de la morena lateral. Por encima de esta conjunto se encuentran los complejos depósitos glaciares y fluvioglaciales, depositados desde el Pleistoceno Superior hasta el presente, completando la sucesión estratigráfica.

La geomorfología actual permite distinguir en esta etapa preliminar tres unidades geomorfológicas de carácter propio. La planicie inferior fluvioglacial se encuentra hacia el centro sur de la zona de estudio. La terraza de la morena del fondo se encuentra en el centro del área de estudio. El cordón de la morena lateral del glaciar Rosamaría se ubica en el borde de glaciar Rosamaría.

Litológicamente los depósitos morénicos son cuerpos diamictíticos compuestos por clastos en su mayor parte de material cretácico local, con unos bloques erráticos. Su composición granulométrica va de gravas gruesas a arena y limo. Desde un punto de vista geocriológico las morenas laterales tienen núcleos de hielo enterrado de glaciar y su delgada capa activa de material clásico (40-60 cm) está cementada por hielo en tiempo de congelamiento estacional. El sector de la morena del fondo corresponde a la zona del permafrost rico en hielo con distintos tipos de los hielos subterráneos de cemento o infiltración. El horizonte de congelamiento y descongelamiento estacional de los depósitos morénicos superficiales puede lograr el espesor de 1,2 a 1,5 m.

La planicie inferior suavemente ondulada tiene una superficie de aproximadamente 1 500 000 m<sup>2</sup>, con unos 2 500 m de longitud máxima en sentido SSW-NNE. La misma se eleva entre aproximadamente 2 m y 8 m sobre el nivel del mar. Está constituida básicamente de gravas medias y finas con arena y poco contenido de limo. El permafrost se caracteriza un poco contenido de hielos subterráneos y del espesor de la capa activa alcanza de 1,5-1,7 m.

Dependiendo de las condiciones del relieve del área puede determinar dos sectores de las aguas superficiales. El primero corresponde a las zonas de la descarga de las aguas de ablación de glaciar Rosamaría durante el tiempo de ablación. Se puede dividir este sector en dos cuencas hídricas referidas con la descarga aguas de fusión. La red del desagüe de cada sector presenta los arroyos dendríticos con drenaje poco integrado. Sobre la base de los estudios geoelectrónicos realizados en el sector del abanico del arroyo norte indican a la descarga de las aguas subterráneas correspondiente a la formación del acuífero freático en esta zona. El segundo sector de la planicie Petrel consiste en una

planicie que presenta suaves irregularidades de unos pocos metros de desnivel, especialmente en sus bordes externos que limitan con el mar y están erosionados por varios chorrillos de diseño dendrítico y reducida extensión. El régimen de estos chorrillos es transitorio, presentando caudal sólo en épocas estivales y según las condiciones meteorológicas determinadas de las precipitaciones en esta zona.

### 4. CONDICIONES GEOCRIOLÓGICAS EN EL ÁREA DE PISTA

Como se detalló en la metodología, se realizó un estudio geoelectrónico del subsuelo para determinar las características geocriológicas del área de construcción de la pista aérea. La ubicación de los sondeos eléctricos verticales (SEV) se realizó en las zonas más favorables conforme a la fisiografía del terreno, las características geológicas y las posibilidades de construcción de la futura pista de aterrizaje e instalaciones logísticas. La ubicación de los SEV se detallan en la figura 2.

Los microsondeos tienen como propósito apoyar los estudios geotécnicos para el diseño y la construcción de la pista e instalaciones futuras. Se realizaron un total de 26 SEV con aplicaciones para microgeoelectrónica con un AB/2 de 30 metros máximo con 12 puntos de proyección aritmética de los cuales los SEV 1 al 19 se realizaron en el área de proyecto de pista en un perfil rectilíneo cada 100 metros de separación y nivelados con el propósito de apoyar el estudio geotécnico. También se realizó un microsondeo y dos calicatas eléctricas en áreas de afloramiento o geoformas particulares, que son de importancia para la comprensión de los procesos criogénicos y hidrogeológicos. Las calicatas eléctricas se realizaron con un AB/2 de 10 metros considerándose una penetración aproximada de 2 a 2,5 metros.

Los microsondeos se realizaron para determinar las características de la capa activa, acuífero suprapermafrost, estructura de la parte superior del permafrost y características geotécnicas de los suelos congelados y descongelados. Las curvas obtenidas fueron interpretadas sobre la base de la información de campo registrada a partir de los SEV mencionados.

#### Interpretación de los SEV de los microsondeos

Los microsondeos han tenido como objeto realizar un reconocimiento en detalle de los primeros niveles geológicos de edad cuaternaria, la morfología y estructura de capa activa, el desarrollo de la zona no saturada, eventualmente del acuífero suprapermafrost, la interfase salina y la estructura de la terraza fluvioglacial. Los lugares elegidos para realizar microsondeos se realizaron por su ubicación geológica y geomorfológica en el área de estudio, generalmente en el sector de construcción de la pista de aterrizaje. Además, se han empleado para el reconocimiento de geoformas o procesos específicos. Se han reconocido unidades y subunidades resistivas nuevas sobre la base de los estudios geoelectrónicos realizados previamente con fines geológicos realizado por *Ermolin et al., (2005)*. En particular se han determinados subunidades relacionadas con la unidad resistiva I, III y IV; eventualmente la unidad resistiva V, VIII y IX cuando se alcanzó en profundidad con el objeto principal de resolver en esta fase del estudio las principales características litológicas y geocriológicas del área de construcción de la futura pista de aterrizaje y obras civiles de apoyo. Se detalla a continuación en la tabla 2 las características de las unidades y subunidades resistivas:

La figura 3 muestra los cortes geoelectrónicos y geocriogénicos correspondientes a la distribución regional de los componentes litológicos, morfología y estructura del permafrost en el área de la proyectada pista.

FIGURA 2. UBICACIÓN DE LOS MICROSONDEOS SOBRE EL MAPA TOPOGRÁFICO DE BASE

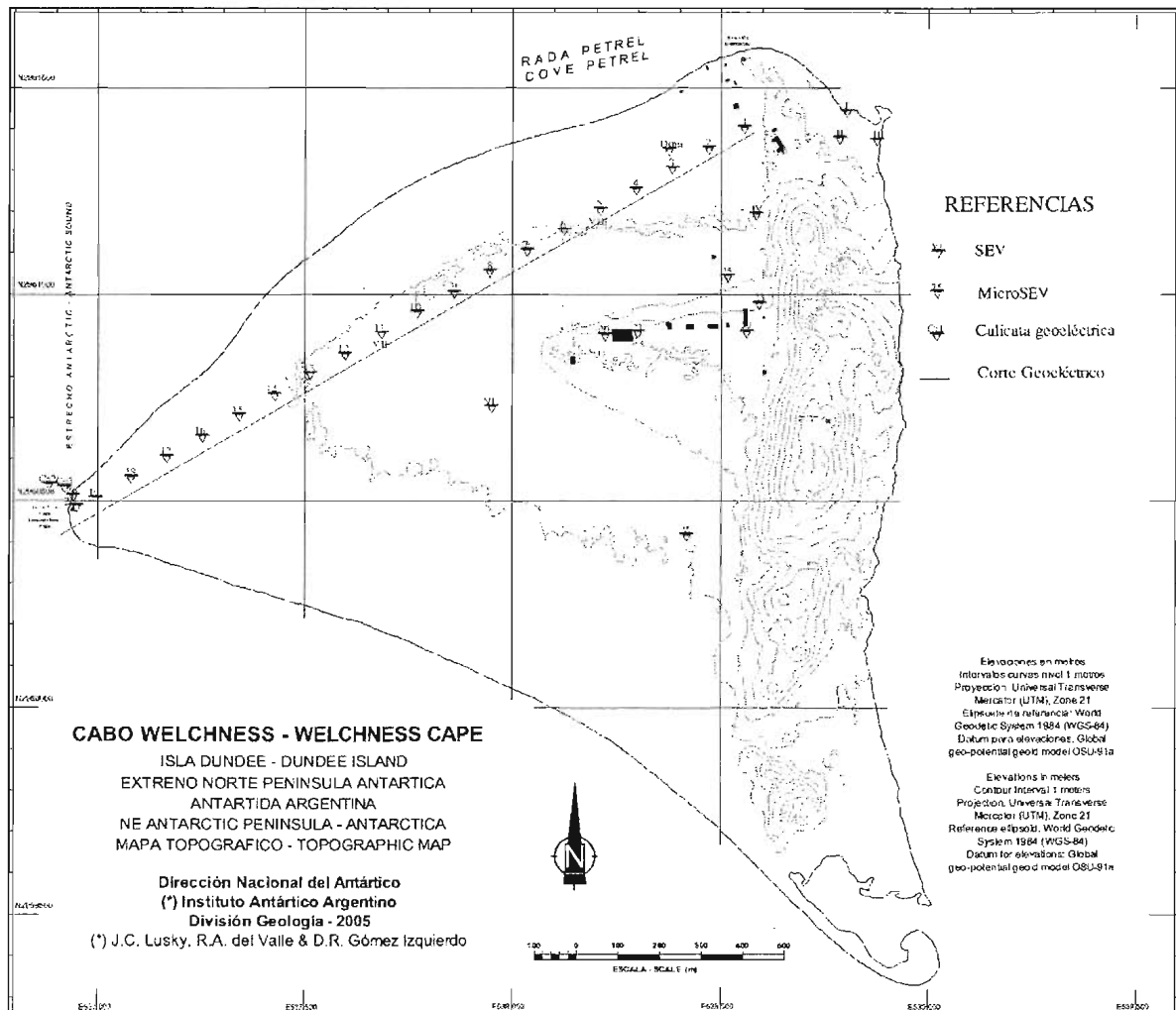
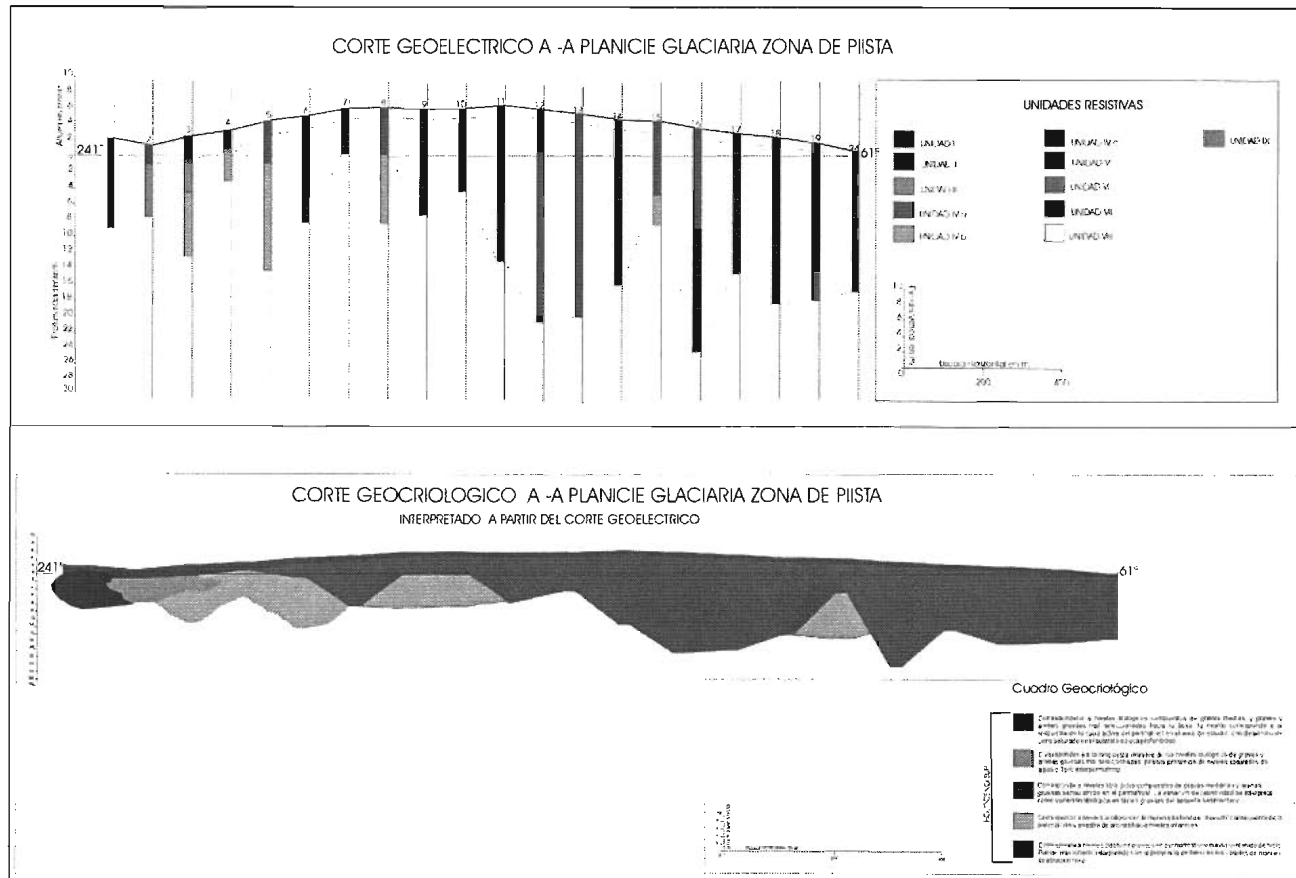


TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES Y SUBUNIDADES RESISTIVAS: Espesores, resistividades y profundidades

Espesores aprox. (m)	Resistividad ohm.m	Profundidades aprox. (m)	Unidad
1,12 - 2,39	1 179,91 - 8 091,13	1,12 - 2,39	I
4,92 - 6,64	50,0 - 59,98	Intercalación	III
7,30 - 26,90	112,00 - 519,90	8,42 - 29,29	IVa
3,80 - 8,63	26,82 - 107,19	Intercalación	IVb
2,5 - 10,62	2 069,93 - 6 212,00	Intercalación	IVc
9,24 - 30,15	305,08 - 808,06	17,89 - 61,09	V
7,13 - 25,40	1 134,75 - 5 959,92	8,25 - 27,79	VIII
1,28	6,19	1,28	IX

FIGURA 3. CORTE GEOELÉCTRICO E INTERPRETACIÓN GEOCRIOLÓGICA DE LA ZONA DE PISTA



**Unidad Resistiva I**

Esta unidad corresponde a niveles litológicos compuestos de gravas medias y gravas y arenas gruesas mal seleccionadas hacia la base; en general comprende áreas de buena porosidad y permeabilidad. Constituyen un conjunto de depósitos fluvio-glaciales y glaciares que, considerando la litología de esta unidad y los valores de resistividad, permiten interpretar que la misma corresponde a la respuesta de la capa activa del permafrost en el área de estudio. Los microsondeos realizados muestran que los valores de resistividad en el área de la planicie Petrel (proyecto de pista) son comparables con los macrosondeos con valores de resistividad entre 1 179,91 - 8 091,13 ohm.m y espesores entre 1,12 - 2,39 metros que en los SEV 2, 3 con valores de resistividad entre 4 000-6 000 ohm.m puede haber alto contenido de hielo intersticial debido a los cursos temporarios producto de la ablación nival. Los SEV 20, 21, 22 y 23 realizados sobre la terraza fluvio-glacial muestran valores similares a los realizados en la planicie fluvio-glacial.

**Unidad Resistiva III**

En el SEV 2 y 3 se observa una capa con resistividades entre 50,0 -59,98 ohm.m y espesores entre 4,92 - 6,64 metros a una profundidad de 2,06 mbbp, el caso el SEV 3 a 25 o 30 metros de domo de inyección. Es particularmente significativo en esta unidad la presencia de domos de inyección (ver SEV Domo) que presenta a 1,01 m de profundidad un horizonte de 4 131,57 ohm.m y 1,04 metros de espesor atribuible a la presencia de hielo de infiltración en los sedimentos. Debido a que este último es evidencia de agua subterránea supraperafrost y la cercanía de los cauces se considera que esta respuesta corresponde

a niveles acuíferos supraperafrost en depósitos fluviales o fluvio-glaciales y se ha identificado como correlacionable a la unidad resistiva III.

**Unidad Resistiva IV**

Esta unidad se reconoce en los microsondeos con mayor detalle y resolución pudiéndose dividir tres subunidades resistivas IVa, IVb y IVc. Toda la unidad es de origen glaciario y en forma general la subunidad resistiva IVa corresponde a niveles litológicos compuestos de gravas medianas y arenas gruesas sensu stricto en el permafrost cuya resistividad oscila entre 112,00 - 519,90 ohm.m y continuos. La variación de resistividad se interpreta como variación litológica en facies gruesas del paquete sedimentario. El SEV 24 realizado sobre la planicie fluvio-glacial en la barranca costera presenta un segundo horizonte resistivo de 62 ohm.m y 16 metros de espesor atribuible a la respuesta de las morenas holocenas sin hielos ni permafrost pero con ingresión de agua salada del mar. El SEV 26 se realizó sobre la costa en la zona intermareal al pie de la barranca y presenta una resistividad de 45 ohm.m y 7,30 metros de espesor lo que también indica ingresión de agua salada marina. La subunidad resistiva IVb y IVc son discontinuos e intercalan dentro de este paquete sedimentario con permafrost. La subunidad resistiva IVb posee valores resistivos que oscilan entre 26,82 - 107,19 ohm.m y espesores entre 3,80 - 8,63 metros observándose en los SEV 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 15, 16, 17, 18 y 19. Este horizonte resistivo se ha interpretado como un nivel arcilloso en la morena de fondo o "illuvium" consecuente de la percolación y arrastre de arcillas hacia niveles inferiores normalmente con resistividades de 40-60 ohm.m. Esto puede observarse como

niveles más someros en el SEV 4; y como niveles más profundos en los SEV 6, 7, 8, 9, 13, 15, 16, 17, 18 y 19.

En el caso particular del SEV 24 este horizonte resistivo posee valores de 3 ohm.m o inferiores y se considera que es la respuesta de los niveles arcillosos en las morenas de fondo o "illuvium" que posee menos resistividad por el ingreso de la interfase salina del mar en las arcillas que por se posee baja resistividad. En los SEV 1, 10, 11, 12, 13, 14 y 26 no se observa este horizonte resistivo. La subunidad resistiva IVC posee valores resistivos calculados entre 2 069,93 - 6 212,00 ohm.m y en general de poco espesor entre 2,5 y 10,62 metros.

Esta subunidad se observa claramente en los SEV 1, 8, 11 y 14 y se interpreta como niveles clásticos gruesos en permafrost con mayor contenido de hielo. Excepto en el SEV 1 donde se encuentra a poca profundidad probablemente relacionado con la presencia de hielo en los canales de marea o de ablación nival en los demás se encuentra hacia la base de la unidad resistiva IV casi en el contacto con la unidad resistiva V.

#### Unidad Resistiva V

Esta unidad se ha reconocido con el uso de los macrosondeos en toda el área de estudio en la planicie Petrel y Rada Petrel. Los microsondeos SEV 10, 12 y 15 en la planicie, el SEV 26 en la costa, el SEV 25 en la subterrazza glaciaria y los SEV 20, 21, 22, 23 en la terraza fluvio-glacial han alcanzado este horizonte resistivo a profundidades inferiores a los 25 mbbp. Aquí también se verifica un paquete resistivo muy continuo y característico con valores de resistividad que oscilan entre 305,08 - 808,06 ohm.m que también serían atribuibles a niveles litológicos compuestos de gravas gruesas y bloques con mayor participación de material fino y que se encuentran dentro del permafrost. Esta unidad puede corresponder niveles morénicos previos más antiguos y subyacentes a los que se observan aflorar en la planicie Petrel y también se ha verificado que subyacen los sedimentos de la terraza fluvio-glacial con valores resistivos entre 211,36 - 534,52 ohm.m y en la costa se encuentra a poca profundidad y posee resistividades de 11,02 ohm.m a consecuencia de la interfase de agua salada marina.

#### Unidad Resistiva VIII

Esta unidad resistiva ha sido determinada en el tope de la terraza fluvio-glacial a partir de la interpretación de los SEV 20, 21, 22 y 23. La misma posee valores resistivos que oscilan entre 1 134,75 - 5 959,92 ohm.m y espesores de 7,13 - 25,40 metros. Se considera que la unidad es de origen glaciario y en forma general corresponde a niveles litológicos compuestos de gravas medianas y arenas gruesas en el permafrost cuya resistividad permite interpretarse como niveles con permafrost rico en hielo atribuibles a depósitos morénicos previos a la unidad resistiva IV y más modernos que la unidad resistiva V de posible edad holocena inferior.

#### Unidad Resistiva IX

Solo verificable en el SEV 26 en la zona intermareal se reconoce como el primer horizonte resistivo de 6,19 ohm.m y de 1,3 metros de espesor. Sobre la costa se observan afloramientos de facies gruesas que constituyen niveles modernos de playa que contienen agua salada.

## 5. CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Para efectuar el diseño y la construcción de la pista aterrizaje en la zona del permafrost es necesario contar con los

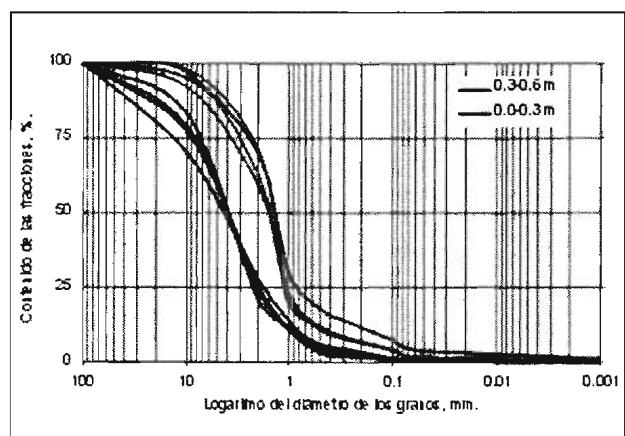
siguientes datos: propiedades mecánicas de los suelos de la fundación y los áridos de construcción, contenido total de agua ( $W_t$ ) de los suelos congelados y descongelados; contenido total de hielo ( $H_t$ ) de capa congelamiento estacional y del techo de permafrost, profundidad normativa de descongelamiento estacional para áridos de la construcción. Para la valoración potencial de la carga estática y dinámica del pavimento de la pista es obligatorio conocer las propiedades térmicas y mecánicas del suelo congelado y descongelado (conductividad térmica, resistencia mecánica, asentamiento por descongelamiento). Además, para realizar las tareas del mantenimiento de la pista y hacer el diseño de drenaje en este sector es necesario evaluar los cambios previstos de las condiciones geocriológicas y geotécnicas en el sector de la construcción con la modificación de la superficie original.

#### Propiedades mecánicas de los suelos

Se han examinado los suelos clásticos originales utilizados como un soporte de la subrasante o del terreno de fundación en la zona de la construcción de la pista. Todas las calicatas y sondeos efectuados se realizaron a lo largo del perfil A-A (eje de la pista) con una profundidad de 0,6 m. La figura 4 muestra las variaciones de las propiedades granulométricas de los suelos en este sector. Se observa que los suelos superficiales hasta profundidad 0,3 m presentan las fracciones pétreas con grava y arena gruesa y mediana y en intervalo de profundidad de 0,3 a 0,6 m se observa el incremento de las fracciones finas de arena mediana y fina. Este fenómeno de la selección vertical de la capa activa del material detrítico se explica por los procesos congelamiento u descongelamiento estacional y selección del lavado.

Según la índice de clasificación de materiales de construcción del Highway Research Board - H.R.B. (1958) los suelos analizados corresponden al grupo A-1 y A-2 y conforme a agrupación según la relación al congelamiento y descongelamiento corresponden al grupo F-1. Los resultados de los análisis se muestran en tabla 3.

FIGURA 4. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS EN EL SECTOR DE LA PISTA



Estas características granulométricas del suelo determinan las excelentes condiciones de la capa de apoyo de la construcción del terraplén. Además se han analizado distintos tipos de suelo clásticos ubicados en tres sectores potenciales de extracción áridos para la construcción del terraplén de la pista aterrizaje. Los muestros se obtuvieron de testigos extraídos en calicatas de profundidad máxima de 0,5 a 0,7 m. Esta profundidad corresponde al espesor recomendable de la extracción áridos en



estos sectores. Los suelos analizados están agrupados según su susceptibilidad al levantamiento por congelamiento y al debilitamiento por acción de la fusión de hielo subterráneo. Los suelos del grupo C muestran una susceptibilidad baja al levantamiento por congelamiento y un debilitamiento parcial o completo por la acción de la fusión de los hielos subterráneos en la época de

descongelamiento estacional. Los áridos que corresponden al grupo A y B se presentan como un material óptimo para la construcción del terraplén. Los mismos se caracterizan por poca susceptibilidad al levantamiento por congelamiento y por una alta resistencia mecánica, la cual aumenta considerablemente con el descenso de las temperaturas negativas.

**TABLA 3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MECÁNICO DE LOS SUELOS EN LA ZONA DEL DIQUE Y DE LOS ÁRIDOS USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN**

Unidades	A	B	C
Tipos comunes de materiales componentes significativos	gravas arenosas	fragmentos pétreas, y arenas limosas	gravas y arenas gravas
Granulometría: tamiz N° 4	70	60	90
tamiz N° 18	55	45	65
tamiz N° 60	22	18	25
tamiz N° 230	4,0	2,0	12
Diámetro efectivo de clastos, mm	4,0	5,0	0,7
Peso volumétrico del suelo congelado (Tn )	1,75	1,7	1,6
Peso volumétrico del suelo descongelado (Tn )	1,85	1,84	1,75
Peso específico del suelo seco compactado (Tn )	2,1	2,1	2,0
Índice de clasificación según H.R.B.	A-1	A-1	A-2
Agrupación según reacción al congelamiento y descongelamiento	F-2	F-1	F-3

#### Humedad total de los suelos y contenido de los hielos subterráneos

Los estudios del contenido total de agua de la capa activa y el techo del permafrost se realizaron en las calicatas ubicadas en el sector de la construcción de la pista. Los resultados obtenidos y la distribución de la humedad total de los suelos ( $W_t$ ) se muestran figura 5. Se han observado variadas significativas entre la humedad de los suelos en la zona superficial y en profundidad. El máximo valor de  $W_t$  se registró en los puntos 3 y 4 ubicadas en la zona saturada de inundación durante marea alta. Para los puntos 3 y 4 se observa el aumento de la humedad del suelo en el 8-9% en la capa superficial y hasta 15% en profundidad de 0,6 m. En la capa superficial el valor de  $W_t$  oscila entre el 4 y 8% y en intervalo de la profundidad 0,2-0,4 m se observa la variación entre el 6 y 12% y en intervalo 0,4-0,6 m se registran la humedad total entre el 11 y 16%. Para la capa activa en el tiempo de congelamiento estacional el contenido total de hielo (Ht) depende de la humedad inicial del suelo.

Por este motivo el valor de  $W_t$  puede modificarse conforme al cambio de la humedad del suelo antes del congelamiento estacional. Los valores registrados de  $W_t$  de los suelos clásticos de la capa activa indican las condiciones favorables para la formación de los hielos subterráneos en sitio del tipo cemento y de infiltración. El contenido del hielo en la parte superior del techo del permafrost no supera los valores de  $W_t$  en la base del horizonte de congelamiento estacional.

#### Profundidad normativa del descongelamiento estacional

Debido a que no existe una base de datos para tal período, la profundidad normativa de descongelamiento se calculó con los datos disponibles de la estación meteorológica Petrel, y las propiedades de los suelos congelados y descongelados, según:

$$\text{donde } H_d = \frac{2\lambda_c \tau_1 t_1}{q} + \frac{Q^2}{2q} - \frac{Q}{2q}$$

$$\text{y } Q = 0.25 - \frac{\tau_1}{3600} (t_1 - t_c) \cdot \lambda_c C_c \tau_1$$

$$\text{con } q = \rho (w_i - w_n) \gamma_d + \frac{\tau_1}{7500} - 0.1 (C_d t_1 - C_c t_0)$$

$$t_1 = 1.4 t_p + 2.4 \text{ y } \tau_1 = 1.15 \tau_p + 360$$

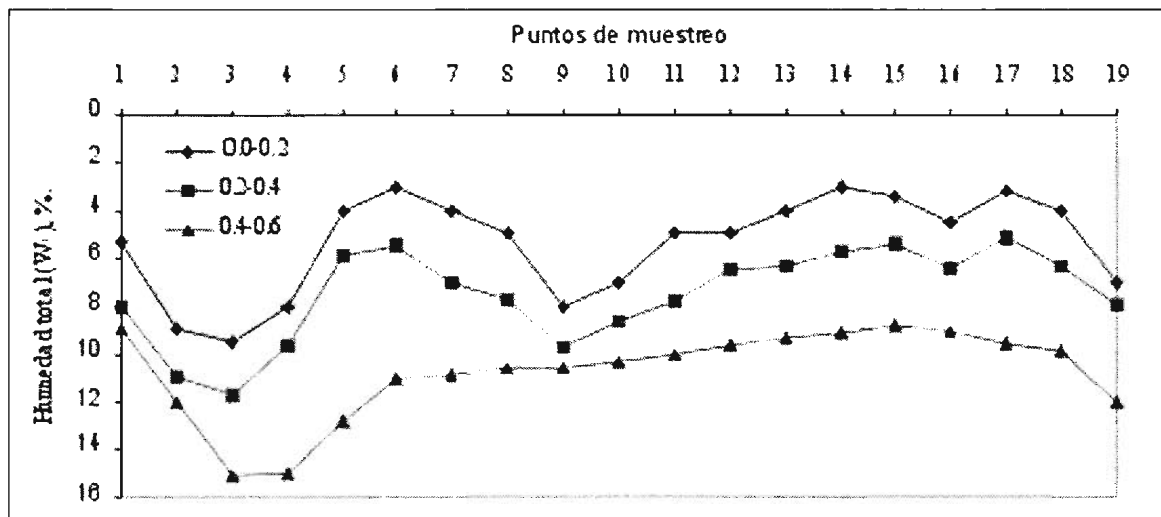
La tabla 4 muestra las unidades utilizadas y los valores calculados de espesor normativo de descongelamiento estacional para distintos tipos de los suelos.

El descongelamiento estacional alcanza profundidades variables en verano según la composición del suelo, relación de las aguas superficiales y subterráneas, la exposición y las condiciones meteorológicas en la etapa de descongelamiento estacional. Para objetivos geotécnicos en zonas frías se están utilizando los valores de profundidad normativa del descongelamiento estacional. Este valor se define como la mayor profundidad observada donde la capa activa en etapa de descongelamiento estacional coincide con el techo del permafrost durante los últimos 10 años.

**TABLA. 4. VALORES DE PROFUNDIDAD NORMATIVA DE DESCONGELAMIENTO ESTACIONAL, DATOS CLIMÁTICOS Y PROPIEDADES FÍSICAS Y TÉRMICAS DEL SUELO**

Unidad	Zona de la pista	Sector A	Sector B	Sector C
$\lambda$ coeficiente de conductividad térmica del suelo congelado (Kcal )	1,7	1,75	1,75	1,8
$\lambda\delta$ coeficiente de conductividad térmica del suelo descongelado (Kcal )	1,75	1,8	1,85	1,85
$\tau_0$ temperatura media del permafrost, (°C)	-3,0	-3,0	-3-0	-3-0
temperatura media del aire durante el tiempo en que permanece por encima de los 0° C (°C)	1,7	1,7	1,7	1,7
$\tau\chi$ temperatura del congelamiento (°C)	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3
duración del período con temperaturas del aire positivas, (hs)	1 420	1 420	1 420	1 420
contenido total de agua del suelo, ( %)	10	8	8	10
calor latente de fusión de hielo (Kcal )	80 000	80 000	80 000	80 000
capacidad calorífica por volumen del suelo congelado (Kcal	450	470	430	440
capacidad calorífica por volumen del suelo descongelado (Kcal	510	520	510	520
densidad del suelo congelado (Tn )	1,7	1,75	1,85	1,8
densidad del suelo descongelado (Tn )	1,8	1,9	1,95	1,9
profundidad normativa de descongelamiento (m)	0,85	0,8	0,65	0,7

**FIGURA 5. LA DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD TOTAL DE LOS SUELOS ORIGINALES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PISTA**



Resistencia mecánica de los suelos a la penetración

Desde el punto de vista de la resistencia mecánica los suelos en la zona de la construcción y en el futuro terraplén de la pista pueden esquematizarse en dos capas, las que corresponden al permafrost (capa inferior) y a la capa activa (capa superior de congelamiento y descongelamiento estacional). La capa inferior forma un terreno de fundación o subrasante y la capa superior corresponde a la sub-base y base del terraplén. Unas de las características más importantes utilizadas para el análisis de las propiedades del suelo utilizado para la construcción de la pista son la resistencia estática instantánea al impacto ( $R_e$ ) para los suelos congelados y el ensayo de soporte de California para las

capas superiores descongeladas en el tiempo del descongelamiento estacional.

El estudio de  $R_e$  se realiza mediante métodos expeditivos y de laboratorio como el presiómetro a bolilla. El valor de  $R_e$  para el permafrost y los suelos congelados sólidos de la capa activa es estable y se halla siempre por encima de los 35-40 Kg. cm<sup>-2</sup> en el intervalo de los temperaturas negativos de -0,2 °C (temperatura del congelamiento del suelo del tipo A-1 y A-2) a -3,0 °C que corresponde a la temperatura media del permafrost. Suelos congelados permanentes de este tipo formarán las capas de subrasante y la parte inferior de sub-base del terraplén de la futura pista. Las temperaturas negativas van a favorecer a la resistencia estable de los suelos, mientras que para la capas superiores corresponde a la capa activa en la etapa de descongelamiento

TABLA 5. VALORES DE CBR DE LOS ÁRIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL TERRAPLÉN

Unidades	Tipo del suelo		
	Suelo original	Áridos B	Mezcla de los áridos B y C
Clasificación de suelo	A-1	A-2	A-2
Agrupación según congelamiento	F-1	F-2	F-2
Humedad óptimo, (%)	7	8	8
Densidad de los suelos compactados, Ton m <sup>-3</sup>	2,05	2,1	2,15
Valor del CBR, (%)	> 70, bueno	> 75, bueno	> 85, muy bueno

este valor tiene dependencia de las condiciones de la densidad y humedad de suelo. Para los suelos descongelados se realizó un ensayo de relación de soporte conocido como valor soporte de California (CBR). El ensayo CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Según los datos obtenidos (tabla 5) se puede clasificar de capacidad de los suelos compactados utilizados para sub-base y base del terraplén como buena y muy buena.

## 6. CONDICIONES DE CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE LA PISTA

El objetivo es diseñar una pista con la disposición típica de un aeropuerto con pista única de aterrizaje. Los pavimentos de las distintas partes en el aeropuerto son divididos en las tres áreas operacionales: de pista de aterrizaje, pista de rodaje y plataforma de operación.

Estos pavimentos deben encontrar criterios geométricos específicos con respecto a grados longitudinales y transversales, curvatura vertical y distancia de vista. Alrededor del perímetro de estos pavimentos ubicada un área asociada con cuevas sin obstrucciones a aviones que por casualidad se escapan la superficie de pavimento. Los criterios geométricos de los aeropuertos árticos usados en Canadá muestra la tabla 7

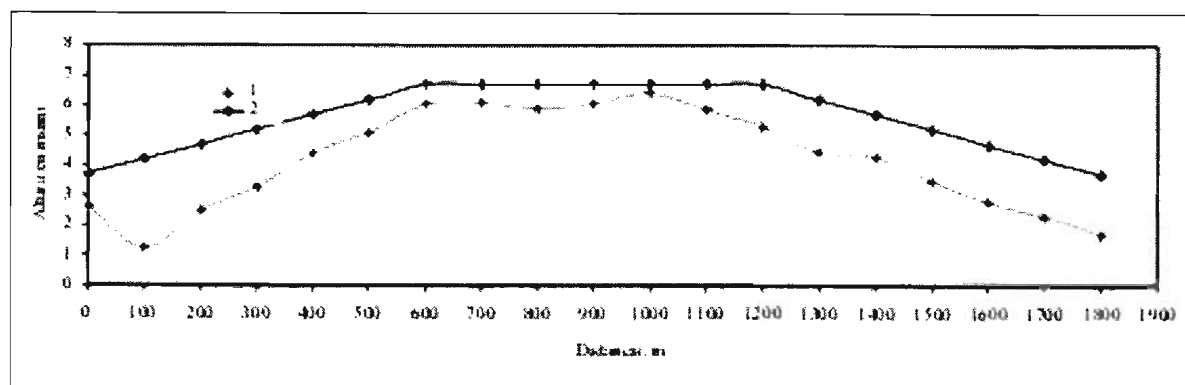
Los estándares geométricos del aeropuerto y requerimientos son clasificados en cuatro categorías. El estandarte máximo para un aeropuerto (A) ártico tiene una pista aterrizaje pavimentada de la longitud de 2 100 m y del ancho de 60 m. Los estándares mínimos para los aeropuertos árticos (B), (C) y (D) requieren una superficie de grava o pavimentada, longitudes de pista de aterrizaje de 1 500, 900 y 450 m con ancho de 45, 30 y 21 m respectivamente. (*Linell and Jonston, 1973*)

En la planicie Petrel se propone la disposición de la pista principal con unos 1 800 m de longitud en sentido SW -NE en la terraza inferior que presenta características geotécnicas y de relieve favorables para potencial construcción del aeropuerto sobre ella. La orientación de la pista principal está supeditada a las direcciones S, S-W y S-E de los vientos más fuertes predominantes en el área. La longitud de esta pista potencial podría alargarse alrededor de un 10% más desarrollándose en dicha dirección y alcanzando aproximadamente los 2 100 m. Esto es debido a que en los extremos de la pista a 100 m en dirección N-E hasta el cordón de la morena y de 200 m en dirección S-W donde encuentra en el área del mar adyacente a Punta Bajos queda expuesta una terraza submarina plana, de unos 2,5 m de profundidad bajo el nivel del mar, formada por roca sedimentaria sólida, muy compacta y competente a la erosión. Esta terraza submarina se extiende unos 200 m costa afuera, rodeando a la Punta Bajos, y es apta para potenciales prolongaciones de la posible pista en el sector. El diseño de la pista aterrizaje en la planicie Petrel y el requerimiento geométrico de todos los elementos del aeropuerto futuro está basado en la topografía del terreno en el sector de la terraza inferior de la construcción de la pista principal, al estudio realizado de las condiciones geotécnicas en la zona del permafrost y las posibilidades técnicas de las tareas previstas (*Arctic Construction 1973*)

### Terraplén de materiales locales

El terraplén de la pista de aterrizaje en zonas frías debe diseñarse para soportar las condiciones adversas tales como: levantamiento del suelo húmedo por congelamiento estacional, asentamiento por descongelamiento de las capas superficiales, pérdidas de la resistencia de las capas base y sub-base durante y después del descongelamiento estacional y cambio de humedad

FIGURA 6. PERFIL LONGITUDINAL DEL TERRAPLÉN PREVISTO DE LA PISTA DE ATERRIZAJE 1-nivel de la superficie original; 2 - nivel del terraplén



de la superficie. Además, el diseño de las capas de apoyo exige que se determine la capacidad para soportar carga, con el fin de proporcionar el diseño en forma segura y económica.

Las características de la capacidad para soportar carga varían mucho con los diversos tipos de los suelos utilizados para la construcción. Las pistas tienen que soportar también las vibraciones del periodo de calentamiento, el escape de los motores de reacción y los impactos del aterrizaje.

El espesor promedio del terraplén debe corresponder a la profundidad normativa de descongelamiento estacional en este sector, para evitar los efectos negativos de la fusión y drenaje. En este caso un aspecto de gran importancia de la construcción en las zonas de permafrost, es obtener los materiales clásticos gruesos adecuados para el terraplén. Áridos de este tipo no permiten la formación de hielo subterráneo, además los mismos no son favorables para levantamiento indeseable en el sector de construcción.

El espesor medio del terraplén será 1,43 m, espesor máximo de 2,21 a 2,96 m encuentra entre los puntos 2 y 3 cuales corresponden a sector inundable durante el pleamar. Todos los materiales de construcción naturales necesarios para la construcción de la pista de aterrizaje están en el área del proyecto. Estos áridos existen en abundancia y en buena calidad. El terreno de fundación es la superficie original (subrasante) que debe estar debidamente compactada en primera etapa a humedad óptima de 7-8 % y densidad máxima.

Para construcción de la sub-base del terraplén se podrá utilizar de los áridos de las canteras A y B donde predominan las gravas gruesas con poco arena. En todas las etapas de colocación de los áridos se debe realizar una compactación capa por capa. La compactación produce mejores resultados en el grado de consistencia del suelo, representado por un menor índice de vacíos y un mayor peso unitario seco. Al compactar un suelo del terraplén se consigue mejorar futuras relaciones de los procesos criogénicos, disminuir futuros asentamientos, aumentar la resistencia al corte y disminuir la permeabilidad. El control de la obra final se realizará a través de determinaciones de los parámetros densidad seca y humedad de compactación de los áridos colocados durante las obras previstas. La tabla 6 muestra las características geométricas del aeropuerto futuro en la planicie Petrel.

Los parámetros previstos corresponden a elementos naturales de este sector y posibilidades de la construcción de la pista de aterrizaje con materiales locales. El perfil longitudinal previsto del terraplén muestra la figura 6.

Se pueden recomendar tres canteras ubicadas en los sectores donde se pueden extraer áridos de construcción (tabla 7). Teniendo en cuenta el tamaño del terraplén de los 54 000 m<sup>2</sup> y espesor promedio según diseño de 1,43 m, la cantidad de material de construcción es los 77 500 m<sup>3</sup>.

Los áridos de base del terraplén habría que corregir con el agregado proveniente de arenas y limos. Esto será necesario

para lograr la buena cohesión y compactación de la superficie del terraplén. Los materiales utilizados para colocar la base se pueden mezclar con áridos de las canteras B y C en proporciones 1 por 1.

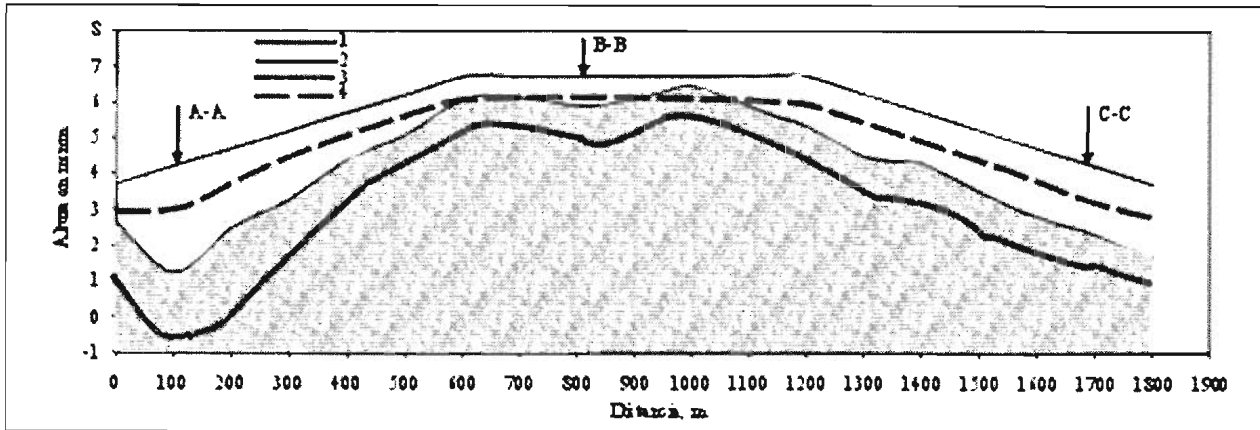
**TABLA 6. CARACTERÍSTICA GEOMÉTRICA DEL AEROPUERTO EN LA PLANICIE PETREL**

Requerimiento geométrico	
Pista aterrizaje	
Longitud mínima, (m)	1 800
Ancho mínimo, (m)	30
Superficie de la pista aterrizaje, m <sup>2</sup>	54 000
Declive longitudinal máximo G, (%)	±0,5
Declive transversal máximo (%)	±1,0
Margen de pista aterrizaje	
Ancho mínimo por cada lado del eje de la pista, (m)	50
Longitud mínima desde cabecera de la pista, (m)	60
Declive longitudinal máximo, (%)	±1,0
Declive transversal máximo, (%)	±1,5
Zona libre de obstáculos	
Ancho mínimo por cada lado del eje de la pista, (m)	100
Longitud mínima desde cabecera de la pista, (m)	60
Calle de rodaje	
Longitud, (m)	120
Ancho mínimo, (m)	22
Declive longitudinal máximo, (%)	±1,0
Tasa máxima del cambio en declive longitudinal (% por 30 m)	±1,0
Declive transversal máximo, (%)	±1,0
Margen de calle de rodaje	
Ancho mínimo del cada lado de calle de rodaje, (m)	
Declive longitudinal máximo, (%)	±2,0
Declive transversal máximo, (%)	±2,0
Plataforma de operación	
Tamaño (m <sup>2</sup> )	12 000
Declive máximo, (m)	±1,0
Margen de la plataforma de operación	
Ancho mínimo alrededor de la plataforma, (m)	15
Declive longitudinal y transversal máximo, (%)	±3,0

**TABLA 7. VOLUMEN DE LOS ÁRIDOS EXTRAÍDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TERRAPLÉN**

Sectores de extracción	Tamaño de los sectores, m	Profundidad de la extracción, m	Volumen de la extracción, m <sup>3</sup>
A	400x150	0,7	42 000
B	250x140	0,7	24 500
C	180x120	0,5	11 000

**FIGURA 7. PERFIL LONGITUDINAL GEOCRIOLÓGICO DEL TERRAPLÉN** 1 - superficie original; 2 - nivel del terraplén; 3 - techo del permafrost original; 4 - techo del permafrost en terraplén



**Drenaje en la zona de la pista**

El drenaje es sin duda el factor aislado más importante que contribuye a la estabilidad del terraplén de la pista potencial. El agua sólo puede filtrarse en los suelos clásicos bajo la influencia de carga exterior o de un gradiente osmótico. La construcción del terraplén implicará un drenaje natural superficial debido a que estará más elevado que el terreno circundante y constituido por materiales que favorecerán la infiltración (en caso de la construcción de la pista no pavimentada) y posterior drenaje fuera del terraplén. La primera exigencia es que el agua se mantenga lejos o fuera de la estructuras de la construcción que pueden adquirir un daño erosivo. Esto requiere una serie de zanjas y canaletas a largo de los bordes de la pista. La red del drenaje en la zona de permafrost puede ser calculada según:

$$A = h_{\max} \sqrt{\frac{K}{W}} = 60m$$

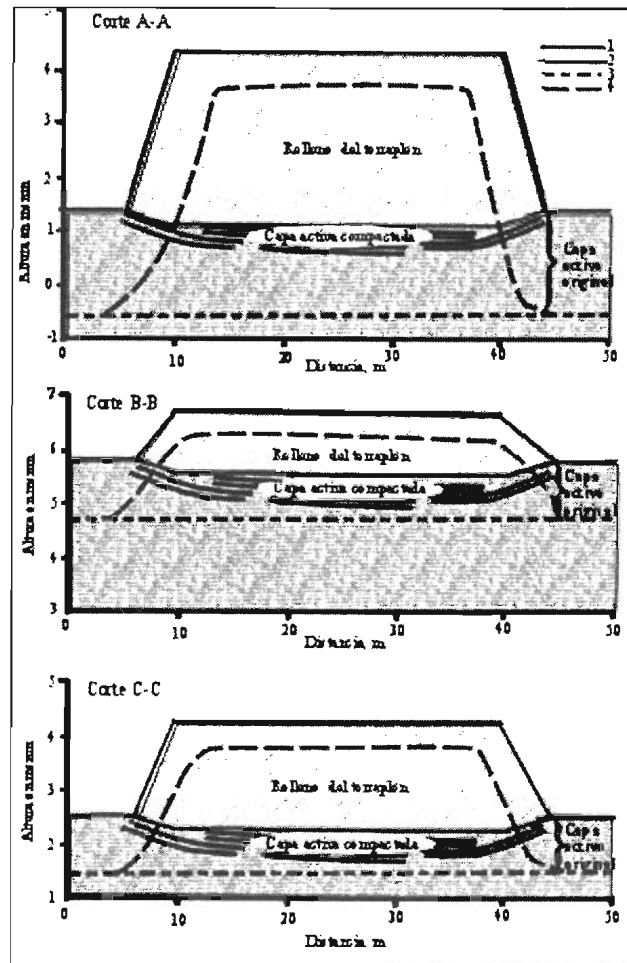
Donde, A es la distancia entre las cunetas de drenaje, hmax es la altura máxima del nivel de agua suprapermfrost por encima del acuíclodo criogénico entre las cunetas de drenaje (0,75m), K es el coeficiente de filtración (40 md<sup>-1</sup>) y W es la intensidad de infiltración de la precipitación (0,006 md<sup>-1</sup>). Los sistemas de drenaje generalmente superficial como subterráneo deben ser buenos y estables en tiempo de descongelamiento. Las principales estructuras previstas para red de drenaje tenían que corresponder a los siguientes criterios:

- Los canales de captación de agua de fusión de bordean la sección superior a lo largo del terraplén para proporcionar drenaje.
- Unos canales transversales subterráneos (sección de la pista entre puntos 2 y 5) deben ser bien aislados del cuerpo del terraplén para evitar la termoerosión del permafrost.
- Las cunetas transversales de drenaje fuera de la pista no deben tener una longitud menor a 50 m, un ancho de 0.50 m en la parte superior y 0,4 - 0,5 m de profundidad.
- El relleno de las cunetas de drenaje debe realizarse con grava gruesa que asegure buenas condiciones de filtración y solidez.

**Cambios previstos para las condiciones geocriológicas y geotécnicas en el sector de la construcción**

La construcción de la pista con un terraplén de los materiales locales clásicos perturbará las condiciones iniciales del permafrost en este sector. Los cambios previstos se pueden evaluar con los datos de las propiedades de los áridos utilizados

**FIGURA 8. SECCIONES TRANSVERSALES GEOCRIOLÓGICAS DEL TERRAPLÉN.** 1 – Superficie original; 2 – nivel del terraplén; 3 – techo del permafrost original; 4 – techo del permafrost en terraplén



para la construcción del terraplén y condiciones climáticas relacionadas con la modificación del permafrost en subrasante, sub-base y base del terraplén. Una característica más importante es la profundidad del congelamiento ( $H_c$ ) del cuerpo de terraplén después de la construcción. Este parámetro se puede calcular con los datos de las propiedades térmicas obtenidas de los suelos y la información climática recogida. El valor ( $H_c$ ) se expresa de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$H_c = \sqrt{\frac{2\lambda_c t_c}{\rho W_t \gamma_c - 0.5C_c t_c}}$$

Donde,  $t_c$  es la temperatura media del aire durante el tiempo en que esta permanece bajo de los 0 °C (-7,6 °C);  $\tau_c$  es índice del congelamiento, grado-días negativos (2 200 - 3 500 por año);  $\lambda_c$  es la conductividad térmica del suelo congelado (2,1 Kcal m<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>);  $C_c$  es la capacidad calorífica por volumen del suelo congelado (755 kcal m<sup>-3</sup> grad<sup>-1</sup>);  $\rho$  es el calor latente de fusión de hielo (80 000 Kcal Tn<sup>-1</sup>);  $W_t$  es la humedad óptima del suelo (0,07-0,09);  $\gamma_c$  es densidad del suelo congelado (2,0 Tn m<sup>-3</sup>). Las figuras 7 y 8 se muestran las secciones transversales y perfil longitudinal del terraplén después del congelamiento completo de los áridos utilizados.

Teniendo en cuenta que existe dos valores de la humedad óptima del suelo del terraplén y el periodo con temperaturas del aire negativas variable cada año, la profundidad potencial en este sector puede cambiarse de 1,3 a 2,1 m por año. Según este cálculo la nueva formación del permafrost en cuerpo del terraplén futuro tiene que formarse en el primer año en los

sectores donde el espesor del terraplén no va a superar 1-1,2 m (sectores entre puntos) y en segundo año el cuerpo del terraplén congelará en su volumen completo.

El descongelamiento estacional conforme a los cálculos en la parte superior superficiales del terraplén logrará menos 10-15% del descongelamiento en terreno natural (planicie fluvio-glacial) gracias a los siguientes factores: compactación de los áridos colocados, disminución de  $W_t$  y la disminución del cubierto de nieve en la superficie levantada de la pista.

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo expuesto se concluye que el área de la Planicie Petrel constituye una zona favorable para la construcción y operación de una pista de aterrizaje para diferentes tipos de aeronaves. Es posible el aprovechamiento de materiales locales para la construcción del terraplén de la pista de aterrizaje y existen posibilidades tecnológicas accesibles en Argentina para la construcción de la pista de aterrizaje con pavimento rígido. Es recomendable la instalación de una estación meteorológica automática para realizar las observaciones necesarias y comparar datos presentes con datos preexistentes. Es recomendable, también, la realización de un estudio específico de abastecimiento de agua y otro estudio geotécnico adjunto relacionado con la construcción de la pista de emergencia y las instalaciones nuevas de apoyo a la base.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todo el grupo del trabajo de la Base Petrel, en especial al Teniente de Navío Franco Pirrota por el apoyo brindado durante las tareas de campo.

## 9. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ARTIC CONSTRUCTION. 1973.

Department of the air force technical order.

TM 5-560, TO 0060B-2, Charter 10, Surfacing of roads and Airfields, 167-211.

ERMOLIN E, SILVA BUSSO A, DEL VALLE R Y LUSKY J., 2005.

Estudio Geocriológico - Geotécnico para el Diseño de la Pista aterrizaje en la planicie del Cabo Wellchness - Isla Dundee, Península Antártica, Dpto. Cs. De la Tierra,

Instituto Antártico Argentino. Dirección Nacional del Antártico (Inédito).

GOSSTROI, 1977.

Stroitelniye normy i pravila, osnovniya i fundamenty na viechnomerzlyj gruntaj (Normas y reglas para la construcción, reglamentos básicos para zonas de permafrost)

11-18-76, Parte 11, Cap. 18, Moscú, 45 pp. (En ruso).

GOSSTROI, 1978.

Stroitelniye normy i pravila, obscheye poloshenia (Normas y reglas para la construcción, reglamentos básicos).

11-9-78, Parte 11, Cap. 9, Moscú, 22 pp. (En ruso).

HENNIOT, F.B. Y E.F. LOBACZ. 1973.

Corps of Engineers, technology related to design of pavements in areas of permafrost. 2nd Int.

Permafrost Conf. Yakutsk. North American Contrib. Nat. Acad. Sciences, 658-664.

HIGHWAY RESEARCH BOARD (H.R.B.), 1958.

Clasificación de materiales para subrasantes y su correlación con el valor soporte de California e interpretación.

Traducción del Ministerio de Obras Publicas, Provincia de Buenos Aires, publicación N° 4, 28 pp.

KUDRIAVTSEV, V.A. (Ed.). 1961.

Poleviye geokriologicheskkiye issledovaniye (Investigaciones geocriológicas de campo).

Academia de Ciencias de la URSS, Moscú. 372 pp.

KUDRIAVTSEV, V.A (Ed.) 1978.

Obshcheye merzlotobedeniye/geokriologiya (Geocriología general).

Isdatelstvo Moskovskovo Universitieta, Moscú, 464 pp.

- LINELL, K.A. Y G.H. JONSTON. 1973.  
Engineering design and construction in permafrost regions, 2nd.  
*Int. Permafrost Conf., Yakutsk, North American Contr. Nat. Acad. Sci.*, 553-575.
- LUSKY, J, DEL VALLE, R. E IZQUIERDO, D., 2005.  
Mapa Topográfico del Cabo Welchness, Isla Dundee, Península Antártica  
*División Geología, Instituto Antártico Argentino, Dirección Nacional del Antártico.*
- ORELLANA, E. 1982.  
Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua.  
*Editorial Panarinfo, Madrid, España. 125 pp.*
- SKVARCAW. RACK, H. ROTT AND T. IBARZÁBAL Y DONÁNGELO. 1998.  
Evidence of recent warming on the eastern Antarctic Peninsula.  
*Ann. Glaciol.* 27, 628-632.



## Cambios en el uso del suelo: el caso de La Cava San Nicolás

Florencio Varela, Buenos Aires

Nabel, Paulina Esther <sup>1</sup> - Becerra Serial, Rodrigo Martín <sup>2, 3</sup> - Rugiero, Valeria Mercedes <sup>2</sup>

### Resumen

*Se analiza la problemática de los pasivos mineros y el manejo de los mismos en el periurbano bonaerense, presentando el caso de la cava San Nicolás, en el Partido de Florencio Varela, Buenos Aires. En su etapa final, las cavas suelen transformarse en repositorios de residuos sólidos, que no cumplen con las normativas vigentes y resultan focos de contaminación de alta peligrosidad para la población. Se muestra la evolución temporal del predio que ocupa la cava San Nicolás como ejemplo de este tipo de manejo, común para los sitios de extracción de tosca inactivos en la región.*

*Presentamos una descripción integral del área de estudio y sus alrededores, tanto en sus aspectos naturales como antrópicos. La descripción geológica, hidrogeológica e hídrica se completa con una descripción topográfica y geomorfológica elaborada mediante técnicas geomáticas, consistente en la generación de un modelo digital de elevación (MDE) y de modelos de pendientes, orientación de pendientes y relieve sombreado.*

*En cuanto al estado ambiental de la cava resultante de la actividad antrópica, se exponen aquí resultados de trabajos inéditos y además se elabora un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite compatibilizar información de muy diversa índole, resultando una herramienta indispensable para el análisis integrado de las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, de población y de servicios básicos.*

*La complejidad del sistema y la cantidad de actores e intereses involucrados, ponen de manifiesto la urgente necesidad de realizar estudios multidisciplinarios, sistemáticos y con enfoque holístico, para que los planes de manejo y saneamiento propuestos resulten sustentables.*

**Palabras Clave:** *cavas, basurales a cielo abierto, SIG, MDE, contaminación de suelos.*

### Abstract

*The conversion of San Nicolas quarry to an unregulated waste deposit and its environmental impact is analyzed. The case of San Nicolas quarry is representative of many others in the surroundings of Buenos Aires urban conglomerate that could be also converted to dangerous contamination sites.*

*An integral description of the study area and its environment is presented, in respect to both natural and artificial attributes. The geologic, hydrogeologic, and hydrologic descriptions are completed with a topographic and geomorphologic description, developed using*

*geomatic tools, including a digital elevation model (DEM) and its derived models: slope, aspect and hillshaded relief.*

*We expose unpublished information about the environmental status of the San Nicolás quarry, as a result of human activity. A Geographic Information System (GIS) has been elaborated to integrate the heterogeneous data needed to a proper assessment.*

Entregado: 14 de Noviembre de 2006 ▪ Aceptado: 20 de Junio de 2007

1. CONICET, Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"

2. Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"



*The complexity of the system and the many and different concerns involved, points out the need to develop multidisciplinary studies, with an holistic point of view, and make regular monitoring, in order to determine the best sustainable management plans.*

**KEY WORDS:** *quarries, unregulated waste deposits, GIS, DEM, soil pollution.*

**Keywords:** *Geocryology, Roadway, Antarctica.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las actividades extractivas en el cordón periurbano al área metropolitana de Buenos Aires (AMBA) se han realizado históricamente en forma espontánea, sin regulación ni planificación oficial, a pesar de que generan severos impactos en la población y en el paisaje.

Los sitios de extracción minera, con explotaciones tanto de los niveles superficiales del suelo como de los estratos más profundos, son comunes en la zona de interfase entre el AMBA y áreas rurales. En el primero de los casos se extrae sólo la capa fértil del suelo, destinándose las arcillas obtenidas a la fabricación de ladrillos, mientras que en el caso de las excavaciones más profundas, o cavas, que alcanzan a veces los 15 o 20 m de profundidad, se extrae tosca y limos loésicos que se utilizan como relleno en diferentes obras, principalmente en la construcción de caminos (Pereyra 2004).

El pasivo minero que genera esta última forma de explotación constituye un problema de difícil resolución: además de su impacto negativo en el paisaje, generalmente las cavas son sitios de alta peligrosidad, principalmente por el riesgo que representan cuando están inundadas.

Como factor agravante, la actividad extractiva raramente estuvo controlada por las distintas entidades administrativas, ya sean de nivel nacional, provincial o municipal. La carencia o insuficiente previsión y planificación por parte de organismos públicos, deriva en que, a veces, se intente resolver inadecuadamente el problema.

Este ha sido el caso de la transformación de cavas en basurales a cielo abierto; si bien en primera instancia esta medida parecía solucionar simultáneamente el problema de los accidentes en las cavas y el de la falta de espacio para basurales, en la medida en que la disposición de los residuos se realiza sin ningún tipo de norma reguladora, las cavas devenidas en basurales se transformaron en peligrosos focos de contaminación, principalmente de los acuíferos superficiales y subterráneos de los que gran parte de la población obtiene el agua para consumo.

El objetivo del presente trabajo es analizar la dinámica de ocupación del territorio, en relación a la transformación de cavas abandonadas en basurales, sobre la base de un caso paradigmático como es el de la Cava San Nicolás en el partido de Florencio Varela, en la Provincia de Buenos Aires.

La posibilidad de recuperación de estos ambientes para un uso recreativo o residencial posterior, requiere del conocimiento detallado de las afectaciones remanentes de la actividad minera y del uso posterior que se le ha dado; de una planificación racional y de la realización de importantes obras de mitigación.

### La problemática en la cava San Nicolás

Desde el año 1965 y hasta 1978, el predio fue utilizado como yacimiento de tosca para la construcción y nivelación de la Ruta Provincial Número 4 (Bustos 2004). Antes de ser abandonada, la excavación llegó a tener una profundidad promedio

de 20 m (Rubel y de Rosa 1992), suspendiéndose la extracción por las permanentes inundaciones que se producían, tanto por acumulación de aguas subterráneas como pluviales.

Para ese entonces los habitantes de la zona comenzaron a utilizar la cava inundada como "pileta de refresco" y "área de recreación" (sin ninguna habilitación ni reglamentación por parte de las autoridades del municipio), lo que trajo como saldo varias decenas de muertos ahogados (Bustos 2004).

La peligrosidad de la cava llevó a las autoridades municipales a aprobar el uso de la misma como sitio para el depósito de basura, tanto domiciliaria como industrial, apuntando al doble objetivo de rellenarla y también como una solución al problema de la falta de espacios cercanos para depositar basura. La decisión condujo a una solución parcial, consistente en el volcado de cientos de toneladas de residuos sólidos tanto urbanos, industriales y patológicos (hospitalarios), restos de demoliciones y otros no controlados, durante más de una década, proceso que ocasionó una degradación gradual y severa por contaminación del predio y de las áreas circundantes (Rubel y de Rosa 1992, Girardi 1992, Bustos 2004).

Por otra parte, durante los años en que la cava fue rellena, los desbordes periódicos del arroyo Las Piedras, colindante con la cava, la inundaban y colmataban el basural contribuyendo a empeorar su situación ambiental, sobre todo teniendo en cuenta que las aguas transportan contaminantes industriales y cloacales desde sitios ubicados aguas arriba (Girardi 1992).

En la década del 90, con el problema ya instalado, se realizaron varios estudios ambientales que evidenciaron la existencia de un proceso de contaminación de los acuíferos Pampeano y una latente contaminación al Puelche (Bustos 2004).

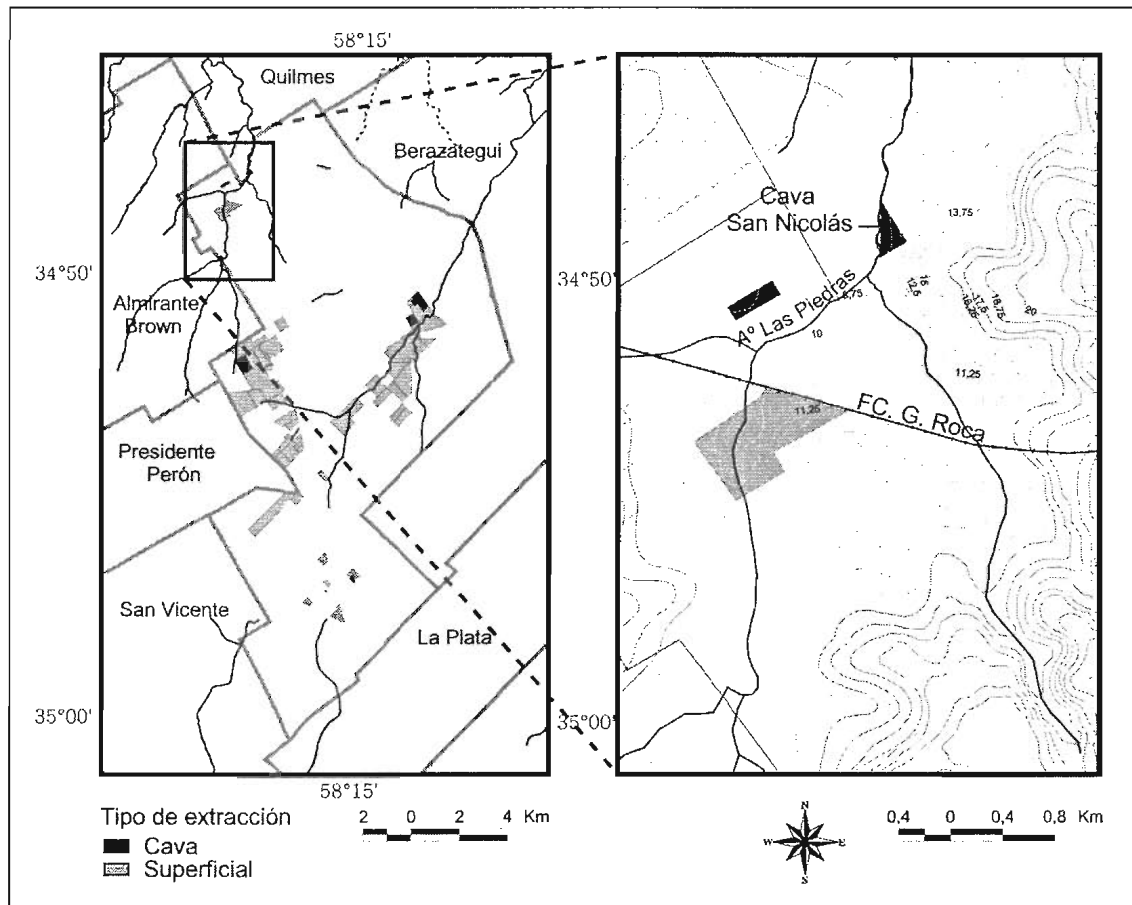
Los antecedentes mencionados ponen de manifiesto la preocupación de la población y de las autoridades por los riesgos que ocasiona la presencia del basural. Este trabajo apunta a brindar información integrada y complementaria para el adecuado diseño de tareas de recuperación y mitigación de la cava San Nicolás, así como alertar sobre criterios a considerar en futuras remediaciones de sitios similares.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El sitio de estudio, conocido como "Cava San Nicolás", se encuentra en el barrio homónimo, en la parte norte del partido de Florencio Varela (Provincia de Buenos Aires), a los 34°47'47"S y 58°18'00"W (Fig. 1). El predio, con un área de 5,6 ha, está ubicado sobre la margen derecha del arroyo Las Piedras que en ese sector corre en dirección SSO-NNE y constituye, a la altura de la cava, el límite con el partido de Quilmes.

El clima es húmedo o sub-húmedo con nula o pequeña deficiencia de agua. La temperatura media anual es de 16° C. Las lluvias promedian los 1029 mm anuales para el período 1961-1980. Del total de precipitaciones, 803 mm se pierden por evapotranspiración y el resto (226 mm, 21,9 %) escurre superficialmente o se infiltra (Girardi 1992).

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO (CAVA SAN NICOLÁS) DENTRO DEL PARTIDO DE FLORENCIO VARELA.



### Contexto geológico

La cava fue excavada en los Sedimentos Pampeanos, constituidos por limos loessoides calcáreos, con intercalaciones de limos arenosos y que en su base son fuertemente arcillosos (Girardi 1992). Estos sedimentos afloran en superficie y sobre ellos se desarrollan los suelos de pradera que se encuentran en las divisorias y forman el sustrato de los valles sobre los que se depositaron los Sedimentos Postpampeanos. Las características mineralógicas y granulométricas los hacen particularmente aptos para ser utilizados en la construcción de carreteras.

La capacidad de infiltración de estos sedimentos varía con su composición granulométrica, siendo permeables en los sedimentos loésicos y presentando malas condiciones de infiltración donde se encuentran los niveles arcillosos.

Por debajo de los Sedimentos Pampeanos se encuentran las arenas de la Formación Puelches. Esta formación, predominantemente arenosa, es de origen fluvial y aloja al acuífero homónimo, que es el más importante de la provincia de Buenos Aires.

### Aguas superficiales

El arroyo Las Piedras forma parte de una subcuenca de 122,5 Km<sup>2</sup>, de la cuenca mayor del arroyo Santo Domingo. El caudal transportado por el arroyo Las Piedras, de régimen permanente, es de 0,37 m<sup>3</sup>/s según datos de 1977. El arroyo se origina principalmente en aguas residuales acumuladas en las hondonadas, debido a la baja permeabilidad del suelo producto del depósito de sedimentos finos (Girardi 1992). Su profundidad varía entre 0,80 y 1,00 m. Como producto de la baja

permeabilidad del lecho, no existe aparente relación en el sector de la cava, entre el curso superficial y los acuíferos subyacentes (Girardi 1992).

### Aguas subterráneas

El acuífero Puelche es el de mayor productividad de la región y contiene aguas de buena calidad. Por encima del mismo se encuentra el Epipelche, ubicado en los sedimentos pampeanos y postpampeanos; y por debajo el Hipopuelche, en las series Paraniense y Preparaniense. El Epipelche incluye la napa freática y el acuífero Pampeano, con techos a profundidades de entre 8 y 9 m para la primera y entre 18 y 24 m para el segundo (Girardi 1992).

La dirección de escurrimiento del Puelche es normal al Río de la Plata, que es la zona de descarga. Este acuífero subterráneo se extiende entre los 30 y 54 m de profundidad y su dirección de escurrimiento es Sur-Norte, acompañando en general el de las aguas superficiales. La velocidad efectiva del flujo del acuífero es de 0,75 m/día. Para el nivel freático la velocidad efectiva del flujo es de 0,175 m/día (Girardi 1992).

Tomando la superficie de la cava más un 10 % como área de influencia, el volumen de agua que se infiltra y pasa a la zona saturada fue de 0,011 hm<sup>3</sup> / año (Girardi 1992).

Considerando la cota a la que se encuentra la superficie de la cava y la profundidad máxima alcanzada se puede afirmar que su base se encuentra por debajo de los niveles freáticos. Además, el arroyo no presenta conexión hidráulica con los acuíferos subyacentes. Otra característica importante es que los

niveles estáticos del acuífero freático se encuentran a menor profundidad que los piezométricos, lo cual produce un claro movimiento de flujo de tipo descendente.

### 3. METODOLOGÍA

Con el fin de conocer el estado ambiental actual de la zona de la cava San Nicolás, se realizó una recopilación de la información disponible en diferentes organismos públicos provinciales y municipales. Asimismo, se reunieron las bases de datos geográficas disponibles en el Atlas Ambiental de Buenos Aires (AABA) referidas a la topografía (curvas de nivel) y a la población (censos), así como también vías de comunicación, ferrocarriles, amanzanado y calles.

El tratamiento de los datos disponibles incluyó dos aspectos principales: el primero de ellos estuvo dirigido a la realización de un análisis geomorfológico de detalle y a la reconstrucción de las relaciones estratigráficas de los acuíferos. Con ese fin se elaboró un Modelo Digital de Elevación (MDE). El segundo, consistió en la generación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) vectorial, con el fin de compatibilizar información de muy diversa índole, que permitiera analizar las interacciones entre los diferentes aspectos naturales y antrópicos presentes.

#### Modelo digital de elevación (MDE)

Para generar un MDE se procedió a la digitalización de curvas de nivel a formato vectorial (.shp) a partir de una carta 1:50.000 (IGM). Luego se creó un MDE del tipo "grilla regular" (o matriz de altitud) usando un método de interpolación global, no lineal, denominado "non-linear rubber sheeting"; que utiliza un polinomio de quinto orden para ajustar una superficie a las cotas correspondientes a las curvas de nivel. Este procedimiento se realizó utilizando la función 3D surfacing de Erdas Imagine 8.4. Dada la escasa variación altitudinal observada en el terreno y en la carta topográfica utilizada (curvas de nivel), se usó un tamaño de píxel de 20 x 20 m, que representa un área apropiada ya que se asume que en esa superficie no habrá variación significativa en los parámetros del terreno modelados (Arvell 2002).

#### Procesamiento sobre el DEM: modelado topográfico

A partir del DEM se generó un *modelo de sombreado* y un *modelo de pendientes* usando un tamaño de ventana (Kernel size) de 5 píxeles. Para esto se usó la función "Topographic modeling" de ENVI 4.0. Tanto en el DEM como en el modelo de pendientes se realizó un fraccionamiento del histograma de píxeles para generar clases discretas (Lillesand y Kiefer 1994, Jordan et al.

2005). Luego estas clases generadas arbitrariamente fueron representadas en mapas.

Se calcularon los valores de los parámetros topográficos considerados en la parcela ocupada por la cava. Se expresan medidas estadísticas descriptivas, como máximos y mínimos, y el promedio y desvío estándar para la altura y en valor característico (moda) para la pendiente, dado que los valores de pendientes no se distribuyen normalmente (Young 1964).

Por último se generó un *mapa de unidades geomórficas*, elaborado a partir de la información del modelo de pendientes, a través del análisis de la distribución de las mismas, e identificando, con el apoyo del modelo de relieve sombreado, las zonas de quiebre de pendientes, que son las líneas que se pueden considerar límites entre unidades o subunidades geomórficas. La superposición de este mapa sobre el MDE y sobre el modelo de pendientes permite calcular los valores de altura y pendiente promedio y otros datos estadísticos, descriptivos de cada una de las unidades geomórficas identificadas.

#### Desarrollo del Sistema de Información Geográfica (SIG) vectorial

Para el desarrollo de mapas se utilizaron bases de datos e imágenes actuales e históricas, de acuerdo las etapas siguientes:

- 1 Búsqueda de información general del sitio en fotografías aéreas e imágenes satelitales.
- 2 Procesamiento de tres imágenes (digitalización, georreferenciación, construcción de mosaicos, etc.). En la tabla 1 se muestran características de las tres imágenes (fotografías aéreas e imágenes satelitales) con las que se realizó el análisis.
- 3 Clasificación visual de usos del suelo a partir de las imágenes. Se realizó una interpretación de las imágenes digitalizadas, comparándolas con bases de datos existentes provistos por el Centro de Investigación de Suelos y Agua de Uso Agropecuario (CISAUA).
- 4 Digitalización de los puntos de muestreo de estudios anteriores.
- 5 Análisis espacial de información integrando bases de datos del Atlas Ambiental de Buenos Aires (AABA): cursos de agua, profundidad de napas freáticas, redes de comunicación, etc.
- 6 Análisis temporal de cambios en el tipo de uso.
- 7 confección de mapas para los distintos años.

Los programas utilizados para el desarrollo del SIG fueron: Erdas Imagine 8.4, Adobe Photoshop 7.0, Arc View 3.3.

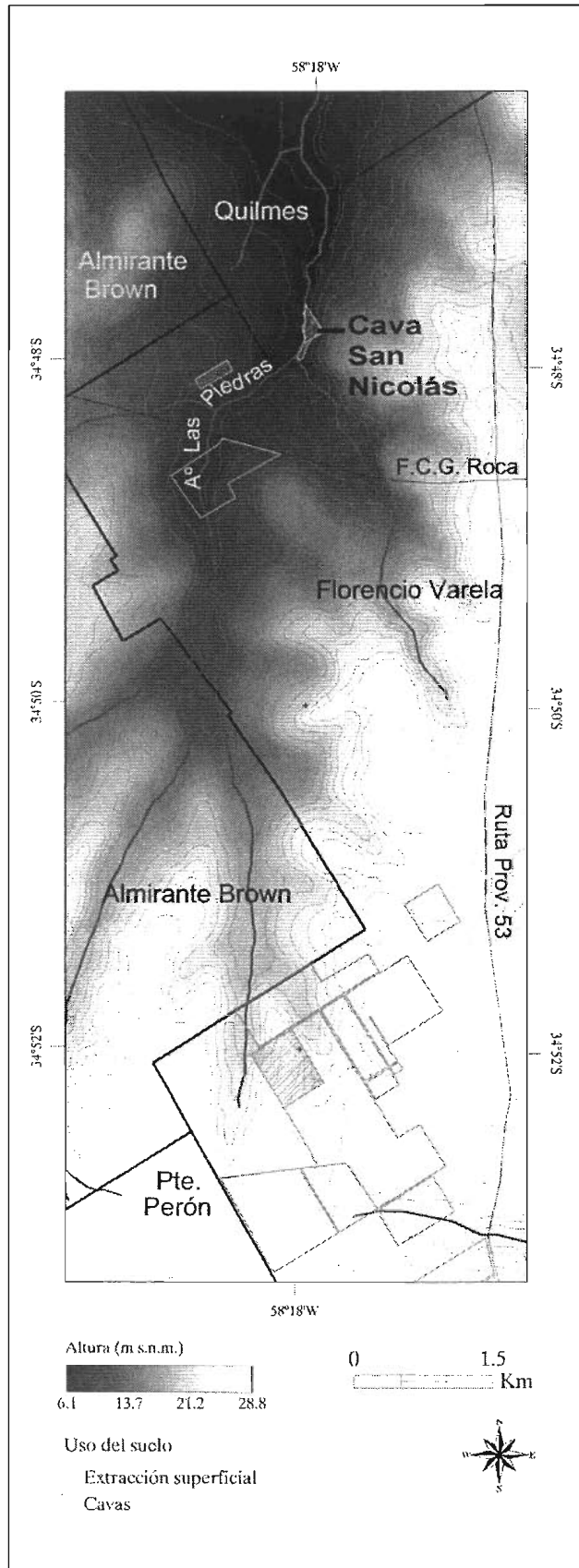
**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES USADAS PARA EL ANÁLISIS TEMPORAL DE LA SITUACIÓN DE LA CAVA SAN NICOLÁS, PARTIDO DE FLORENCIO VARELA**

Tipo de imagen	Fecha	Escala	Fuente	Tratamiento
Foto Aérea	1976	1:5000	IGM*	Digitalización y georreferenciación
Foto Aérea	10-09-96	1:5000	IGM*	Digitalización, mosaico de imágenes, georreferenciación
Imagen Satelital	2005	1:1500	Google Maps**	Captura de pantalla, mosaico de imágenes, georreferenciación

\* Instituto Geográfico Militar.

\*\* © 2006 Google - Imágenes 2006 © Digital Globe

**FIGURA 2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM, píxel = 20 m x 20 m).** Se muestra la distribución de alturas y la ubicación de la cava San Nicolás y de otros sitios de extracción minera en la zona norte del partido de Florencio Varela.



#### 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

##### Características topográficas y geomorfológicas

El modelo digital de elevación generado (Fig. 2) muestra la distribución de las alturas en las zonas aledañas a la cava San Nicolás. Estas varían entre los 6 y 29 m s.n.m., aproximadamente. En la misma se observa la distribución topográfica de los predios en donde hay o hubo extracción minera.

El modelo de relieve sombreado (Fig. 3) expresa de manera más clara el contexto topográfico en el que se encuentra el sitio de estudio, extendido hacia el sur, aguas arriba, en donde también puede observarse la presencia de una cava que se encuentra en un área menos urbanizada.

Las pendientes más comunes de la zona se encuentran entre 0 y 0,5° (pendiente  $\cong$  0,87 %) (Fig. 4), aunque se observa una importante superficie con valores de entre 0,5 y 1° (pendiente  $\cong$  1,75 %). Las superficies con pendientes mayores son escasas, encontrándose sólo algunos sitios puntuales cuyos valores con levemente superiores a 2° (pendiente  $\cong$  3,49 %).

El predio de la cava San Nicolás posee, según el DEM generado, una altura media de  $8,97 \pm 0,39$  m s.n.m. (desv. est.). Las alturas máxima y mínima en el modelo fueron de 9,98 y 8,66 m s.n.m., respectivamente.

El promedio de pendientes del área excavada es de 0,52° ( $\pm 0,41^\circ$ ) m (desv. est.), mientras que la máxima y mínima, son de 1,26 y 0,03° (2,20 y 0,05 %), respectivamente. El promedio relativamente elevado, en comparación con los valores regionales (menores a 0,50°), indica la presencia de píxeles con altos valores de pendiente, que corresponden al lateral de valle del arroyo Las Piedras. La orientación de las pendientes sobre el área excavada posee un acimut promedio de 265,11° (Oeste) con un desvío estándar de 39,38°.

El mapa de unidades geomórficas (Fig. 5) muestra la ubicación de interfluvios, laterales de valle y valles de inundación. Las alturas promedio ( $\pm$  desv. est.) de estas unidades fueron de 24,61 ( $\pm$  2,32) m s.n.m., 17,91 ( $\pm$  4,51) m s.n.m. y 12,65 ( $\pm$  4,24) m s.n.m., respectivamente. Por otra parte los valores promedio de pendientes son 0,22° para los valles de inundación, 0,17° para los interfluvios y 0,64° para los laterales de valles.

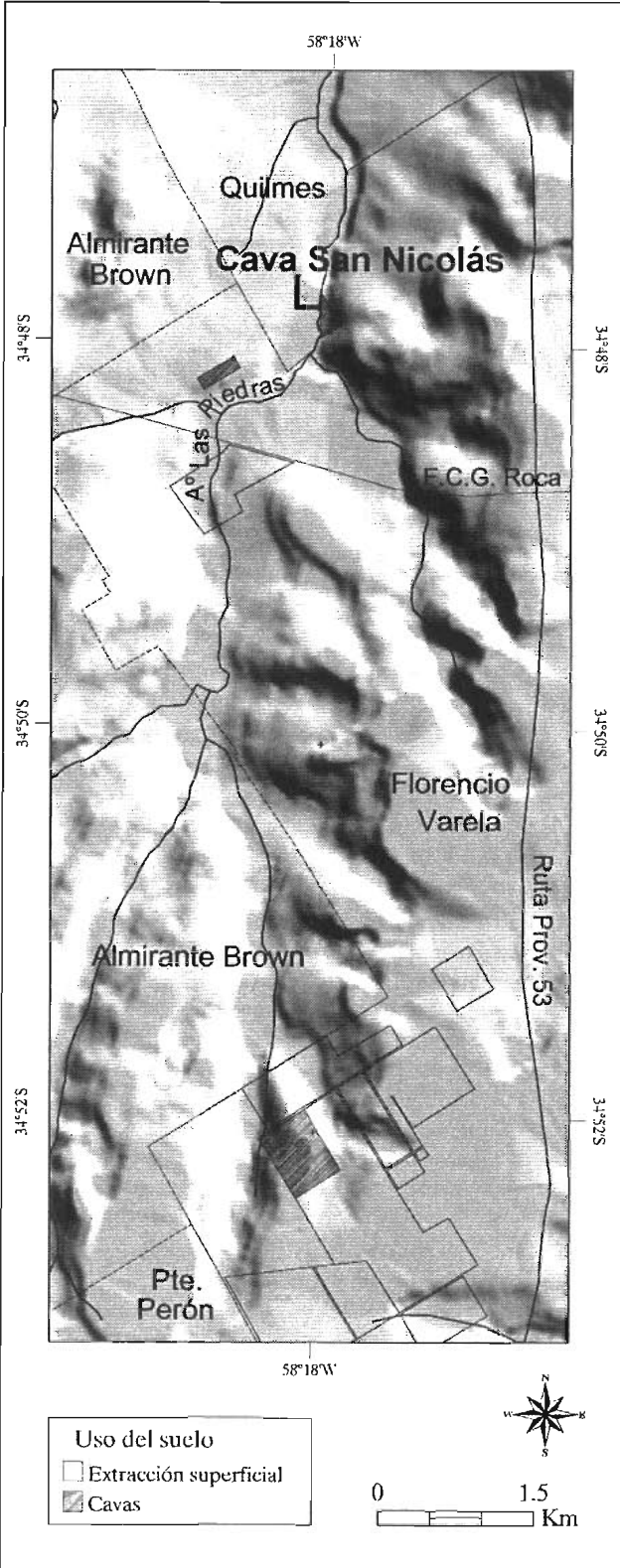
A la altura de la cava San Nicolás, el valle de inundación del arroyo Las Piedras es relativamente ancho y asimétrico (Figs. 3 y 5). Esto último se observa al comparar la superficie que ocupa el valle de inundación en las márgenes derecha e izquierda, siendo mayor para esta última. La forma del valle, así como la diferencia que se observa en los valores de pendientes entre ambas márgenes, sugiere que el curso fluvial fue migrando hacia el Este en un momento en que las condiciones climáticas eran más húmedas que las actuales y el río tenía mayor caudal. Las pendientes de la margen oriental indican una capacidad de erosión mucho mayor a la que tiene en la actualidad el arroyo.

Del análisis conjunto de los mapas generados, más los valores de pendiente calculados para el sitio específico que ocupa la cava, puede concluirse que la misma se encuentra ubicada sobre la unidad geomórfica que corresponde al lateral del valle del arroyo Las Piedras. Dicha ubicación aseguró un sencillo acceso a los Sedimentos Pampeanos que allí se explotaron.

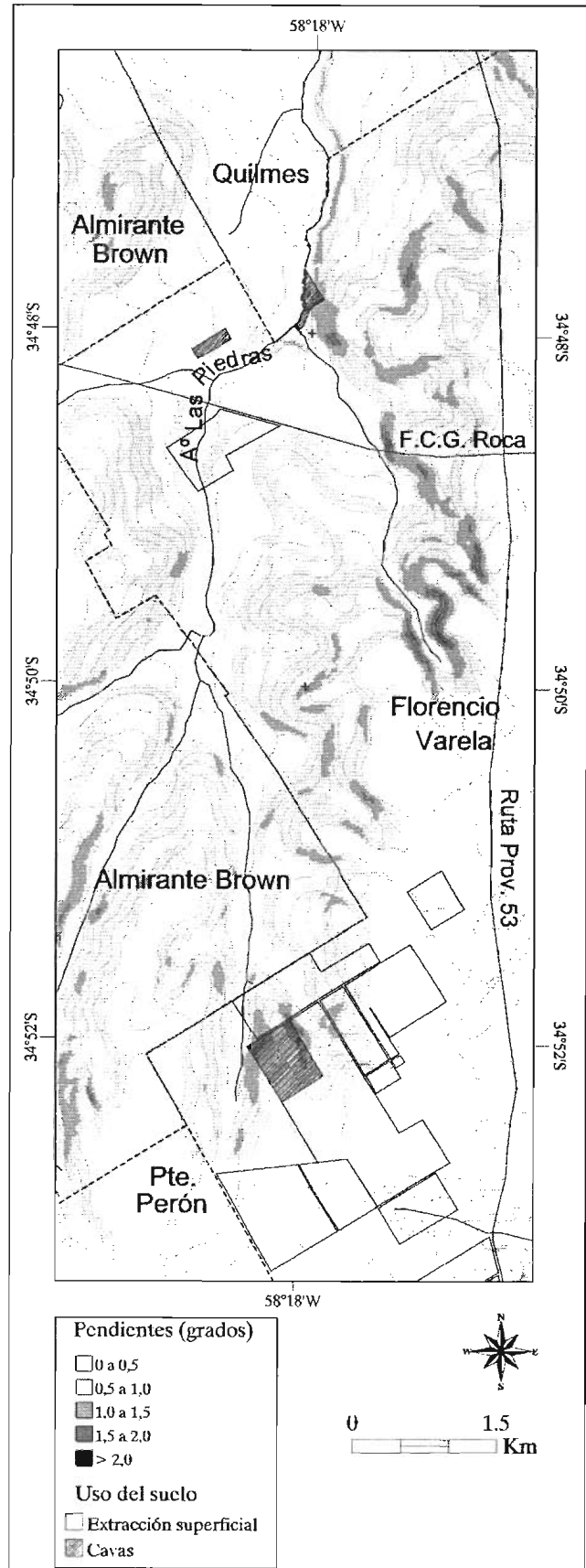
##### Características antrópicas del área

La mancha urbana del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) se ha expandido siguiendo grandes ejes de circulación tales como rutas, autopistas y ferrocarriles. En el proceso de

**FIGURA 3. MODELO DE RELIEVE SOMBREADO DE LAS ÁREAS ALEDAÑAS A LA CAVA SAN NICOLÁS** generado a partir del DEM (píxel: 20 m x 20 m, elevación del Sol: 45°, acimut: 45°, kernel size: 5x5 píxeles). Se observan los valles e interfluvios y los laterales de los valles de los cursos de agua. Se muestra también la ubicación de la cava San Nicolás y de otros sitios de extracción minera en la zona norte del partido de Florencio Varela.



**FIGURA 4. MODELO DE PENDIENTES** generado a partir del DEM (píxel: 20 m x 20 m, Kernel size: 5x5 píxeles). Se muestran las 5 clases de pendientes definidas y la ubicación de la cava San Nicolás y de otros sitios de extracción minera en la zona norte del partido de Florencio Varela.



crecimiento los nuevos asentamientos se fueron ubicando en las márgenes de las rutas y en los alrededores de las estaciones de trenes, que actuaron como pequeños núcleos de poblamiento.

En el partido de Florencio Varela la expansión se produjo a lo largo del eje de la Ruta Provincial 53 y del Ferrocarril Roca, con un foco principal en la estación Florencio Varela. La población en este partido tenía en 1960 una densidad de 202,50 hab./km<sup>2</sup>; 10 años después la densidad se incrementó notablemente alcanzando los 516,75 hab./km<sup>2</sup>. El partido continuó creciendo hasta llegar en 2001 a la densidad poblacional de 1 831,76 hab./km<sup>2</sup>. En la Tabla 2 se observa el cambio poblacional en Florencio Varela y Quilmes en los tres censos anteriores a las fechas de las imágenes analizadas.

En los alrededores de la cava San Nicolás, considerando un área circular de 5 Km de radio, la expansión urbana produjo cambios en el uso del suelo. En el período 1976-1996, se evidenció un aumento de la clase de uso "urbano alto" y una reducción del "urbano bajo" como consecuencia del aumento de la densidad (Fig. 6). También puede observarse una reducción de las áreas sin urbanizar. Las tierras utilizadas con fines agrícolas y ganaderos, así como las destinadas a otros usos no sufrieron grandes modificaciones. Entre 1996 y 2004 no se aprecian cambios significativos en la distribución de los tipos de uso del suelo.

Analizando las imágenes de los años de 1976, 1996 y 2004 se han verificado significativas diferencias en el loteo y en la densidad del amanzamiento (Figs. 7, 8 y 9, respectivamente). Dicha observación coincide con los datos censales. Por el año 1960 había unos 10 a 13 habitantes por manzana, mientras que en 1990 la densidad era de 50 a 120 personas por manzana (INDEC 1960, INDEC 1990).

El crecimiento poblacional no fue acompañado con el correspondiente a los servicios sanitarios para cubrir las necesidades básicas de la población, tales como las redes de agua potable, de cloacas y recolección de residuos domiciliarios. Hacia el año 1980 sólo el 3 % de la población tenía servicios de agua corriente (INDEC 1980), y ese porcentaje estaba ubicado próximo a la estación de ferrocarril de Florencio Varela. En la actualidad la población de la zona próxima a la cava-basural continúa abasteciéndose mayoritariamente de agua de pozo.

La transformación de la cava en basural a cielo abierto se realizó sin implementar mecanismo alguno de aislamiento para evitar la contaminación. Esto ha ocasionado un severo deterioro de los acuíferos y de los suelos en la zona de la cava, convertida así en un foco de alta peligrosidad para la población. Allí se depositaron residuos de cualquier origen y sin discriminación alguna, a lo largo de 28 años, en un volumen que alcanza las 240 000 m<sup>3</sup> según una estimación de la CONAMBA (Comisión Nacional Área Metropolitana de Buenos Aires 1995).

### Características de los contaminantes

Los contaminantes de residuos sólidos pueden ser retenidos por el suelo o bien pueden moverse y alcanzar las capas de agua subterránea, por algunos de los siguientes mecanismos (Girardi 1992):

- Porel movimiento vertical del agua de percolación que proviene de las precipitaciones, irrigación o de los mismos residuos.
- Por contacto directo horizontal de las aguas subterráneas que atraviesan los residuos sólidos depositados en la cava.
- Por transferencia de gases producidos por la descomposición de los residuos a través de difusión y convección.

Cuando los contaminantes alcanzan las capas, los procesos que controlan sus movimientos son complejos e involucran fenómenos físicos (como dispersión, filtración, etc.), químicos (absorción, reacciones redox, pares iónicos, radicales libres, etc.) y biológicos (degradación, síntesis celular, y otros).

La complejidad de estas interacciones pone de manifiesto que los datos aislados de los muestreos de aguas, no son suficientes para entender y operar sobre el sistema. Es necesario conocer la relación que existe entre los contaminantes identificados y los factores climáticos, las características hidrogeológicas y el perfil estratigráfico del terreno.

Durante el período de mayo a julio de 1991, Girardi (1992) reporta el muestreo de lixiviados en la Cava San Nicolás, Arroyo las Piedras y pozos domiciliarios de viviendas cercanas. El análisis de las muestras incluyó pruebas físico-químicas, bacteriológicas y determinación de mercurio, plomo, cromo, cadmio entre otros metales pesados. Los resultados de dicho análisis se muestran en la Tabla 3. Todos los resultados arrojados por los muestreos que se hicieron en la década del '90 fueron contrastados con la legislación vigente sobre la calidad de agua de bebida. (Decreto N° 831/1993, Anexo II, Tabla 1. Decreto 351/1979, Capítulo 6, Agua Potable, Art. 57 y 58)

El análisis de los resultados del muestreo de los lixiviados indicó que, a la fecha del estudio, la mayor parte de los metales pesados estaba alojado en los sedimentos y sólo una pequeña porción se encontraba en solución (Tabla 3). Si bien ese primer resultado puso de manifiesto que el movimiento de los contaminantes a través de los acuíferos era limitado, quedaba claro que cualquier cambio en las condiciones físico químicas (ya sea aportes de agua por precipitación, vuelco de ácidos, variación en la temperatura, y otras) podrían liberarlos, generando la contaminación de los acuíferos.

Los resultados del mencionado estudio también indicaron que la concentración de metales pesados en lixiviados aumenta con la profundidad, aconsejando realizar perforaciones de monitoreo para determinar cual sería la máxima profundidad que

TABLA 2. POBLACIÓN POR PARTIDO

Partido	Tipo	1970	1991	2001
Florencio Varela	Total Hab.	98 446	254 997	348 970
Densidad (Hab./Km <sup>2</sup> )	516,75	1 338,49	1 831,76	
Quilmes	Total Hab.	355 265	511 234	518 788
Densidad (Hab./Km <sup>2</sup> )	3 872,62	5 572,78	5 655,12	

Fuente: INDEC, censo nacional de personas de 1970, 1991 y 2001.

**TABLA 3. ANÁLISIS DEL LÍQUIDO PERCOLADO DEL LA CAVA SAN NICOLÁS.** (Período Mayo Julio de 1991) (Girardi 1992).

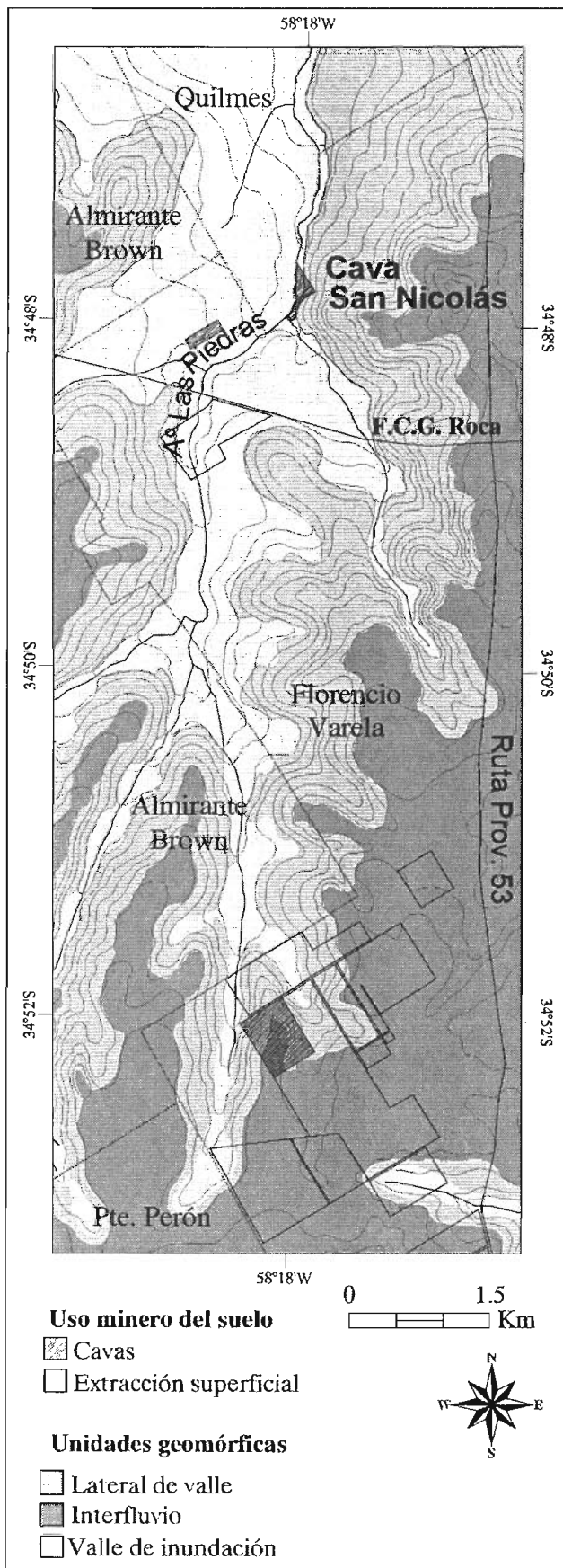
Fecha de muestreo			07/05	04/06	04/06	22/07	22/07
Profundidad en Metros			5	5	9	6	6
Ubicación (Ver Figura 9)			A	A	A	B	C
<b>Metales Pesados:</b>							
Mercurio	Soluble	(mg/l)	-	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Sedimento		(mg/Kg)	-	1,1	2,1	2,7	4
Cromo total	Soluble	(mg/l)	0,1	0,01	0,03	0,05	0,05
Sedimento		(mg/Kg)	25	44	114	87	255
Plomo	Soluble	(mg/l)	< 0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
Sedimento		(mg/Kg)	100	104	214	187	268
Cadmio	Soluble	(mg/l)	< 0,05	0,002	0,005	0,004	0,01
Sedimento		(mg/Kg)	1,7	0,9	2,2	4,4	1,6
<b>Análisis Bacteriológico:</b>							
Coliformes totales		por 100 ml	460 000	460 000	-	-	-
Coliformes Fecales		por 100 ml	3 600	2 300	-	-	-
Nivel Anaerobios		dilución hasta ausencia	5	6	-	-	-
Hongos	UFC/ml		450	550	-	-	-
<b>Parámetros Físico Químicos:</b>							
Ph			-	7,2	7	-	-
Alcalinidad total			-	1 005	940	-	-
alcalinidad en carbonato			-	0	0	-	-
Alcalinidad en Bicarbonato			-	1 225	1 047	-	-
Arsénico			-	0,01	0,01	-	-
Calcio			-	88	96	-	-
Cloruro			-	209	177	-	-
Dureza total			-	325	260	-	-
Magnesio			-	26	5	-	-
Nitrato			-	5	8	-	-
Nitrito			-	0,04	0,04	-	-
Residuo Conductímetro			-	11 150	43 427	-	-
Sodio			-	123	110	-	-
Sulfato			-	34	38	-	-
Vanadio			-	Vestigio	vestigio	-	-

pueden alcanzar los contaminantes. Además, quedó claro que el contenido de metales pesados en la cava ya era lo suficientemente peligroso como para no considerarla un factor de riesgo para la calidad de las aguas subterráneas y en consecuencia, para la salud de la población que se abastece de agua de pozo, siendo que los únicos pozos que presentaron trazas de plomo se encontraban en las proximidades de la cava y aguas debajo de la misma.

Con respecto a las concentraciones bacteriológicas del lixiviado, se observaron valores muy elevados (3 600 coliformes fecales en 100 ml), aunque se señaló la gran interferencia ocasionada por los pozos ciegos y la interacción entre el basural y el arroyo.

Con posterioridad a este estudio no hubo un monitoreo sistemático, sino algunos reconocimientos y estudios realizados irregularmente y bajo diferentes condiciones. Particularmente un informe del CEAMSE (*Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado*), en 1994, se refiere tanto al problema de contaminación del agua subterránea con metales pesados producida por los lixiviados, como al tema vinculado con la inestabilidad del material que compone al basural referido como "flotación de basura en la cava". Según este informe, existía un área de 30 x 60 m en la que la basura y su cobertura de tierra flotaban en el acuífero, haciendo que el sector fuese potencialmente peligroso. Para solucionar este último problema,

FIGURA 5. MAPA DE LAS UNIDADES GEOMÓRFICAS IDENTIFICADAS



propusieron el vertido de diversos materiales de demolición a fin de compactar la basura. Esta tarea fue finalmente llevada a cabo por la Municipalidad de Florencio Varela, durante los años posteriores a 1998 (*Ramón Carrillo Com. pers.*)

## 5. CONCLUSIONES

El Modelo Digital de Elevación y el análisis de pendientes, junto con el modelo de relieve sombreado permitieron distinguir tres unidades geomorfológicas en el área, todas ubicadas en la Planicie Pampeana que constituye una unidad de mayor jerarquía. Las unidades mencionadas son los interfluvios, los laterales de valle y la planicie de inundación del arroyo Las Piedras.

La cava San Nicolás se encuentra ubicada en los laterales de valle, donde afloran los Sedimentos Pampeanos. Este ha sido el material originalmente extraído, que fue utilizado en las construcciones viales. Los valores de orientación de las pendientes indican que la dirección de escurrimiento local del área es hacia el oeste (acimut promedio =  $266,20^\circ$ ), que difiere de la pendiente predominante regional, cuyo sentido es S-N.

Del análisis de la información surge que los estudios hidrogeológicos realizados, además de ser discontinuos, generalmente tampoco son comparables. Por ejemplo, entre los monitoreos de 1988 y de 1991, no hay correspondencia en los lugares de muestreo ni en las profundidades a las que fueron tomadas las muestras. Además, no se ha repetido el estudio de todos los compuestos que, por otra parte, fueron analizados con diferentes protocolos. No existen estudios epidemiológicos y se desconoce el efecto que los contaminantes detectados están causando sobre la salud de la población que allí habita.

La elaboración de grandes bases de datos con información proveniente de diferentes disciplinas, así como el desarrollo de un SIG, ha resultado la herramienta más efectiva para integrar y analizar la complejidad de las interacciones entre los aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, edafológicas y urbanos presentes en el área de la cava San Nicolás.

Cualquier proyecto para la remediación ó recuperación de la cava debería considerar los factores aquí mencionados.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue llevado a cabo en el marco del proyecto "Atlas Ambiental de Buenos Aires" en el ámbito del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), con el soporte financiero del Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCyT) y del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Queremos agradecer especialmente al personal de la Municipalidad de Florencio Varela que nos suministró copias de los informes de estudios y evaluaciones ambientales. Asimismo agradecemos al Dr. Martín Hurtado del Centro de Investigación de Suelos y Agua de Uso Agropecuario (CISAUA) de La Plata, por su valiosa colaboración.



FIGURA 6. VARIACIÓN EN EL USO DEL SUELO EN LAS INMEDIACIONES DE LA CAVA SAN NICOLÁS, considerando un área circular de 5 Km de radio alrededor de la misma

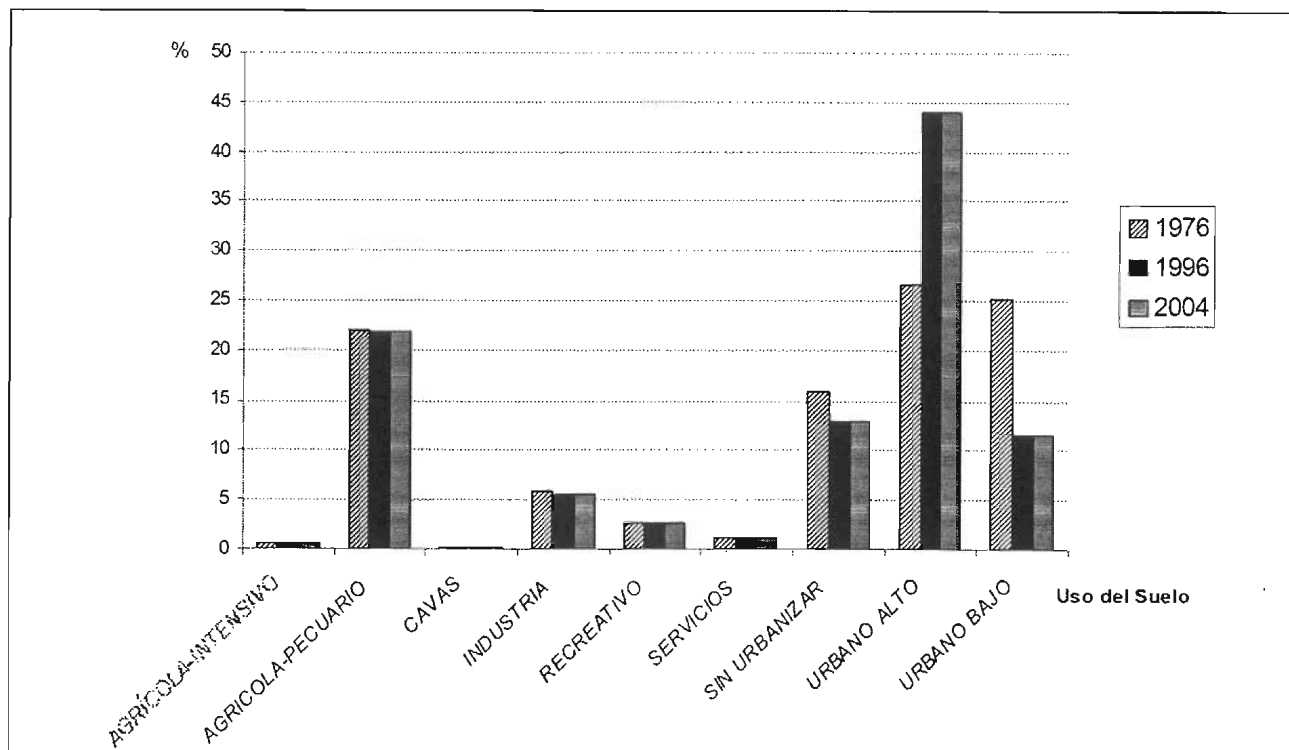


FIGURA 7. FOTOGRAFÍA AÉREA DE 1976

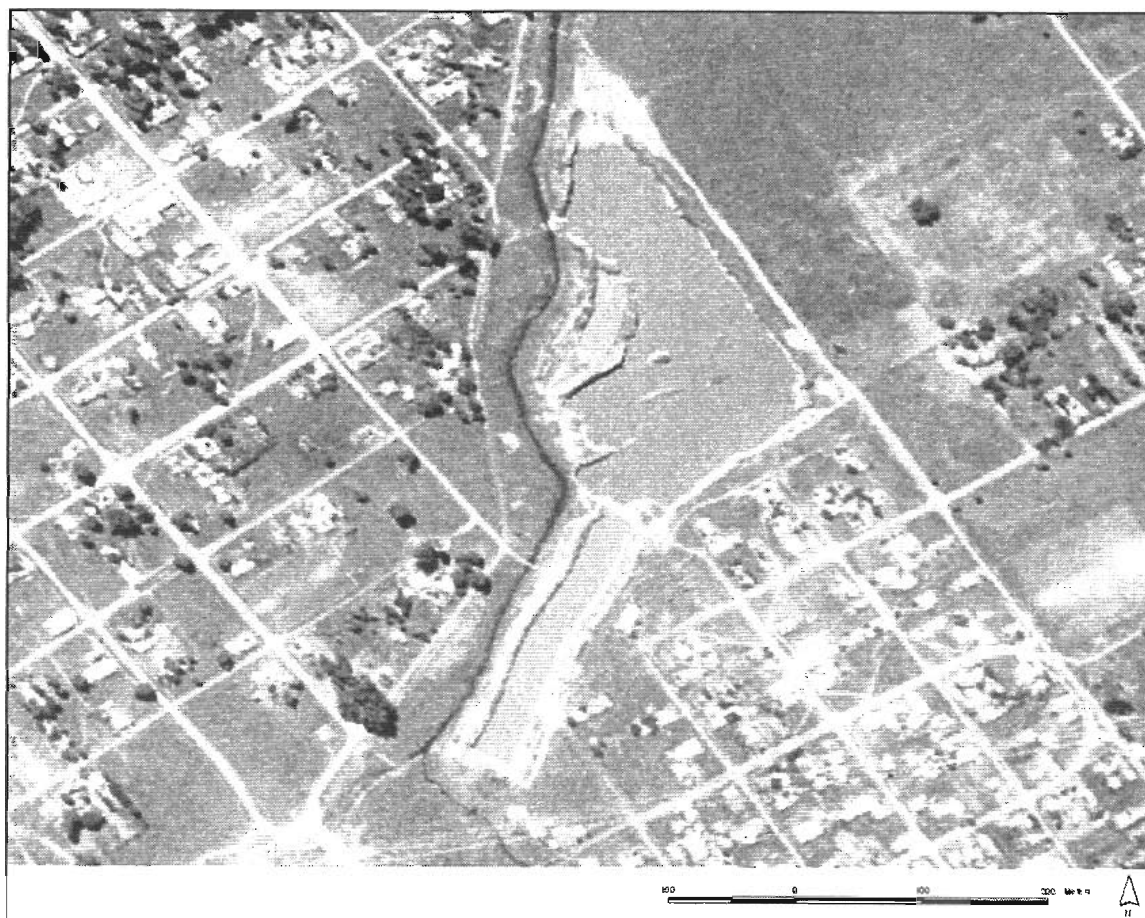


FIGURA 8. FOTOGRAFÍA AÉREA DE 1996



FIGURA 9. IMAGEN SATELITAL DE 2004



## 7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ARRELL, K.E., 2002.  
Geographical Information Systems (GIS): A useful tool for Geomorphologists?  
*Journal of the Durham University Geographical Society.*
- BUSTOS, E., 2004.  
Proyecto aislación de la Cava San Nicolás, Partido de Florencio Varela, Provincia de Buenos Aires.  
*Tecnología Vial Aplicada S.A. División Protección Ambiental. Municipalidad de Florencio Varela.*
- COMISIÓN NACIONAL AREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES, 1995.  
El Conurbano Bonaerense, Relevamiento y Análisis,  
*Buenos Aires, Ministerio del Interior, 2 tomos.*
- GIRARDI, C. E. 1992.  
Relevamiento geohidrológico para la determinación del grado de contaminación en la zona denominada "Cava San Nicolás y alrededores".  
*Subdirección de Hidrogeología y Suelos. AGOSBA. Dto. Estudio del Recurso.*
- JORDAN, G., MEIJNINGER, B.M.L., VAN HINSBERGEN, D.J.J., MEULENKAMP, J.E., VAN DIJK, P.M., 2005.  
Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece.  
*International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 7 (3), 163-182.*
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., 1994.  
Remote Sensing and Image Interpretation.  
*Wiley Co., 449 New York.*
- PEREYRA, F.X., 2004.  
Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol 59, Nº 3: 394-410.*
- RUBEL D Y DE ROSA, E. 1992.  
Impacto Ambiental de un Sistema "Arroyo Depósito de Residuos Sólidos" sobre los Acuíferos de Consumo Humano.  
*Municipalidad de Florencio Varela.*
- YOUNG, A. 1964.  
Slope profile analysis.  
*Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band 5. 17-27.*



## Caracterización geotécnica de roca intacta, en un macizo rocoso de composición granítica greisenizado

Vendramini, Nestor <sup>1</sup> - Bonalumi, Aldo - Szwedowicz, Natalia

### Resumen

*En el proceso de investigación de condiciones geomecánicas, las caracterizaciones de condiciones geotécnicas a nivel de roca intacta incluyen profundizaciones en el estudio de composición litológica, además de determinar aspectos físico mecánicos. En este marco se presentan los resultados de investigación, sobre un granito del área Achiras (Sierra de Comechingones, Provincia de Córdoba) con facies cuarzosieníticas, que presenta dos tipos de alteraciones; una deutérica que produce una profunda greisenización que afecta la roca con un proceso de sericitización importante aprovechando microfisuras singenéticas que dan paso a los fluidos para que la alteración se propague lo suficiente como para generar afectaciones mecánicas de la fábrica, y la meteórica, que, aunque no tan avanzada, aporta elementos perjudiciales al conjunto.*

*Se pretende, con la contribución, aportar al conocimiento de propiedades geológico ingenieriles de rocas del Complejo Granítico de Achiras, en el cual se están emplazando proyectos y obras de infraestructura relevantes.*

**Palabras Clave:** Rocas Graníticas, Condiciones de fábrica, Propiedades Geotecnicas.

### Abstract

*The results of a research focused on Rock Mechanics of granitic rocks of the Achiras area (Sierra de Comechingones, Córdoba Province) are presented. Characterization of geotechnical conditions for the intact rock, include lithological composition study as well as determination of rock mechanics aspects.*

*The granitics rocks exhibit two types of alterations, one of these, deuteric produces effect of greisenization, with important sericitization process, which making use of the syngenetic discontinuity, allowing the fluids in to spread enough the alteration to generate mechanical alterations in the cristaline fabrics. The other type, meteorics, even though is not so advanced, brings injurious elements in its entirety. The aims of this work is to contribute to the knowledge of the engineering geology properties of the granitics rocks of the Achiras area, were relevant projects are been developed.*

**Keywords:** Granitics Rocks, Fabrics Conditions, Geotechnical Properties.

### 1. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el departamento Río Cuarto (Provincia de Córdoba) en cercanía de la localidad de Achiras. Se accede a la misma a través de la ruta nacional N° 36 dirigiéndose hasta la ciudad de Río Cuarto para luego continuar hacia el Oeste por la ruta provincial N° 30. (Fig. 1)

Entregado: 15 de Noviembre de 2006 ■ Aceptado: 15 de Junio de 2006

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Córdoba, Escuela de Geología,  
Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 1611,  
5016 Córdoba;

Dirección electrónica: nvendram@efn.uncor.edu

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

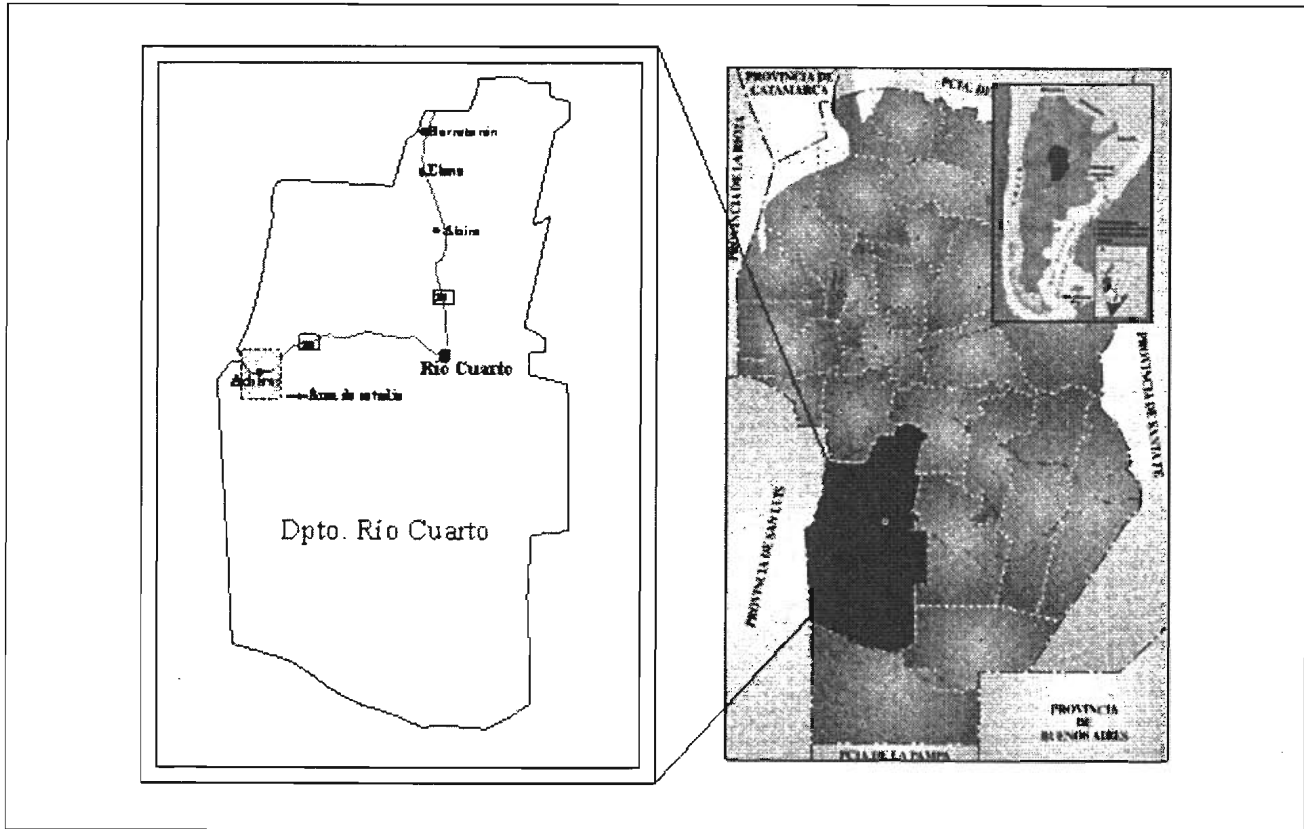
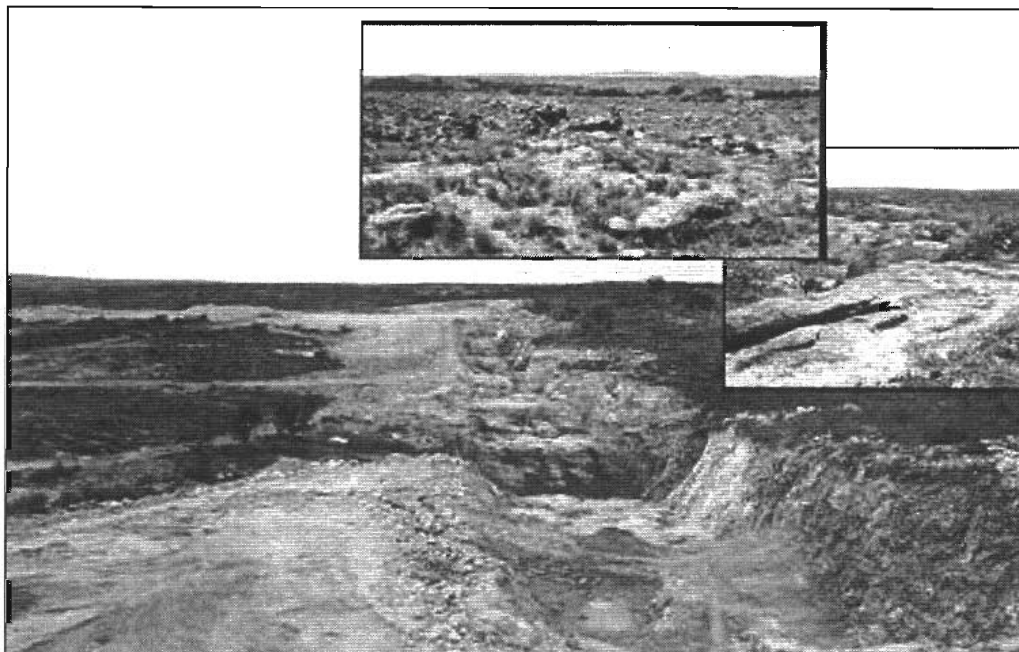


FIGURA 2. AFLORAMIENTOS DEL SECTOR - EXCAVACIONES EN LA CIMENTACION DEL PRESA ACHIRAS (EN CONSTRUCCION)



Este trabajo se centra en el estudio del plutón Los Nogales, el cual forma parte del extremo sur de las Sierras de Comechingones (Sierras Pampeanas), entre las coordenadas 33° y 33° 30' Latitud Sur y entre 64° 50' y 65° 10' Longitud Oeste.

## 2. CARACTERÍSTICAS PETROGENÉTICAS

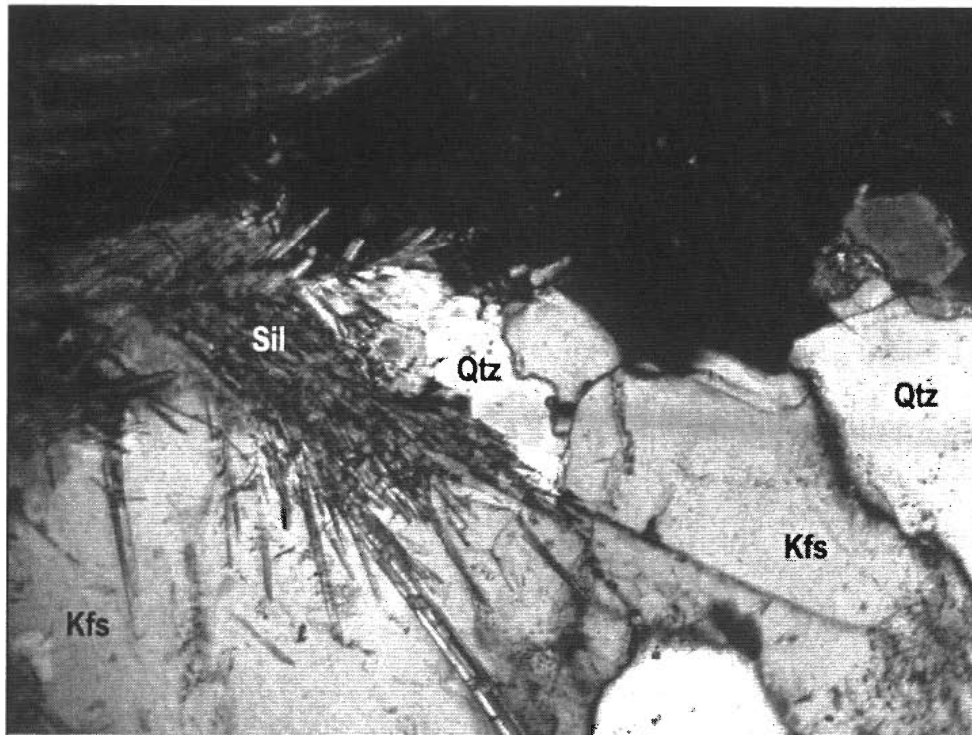
La unidad litológica investigada forma parte del extremo sur de la Sierra de Comechingones en cercanía de la localidad de Achiras, Este plutón de características peraluminosa está formado, en su mayor parte, por un monzogranito biotítico, de grano medio a grueso y textura inequigranular. Presenta fracturas que siguen preferentemente los planos de orientación de las biotitas y posee buena coherencia. Microscópicamente presenta una textura holocristalina, inequigranular e hipidiomórfica y posee fenocristales de plagioclasa distribuidos heterogéneamente. Los minerales principales son plagioclasa con desarrollo de textura mirmequítica, feldespato potásico en dos generaciones una

primaria ortósica y otra posterior microclínica, con presencia de textura peritítica en parches, además de cuarzo. Los minerales accesorios son biotita, muscovita en porcentajes bajos, granate y sillimanita, estos dos últimos evidenciando la peraluminosidad del magma que generó a esta roca granítica (Fig. 3).

Regionalmente, el plutón presenta facies cuarzo sieníticas de tendencia alcalina, donde se generan los procesos de alteración que debilitan la roca dados por profundos procesos de sericitización como los mostrados en la Fig. 4, y otras de composición parecida de leve tendencia alcalina.

Como se desprende de la descripción, los procesos de alteración son acentuados y hasta totales en algunos casos en estas facies de tendencia alcalina. Generalmente asociados a estos sectores, se encuentran los principales procesos de greisenización y alteración sericitica intensa (Figs. 3 y 4). Se determinaron los porcentajes de los minerales que conforman la roca, lo cual condiciona ciertas características geomecánicas de la roca intacta (Tabla 1).

**FIGURA 3. MONZOGRANITO PERALUMINOSO MUY BIEN CONSERVADO.** Se muestran los feldespatos no alterados, el hábito acicular de la sillimanita y la baja frecuencia de microfracturamiento



La razón de estos procesos alterantes se los atribuye a los fluidos hidrotermales derivados de las fases finales de la cristalización del magma que dio origen a la cuarzo sienita, enriquecidos en potasio y aluminio, lo cual ha generado zonas con alto contenido en microclino, principalmente en los sectores apicales del macizo. Microscópicamente la circulación de estos fluidos se evidencia por el relleno que poseen muchas de las microfisuras que presenta la roca.

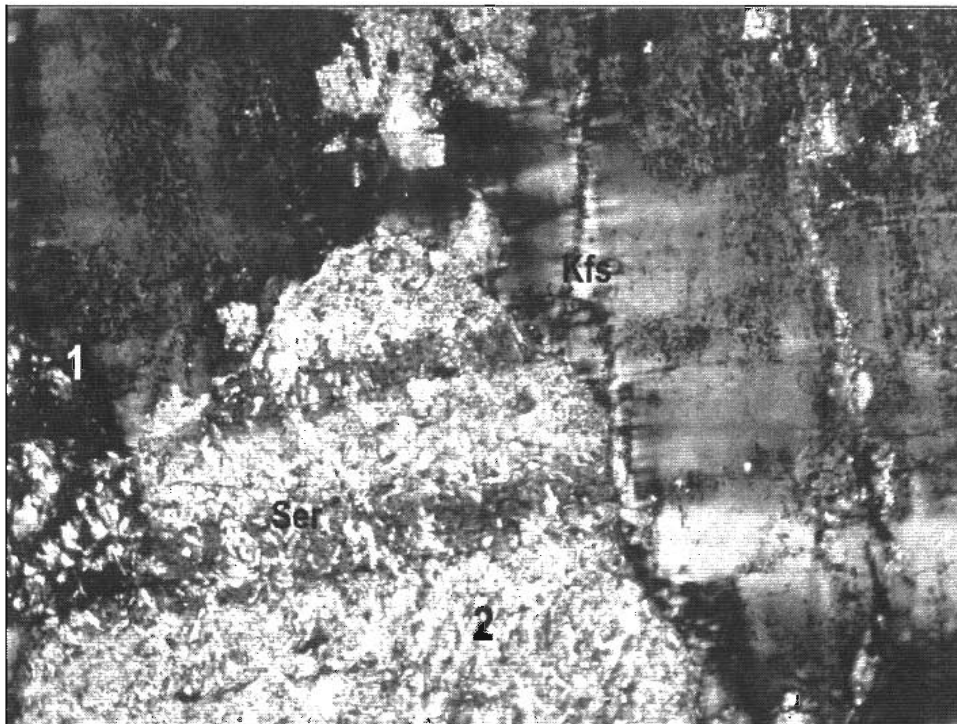
Posteriormente a la metasomatosis potásica (microclínica del granito) y asociado al mismo proceso, los fluidos magmáticos de tipo deutéricos hidrotermales generaron en el granito, alteraciones y mineralizaciones tipo greisen. Debido a este proceso los feldespatos de las rocas graníticas son alterados por fluidos hidrotermales formando un agregado fácilmente

desintegrable de muscovita, cuarzo, minerales fluorados y metálicos, a nivel macizo rocoso, volúmenes de roca afectados por esta alteración degradan condiciones geomecánicas del mismo.

Microscópicamente la roca correspondiente a los sectores greisenizados presenta un color blanquecino a verdoso claro, granulometría fina en su mayoría, aunque se destacan granos de cuarzo de mayor tamaño y de distribución heterogénea, este proceso afecta la coherencia de la fábrica mineral, siendo de condición media a baja.

Pese a lo expresado anteriormente, se pueden reconocer, cuarzo, sericitita, minerales arcillosos, óxidos de hierro tales como hematitas y limonitas. Microscópicamente, se observa una roca con textura holocristalina inequigranular, de grano fino en donde

**FIGURA 4. SERICITIZACIÓN Y FELDESPATIZACIÓN SECUNDARIA CASI TOTAL.** Se observa crecimiento de muscovita, debido a lo avanzado del proceso sericítico (cristal más grande de Ms) y microfisuras vacías en el feldespato primario afectado.



**TABLA 1. PORCENTAJES MODALES DE LAS DIFERENTES FACIES GRANÍTICAS Y DE ALTERACIÓN PRESENTES EN EL GRANITO LOS NOGALES**

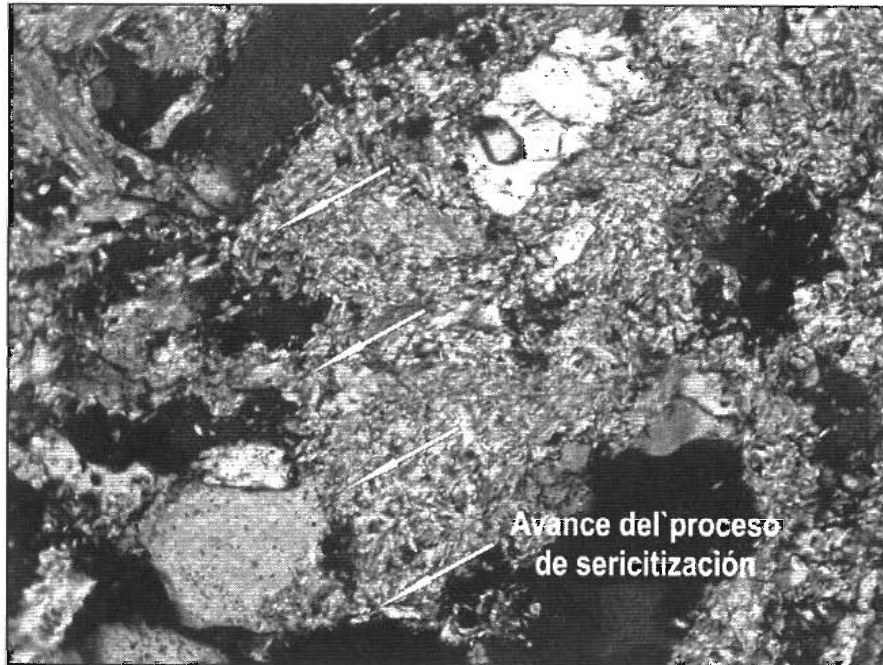
Mineral	P1	P3	P4	P5	PAC1	A1	A
	Sienogranito	Monzogranito	Cuarzo sienita	Monzogranito	Cuarzo sienita	Gto. Fel alcalino	Greisen
Cuarzo	21	21	14	34	17	29	61
Ortoclasa	14	22	13	24	28	43	-
Microclino	32	16	38	8	34	7	-
Plagioclasa	16	21	20	18	1,5	0,5	-
Biotita	6	8	0,5	4	6	4	-
Moscovita	0,5	-	0,5	2	1	1,5	1
Mirmequitas	0,5	1	0,5	1,5	1	1	-
Apatita	0,1	0,1	-	-	-	-	-
Rutilo	0,1	-	0,3	-	-	-	-
Circón	0,5	0,4	0,2	-	0,2	-	-
Opacos	0,5	0,5	0,5	-	0,3	-	1,5
Clorita	0,3	-	1	-	0,5	-	-
Oxido de hierro	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Sillimanita	-	-	-	0,5	-	1,5	-
Granate	-	-	-	0,5	-	-	-
Sericita	2	4	7	3	3	2	35
Caolín	6	5	4	4	7	10	1

se destacan algunos cuarzos de mayor tamaño, éste presenta una amplia distribución de granulometría más gruesa.

Los minerales que se reconocen son cuarzo y sericita, los que conforman casi la totalidad de la roca, escasas muscovitas y minerales arcillosos, se observan también opacos, que por su forma cúbica serían piritas. Se determinó el porcentaje de los minerales constituyentes (Tabla 1), de lo que hay que destacar que los opacos (minerales metálicos) y el cuarzo en los sectores

greisenizados se encuentran generando lineaciones que indican la movilidad de los fluidos hidrotermales, hay además microfisuras con relleno silíceo. Estas áreas se asocian en su proceso de formación a las pegmatitas originadas por las mismas rocas intrusitas primarias. En el final del proceso de su formación el greisen se halla asociado a los filones cuarzosos, estos filones se encuentran rodeados de roca muy alterada por los fluidos hidrotermales, evidenciado por un cambio mineralógico de color y textura, lo cual contribuye al debilitamiento de la roca (Figs. 5 y 6).

**FIGURA 5. SERICITIZACIÓN PARCIAL MUY AVANZADA** que muestra como el proceso de greisenización ha invadido la estructura de las rocas más alcalinas, haciéndole perder coherencia y estabilidad



**FIGURA 6. SERICITIZACIÓN Y FELDESPATIZACIÓN SECUNDARIA CASI TOTAL.** Se observa crecimiento de muscovita, debido a lo avanzado del proceso sericítico (cristal más grande de Ms) y microfisuras vacías en el feldespato primario afectado





La mineralización tipo greisen es acompañada por fajas de alteración hidrotermal (sericitización), la naturaleza de la alteración varía con la clase de roca, en este caso, el producto final de la alteración es una roca formada en su mayor parte por sericita y cuarzo, en donde los feldespatos, minerales ferromagnesianos y micas potásicas primarias se transforman en sericita.

La presencia de alteraciones hidrotermales en el macizo rocoso produce una disminución de la resistencia y rigidez ya que aumenta la permeabilidad favoreciendo la generación de subpresiones y reduce la resistencia. Además, a todos los procesos de origen magmáticos a este macizo rocoso se le suman los procesos de alteración meteórica.

Microscópicamente esta roca presenta un grado de alteración media a alta, determinado por la presencia de caolín y sericita alterando a los feldespatos, óxido férrico y cloritas, generados por la alteración de las biotitas.

En los sectores más greisenizados los minerales opacos están rodeados de óxido de hierro (hematita) producto de la alteración meteórica, siendo muchas de los opacos (piritas) reemplazados en su totalidad por hematita.

La roca presenta evidencia de eventos de deformación, dada por la extinción ondulosa de los cuarzos y el numeroso microfracturamiento de los cristales, a partir del cual comienza la alteración para luego continuar hacia el cristal, (Fig. 7) por efecto de la circulación de fluidos de origen magmático.

La principal observación petrogenética que impacta en los parámetros de la estabilidad del macizo rocoso está dada por las dos facies graníticas que se observan. Estas dos facies son diferentes desde el punto de vista mineralógico, ya que como se dijo, una de ellas tiene tendencia peraluminosa (monzogranito) y la otra una leve inclinación alcalina (cuarzo sienita). En este marco lo más importante está reflejado por el coeficiente de alteración meteórica que presentan ambas facies, mientras la facies granítica de tendencia peraluminosa muestra un efecto meteórico

normal en cuanto a sus alteraciones, éstas son abundantes a críticas en el granitoide de tendencia levemente alcalina.

Las propiedades físicas de la roca se ven disminuidas no sólo por las alteraciones de los cristales de la roca, la cual es fundamentalmente sericitica y caolinítica, sino también por la secuencia de microfisuras algunas vacías, de deformación postmagmática y otras rellenas de carbonato/sericita (Fig.8) y sílice (Fig.9) de características tardiosinemáticas. Todo este conjunto de discontinuidades debilitan el macizo rocoso en los sectores afectados.

Las características petromineralográficas descritas para el plutón son trasladables a cuerpos ígneos de similares particularidades, donde las investigaciones para determinar el modelo geológico del sitio detecten y precisen condiciones semejantes en el litotipo.

### 3. CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS

A fin de una caracterización preliminar de parámetros físicos - mecánicos a nivel roca intacta de las litologías antes descritas, sin incluir condiciones de límite inferior de muestras muy alteradas por las limitaciones que presentan al muestreo para obtención de probetas normalizadas, se realizaron las siguientes investigaciones, obteniéndose los resultados adjuntos:

#### Ensayo de absorción

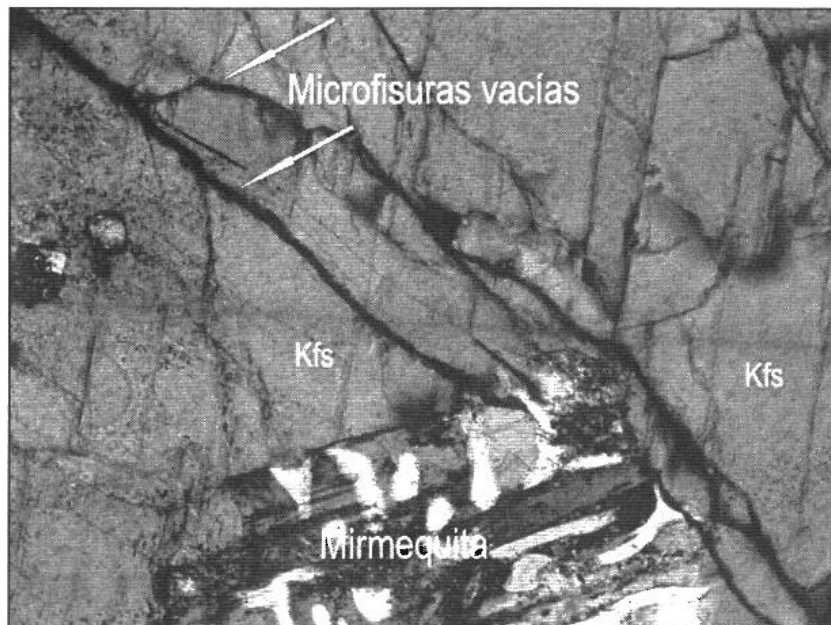
Determinación del porcentaje de absorción con período de saturación de 24 horas. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

#### Ensayo de carga puntual

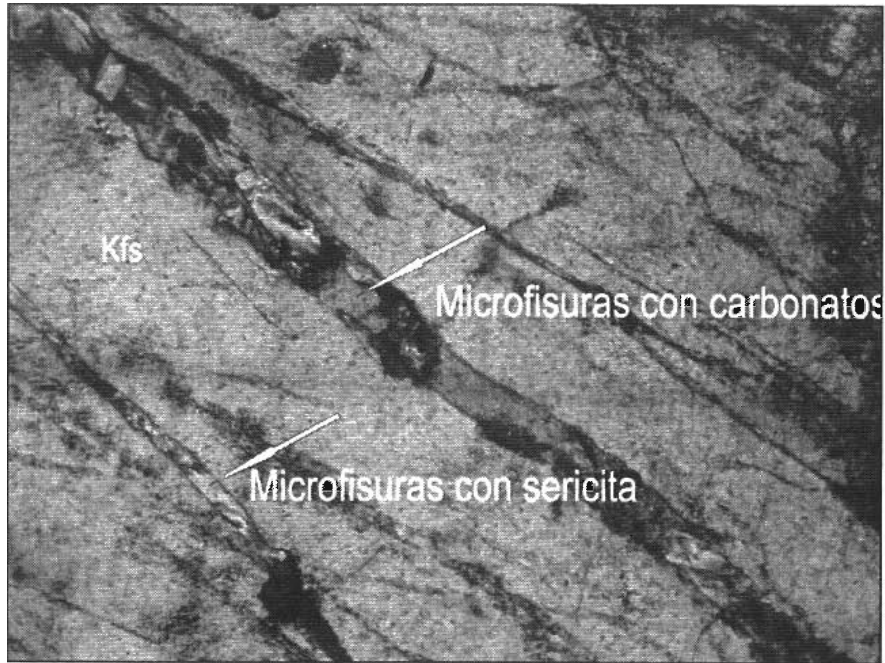
Se realizaron sobre testigos de perforación (NQ) e irregulares procesadas con herramientas de corte diamantadas según *ISRM 1985*. Los resultados del ensayo se muestran en las tablas 3 y 4.

### FIGURA 7. MICROFISURACIONES VACÍAS ASOCIADAS A MIRMEQUITAS EN CUARZO SIENITOIDES

Estas microfisuras son las que permiten el acceso de los fluidos hidrotermales que terminan invadiendo la roca y afectando sus propiedades físicas.



**FIGURA 8. MICROFISURACIONES RELLENAS CON CARBONATO DE CALCIO Y SERICITA EN FELDESPATOS CAOLINIZADOS QUE PRESENTAN LAS CUARZO SIENITAS.** Estas estructuras muestran los canales de acceso de los fluidos hidrotermales que alteran las rocas de esta composición



**FIGURA 9. MICROFISURACIONES RELLENAS CON MATERIAL SILÍCEO EN FELDESPATOS CAOLINIZADOS QUE PRESENTAN LAS CUARZO SIENITAS.** Estas estructuras muestran los canales de acceso de los fluidos hidrotermales que en este caso poseen composición silícea marcando un proceso de alteración de mayor temperatura y diferente al carbonático, denotando la presencia de más de un evento de alteración singenética.

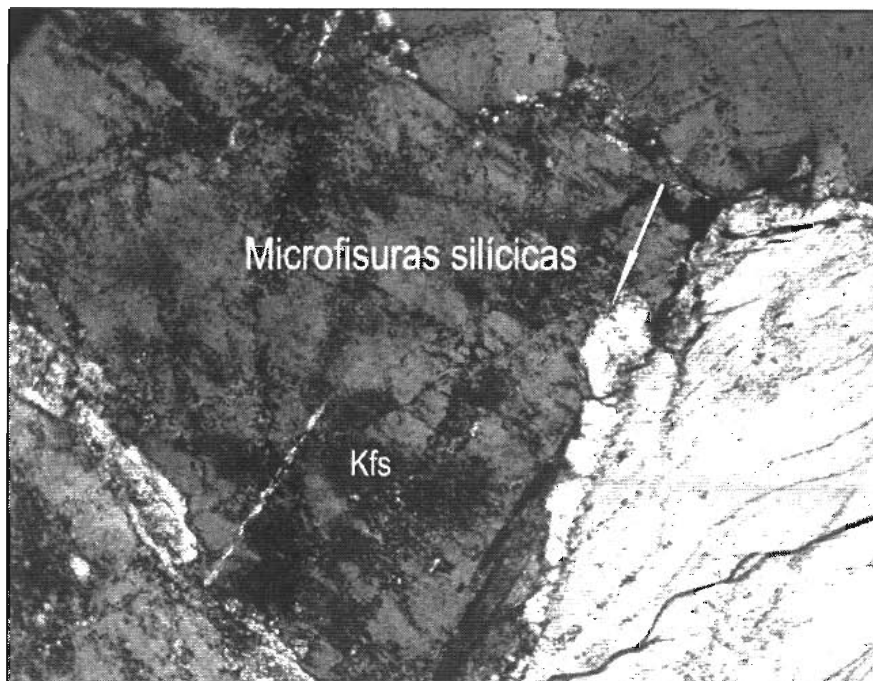


TABLA 2. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA EN LA ROCA GRANÍTICA

Muestra N°	Muestra	Prof. de la muestra (m)	Wt (g)	Wd (g)	Ww (g)	W %
1	PAMD2	1,00	316,6	314,7	1,9	0,60
2	PAMI1	8,00	322,6	319,2	3,4	1,06
3	PAC1	5,00	326,1	324,8	1,3	0,40
4	PAC1	11,30	319,7	317,5	2,2	0,69
5	PAMD2	1,60	322,0	320,2	1,8	0,56
6	PAMD2	4,50	318,4	316,9	1,5	0,47
7	PAC1	8,00	320,1	318,1	2,0	0,63
8	PAMD2	12,50	308,1	307,4	0,7	0,23
9	PAC1	1,80	328,9	327,8	1,1	0,33
10	PAMD2	13,00	328,8	327,9	0,9	0,27
11	PAMI2	14,50	322,8	321,5	1,3	0,40
12	PAMI1	10,20	316,1	314,1	2,0	0,64
13	P1	Superficie	201,8	200,6	1,2	0,60
14	P3	Superficie	284,2	282,8	1,4	0,49
15	P4	Superficie	260,6	259,9	0,7	0,27

Wt = Peso de la muestra después de 24 hs sumergida en agua

Wd = Peso seco de la muestra

Ww = Peso del agua

Valor mínimo de absorción: 0,23%

Valor máximo de absorción: 1,06%

Valor promedio de absorción: 0,51%

TABLA 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYO DE CARGA PUNTUAL REALIZADOS EN TESTIGOS DE PERFORACIÓN

Muestra N°	Muestra	Prof. de la muestra (m)	Carga de rotura*		D (cm)	D <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	Indice Is = F/D <sup>2</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión uniaxial 24*Is (Mpa)
			P (Kg/cm <sup>2</sup> )	F Kg				
1	PAMD2	1,00	37,5	360	4,7	22,09	16,30	39,11
2	PAMI1	8,00	27,0	260	4,7	22,09	11,77	28,25
3	PAC1	5,00	46,8	450	4,7	22,09	20,37	48,89
4	PAC1	11,30	65,6	630	4,7	22,09	28,52	68,45
5	PAMD2	1,60	95,0	875	4,7	22,09	39,61	95,06
6	PAMD2	4,50	150,0	1443	4,7	22,09	65,32	156,78
7	PAC1	8,00	42,7	410	4,7	22,09	18,56	44,55
8	PAMD2	12,50	185,0	1780	4,7	22,09	80,58	193,39
9	PAC1	1,80	59,3	570	4,7	22,09	25,80	61,93
10	PAMD2	13,00	185,0	1780	4,7	22,09	80,58	193,39
11	PAMI1	14,50	75,0	721	4,7	22,09	32,64	78,33
12	PAMI1	10,20	91,0	875	4,7	22,09	39,61	95,07

TABLA 4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL REALIZADOS EN MUESTRAS TOMADAS EN AFLORAMIENTOS.

Muestra N°	Muestra	W1 [cm]	W2 [cm]	D [cm]	W [cm]	Área de carga [cm <sup>2</sup> ]	Carga de rotura*		De <sup>2</sup>	Índice Is=F/De <sup>2</sup> Kg/cm <sup>2</sup> ]	Resistencia a la compresión uniaxial 24*Is [MPa]
							P [Kg/cm <sup>2</sup> ]	F [Kg]			
13	P1 (Sup.)	3,90	4,2	4,50	4,05	18,23	53,10	510,82	23,22	22,00	52,81
14	P3 (Sup.)	4,50	4,70	5,00	4,60	23,00	65,60	631,07	29,30	21,54	51,69
15	P4 (Sup.)	4,30	4,80	5,00	4,55	22,75	159,00	1529,58	28,98	52,78	126,67

W1: Base menor

W2: Base mayor

D: Distancia entre bases

W: Promedio de longitud entre bases

\* Los valores de fuerza se obtuvieron multiplicando los valores de presión por la sección del pistón externo del sistema de carga (9,62 cm<sup>2</sup>)

No teniendo en cuenta, resultados altos extremos no representativos del conjunto, se obtienen los siguientes valores medios:

Valor mínimo del índice de resistencia a la carga puntual: 11,77 Kg/cm<sup>2</sup>

Valor máximo del índice de resistencia a la carga puntual: 65,32 Kg/cm<sup>2</sup>

Valor medio del índice de carga puntual: 30,37 Kg/cm<sup>2</sup>

Con respecto a la resistencia a la compresión uniaxial se obtuvieron los siguientes valores:

Valor mínimo de resistencia a la compresión uniaxial: 28,25 Mpa

Valor máximo de resistencia a la compresión uniaxial: 156,78 Mpa

Valor promedio de resistencia a la compresión uniaxial: 72,89 Mpa

Existen determinadas características de la roca que influyen en los valores de resistencia como lo son el grado de microfracturamiento, la alteración de los cristales y también la granulometría de la roca ya que los valores mas elevados de resistencia, corresponden a sectores del granito con desarrollo de grano fino, siendo mas generalizada en el plutón la textura de grano medio a grueso.

#### Estudio de deformabilidad por compresión uniaxial

Para investigar este parámetro se realizaron ensayos de compresión uniaxial, sobre testigos de perforación diámetro NQ obtenidos en el área de emplazamiento de la Presa Achiras. Las probetas se instrumentaron en el tercio medio con strain – gauges.

Se adjunta un resultado tipo de deformación en probeta de monzogranito.

#### 4. ILUSTRACIÓN DE DISPOSITIVOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN E INSTRUMENTACIÓN CON STRAIN GAUGES DE PROBETA

FIGURA 10. DISPOSITIVO DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN

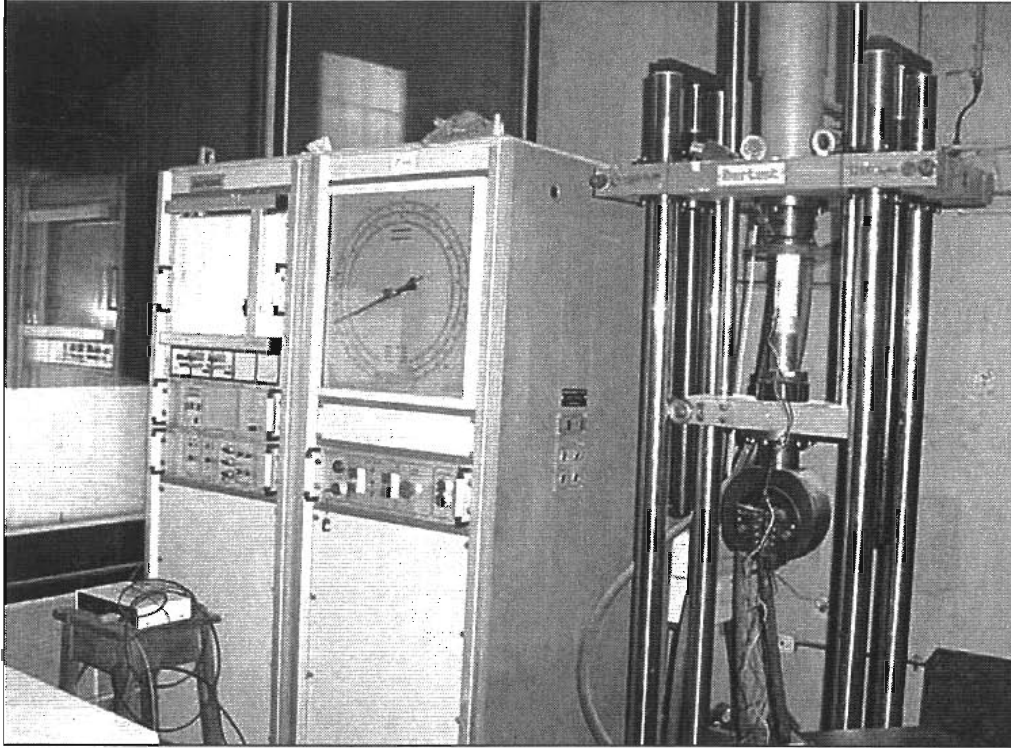


FIGURA 11. PROBETA INSTRUMENTADA CON STRAIN GAUGE

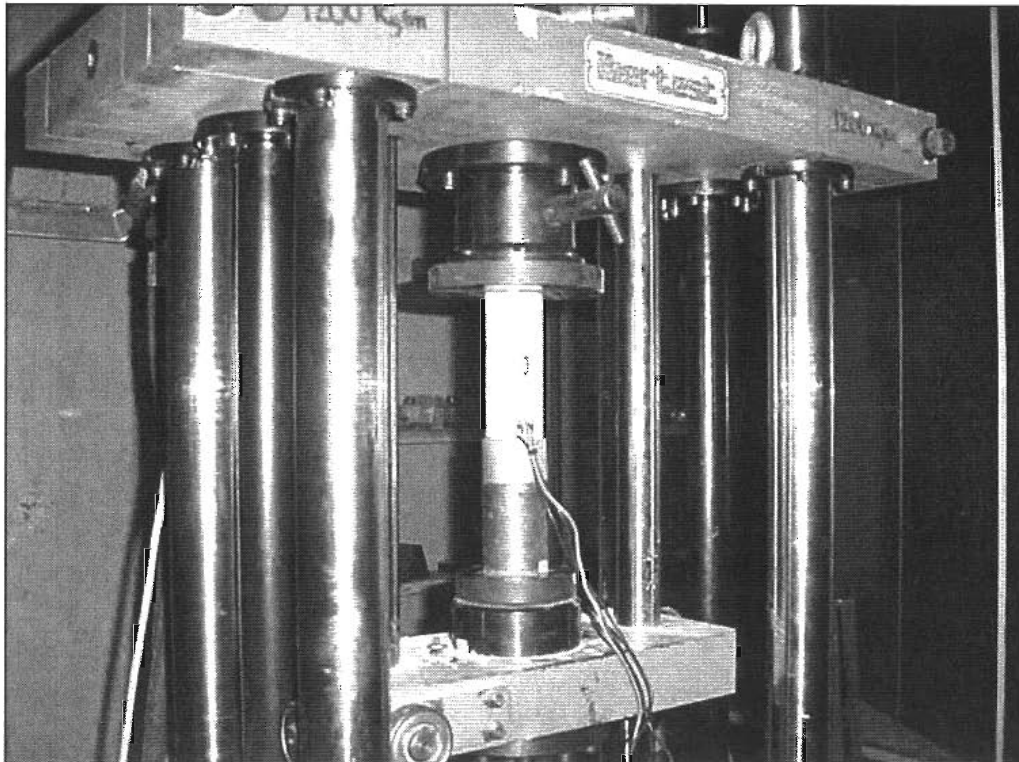


TABLA 4. RESULTADOS DE DEFORMABILIDAD EN MONZOGRANITO

COMPRESION UNIAXIAL CON MEDICION DE DEFORMACIONES								
PROYECTO: GRANITOS ACHIRAS								
DATOS PROBETA PARA ENSAYOS								
LITOLOGIA: MONZOGRANITO								
CONDICION: ROCA INTACTA								
	POZO		LARGO (cm)		11,80			
	PROF(m):	4,00	DIAM (cm) :		4,75			
	MUESTRA N: 8		SECC (m <sup>2</sup> ) :		0,0018			
			SIGMA 3(MPa) :					
	DATOS ESTAMPILLAS EXTENSOMETRICAS				L/D : 2,48			
	MARCA: HBM (FC:0.97)							
CELDA (UNID)	FUERZA (KN)	TENSION (DESV) (MPa)	DEFORMACIONES LONGIT.		DEFORMACIONES TRANSV.		DERFORMACIONES VOLUMETRICAS EV=EA+2ER	MODULO DEFORM (MPa)
			LECTURA	E[1 <sup>-6</sup> ]	LECTURA	E[1 <sup>-6</sup> ]		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
7,50	1,25		30,00	29,10				
15,00	2,51		50,00	48,50				
21,00	3,51		90,00	87,30				
30,00	5,01		130,00	126,10				
39,00	6,51		170,00	164,90				
48,00	8,02		220,00	213,40				
57,00	9,52		280,00	271,60				
67,00	11,19		310,00	300,70				
78,00	13,03		360,00	349,20				
90,00	15,03		410,00	397,70				
102,00	17,03		460,00	446,20				
126,00	21,04		510,00	494,70				
138,00	23,05		600,00	582,00				
150,00	25,05		640,00	620,80				
162,00	27,05		690,00	669,30				
174,00	29,06		730,00	708,10				
186,00	31,06		780,00	756,60				
198,00	33,07		820,00	795,40				
210,00	35,07		850,00	824,50				
216,00	36,07		900,00	873,00				
240,00	40,08		1010,00	979,70				
					<b>MODULO DE DEFORMACION PROMEDIO</b>			

## 5. CONCLUSIONES

Considerando que en el área de estudio no están disponibles publicaciones con enfoques geotécnicos de rocas, si en cambio en temáticas solo referidas a aspectos petrológicos y de petrogenésis, la contribución, pretende agregar nuevos aportes a otros ya presentados (en prensa) y en desarrollo, sobre propiedades geotécnicas de rocas graníticas y metamorfitas (en desarrollo) de la Sierra de Comechingones, a nivel roca intacta y macizo rocoso. Se incluyen en este caso junto a geoparámetros resistentes

y de deformabilidad a nivel roca intacta, de claro interés en proyectos de ingeniería, precisiones en las características de la fábrica cristalina, detallando aspectos petrográficos con implicancias geotécnicas, lo cual da bases comparativas para extrapolación de parámetros. Esto es de interés ya que en muchos casos en las primeras etapas de evaluación de sitios de proyecto no se dispone de estudios de mecánica de rocas, pero si de alguna información geológica y petrográfica de litotipos involucrados.

**6. TRABAJO CITADO EN EL TEXTO**

ISRM, 1985

Suggested Method for Determining Point Load Strength.

*Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech Abstr.*, Vol. 22, N° 2, pp. 51-60



# Evolución espacio-temporal del uso de la tierra a partir del procesamiento de imágenes SAC-C en la cuenca del arroyo del Azul

Buenos Aires. Argentina

Varni, M.R.<sup>1,2</sup> - Entraigas, I.<sup>1</sup> - Ares, G.<sup>2,3</sup>

## Resumen

Con el objeto de obtener la discriminación espacial de usos de la tierra a lo largo del año en una cuenca agrícola-ganadera de alta productividad en el centro de la provincia de Buenos Aires, se plantea la utilización de imágenes del satélite SAC-C. Estas imágenes se clasifican sin supervisión asignando luego a las clases obtenidas los usos reconocidos en el campo. Las zonas central y norte de la cuenca se destinan a pajonal, campo natural y pasturas degradadas para uso ganadero, en un área que constituye más de la mitad de la superficie total. Adicionalmente, también se destina un área importante de la zona sur a pasturas implantadas de buena calidad. En cuanto al uso agrícola, los cultivos preponderantes son la soja de primera, seguido por el trigo y los cereales de invierno y luego la soja de segunda. El maíz y el girasol son difíciles de discriminar entre sí y de otros usos, tales como las pasturas buenas.

**Palabras clave:** uso de la tierra, SAC-C, cuenca del Azul

## Abstract

With the intention of obtaining the spatial discrimination of soil uses throughout the year in a agricultural-cattle river basin of high productivity in the center of the Buenos Aires Province, the use of images of satellite SAC-C is considered. These images are classified without supervision and then assigning to the obtained classes the uses recognized in the field. Central and northern zones of the river basin are destined to natural tall grassland, natural field and degraded pastures for cattle use, in an area that constitutes more than a half of the total surface. Additionally, an important area of the south zone is destined to implanted pastures of high quality. The preponderant culture is the crop soybean, followed by the wheat and cereals of winter and then the soybean double crop. The maize and the sunflower are difficult to discriminate to each other and of other uses, such as the good pastures.

**Keywords:** land use, SAC-C, Azul basin

## 1. INTRODUCCIÓN

¿Es el cambio de uso de la tierra un indicador de presión, de estado o de respuesta? Los cambios de uso de la tierra son generalmente concientes, respuestas volitivas de los seres o sociedades humanas a los cambios en las condiciones biofísicas o de la sociedad. Es, por lo tanto, un indicador de respuesta el que refleja cómo y en que medida la sociedad responde a esos cambios o cómo se adapta a las condiciones

Entregado: 28 de Noviembre de 2006 ■ Aceptado: 15 de Mayo de 2007

1. Instituto de Hidrología de Llanuras.

2. C.C. 44 [B7300] Azul, Bs. As. Argentina  
Dirección electrónica: varni@faa.unicen.edu.ar

3. Becaria CIC



ambientales cambiantes. Esto no excluye la posibilidad de que algunos cambios de uso de la tierra puedan a su vez constituir una presión para los cambios en el estado del ambiente. Esto está implícito en la naturaleza de la compleja red de las causas incluyendo un cierto número de elementos de retroalimentación, o sea, la relación de la sociedad con su ambiente (FAO 2001). Los aspectos prácticos que pueden obtenerse a partir del conocimiento de la distribución areal y temporal del uso del terreno son innumerables; por ejemplo, para la supervisión global de aspectos tales como la previsión de producción, la cantidad de carbono que se emite y llega a la atmósfera (con efectos conocidos en el calentamiento global), etc. En nuestro caso, una de las aplicaciones inmediatas es la determinación de la variación a lo largo del año del escurrimiento potencial (riesgo de crecidas) frente a determinadas tormentas.

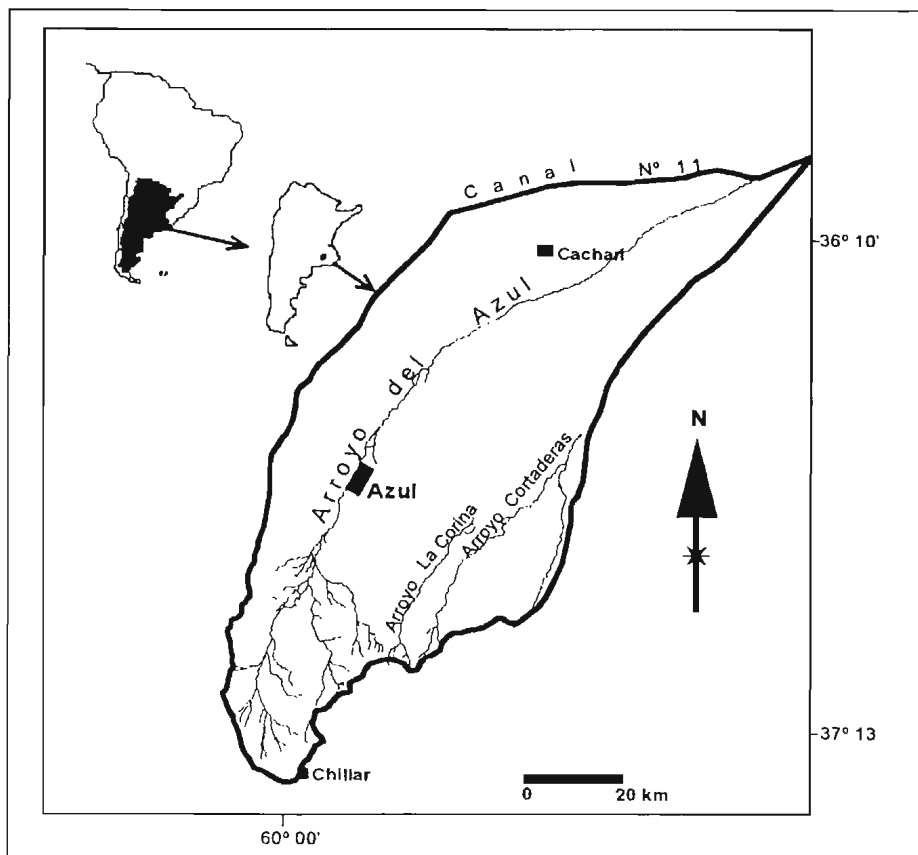
El área estudiada es la cuenca del arroyo del Azul (6 234 km<sup>2</sup>), ubicada en el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El arroyo del Azul nace en cercanías de la localidad de Chillar y desarrolla su curso hacia el norte, hasta perderse antes de alcanzar el río Salado, llevando por denominación en su tramo inferior arroyo Gualicho. El curso, unos 30 km luego de su ingreso al partido de Las Flores, es atravesado y desaguado en parte por el Canal 11. La cuenca consiste en una gran llanura (subcuenca inferior) y un área menor de serranías bajas en la zona sur (subcuenca superior) donde se ubican las cabeceras del arroyo del Azul (Fig. 1). El área superior está conectada a la llanura a través del piedemonte (subcuenca media). La pendiente media del terreno es del 5 % en la subcuenca superior y del 0,2 % para la inferior, mientras que varían entre 0,5 y 0,8 % en la zona media. El comportamiento global de la región es el de un ambiente de llanura (Sala et al. 1987).

Con respecto a la productividad de las tierras en la región, según el índice desarrollado por Riquier et al. (1970), con las modificaciones agroecológicas locales introducidas por el Instituto de Evaluación de Tierras del INTA y mediante la digitalización de las Cartas de Suelo llevada a cabo en el Instituto de Hidrología de Llanuras, la cuenca presenta 933 km<sup>2</sup> (15%) de tierras con aptitud agrícola de alta productividad, 914 km<sup>2</sup> (14%) de tierras con aptitud agrícola-ganadera, 542 km<sup>2</sup> (9%) de tierras con aptitud ganadero-agrícola, y 3 846 km<sup>2</sup> (62%) de tierras con aptitud ganadera. Esto configura una región que dada sus características agroecológicas plantea variadas posibilidades y alternativas productivas, pero con una marcada predominancia de aptitud para la ganadería extensiva.

La precipitación media anual en la ciudad de Azul, ubicada en el centro geográfico de la cuenca, es de 984,9 mm (Estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, período 1960-2003). La precipitación media mensual máxima, medida como lámina de agua, se registra en marzo con 136,9 mm, mientras que la mínima se produce en junio con 42,9 mm. La temperatura media es de 14,5 °C, con la máxima media mensual en enero con 21,4 °C y la mínima media mensual en julio con 7,7 °C (Estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, período 1966-2003). Según la clasificación climática de Thornthwaite, el clima de la región se clasifica como subhúmedo-húmedo, mesotermal, con poca o nula deficiencia de agua.

El objetivo del presente trabajo es identificar, mediante la utilización de imágenes satelitales, los diferentes usos de la tierra que se presentan en la cuenca del arroyo del Azul y determinar la dinámica anual de los mismos.

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA CUENCA EN ARGENTINA



## 2. METODOLOGÍA

Para obtener las áreas ocupadas por los distintos usos, se construyen mapas que se obtienen mediante clasificación de imágenes del satélite SAC-C. La elección de este satélite está basada en que se considera que posee una resolución espacial, temporal y espectral adecuada para este tipo de estudio. La resolución espacial se refiere a la capacidad del sensor en distinguir el objeto más pequeño posible en una imagen. Si se tiene en cuenta que, en este caso, se trabaja a una escala regional en la que predominan usos del suelo en lotes relativamente grandes, no es necesario trabajar con una escala espacial muy detallada. La resolución de las imágenes de la Misión MMRS es de 175 metros, con un ancho de barrido de 360 kilómetros por lo que la resolución del satélite SAC-C parece adecuada para la detección de las actividades agropecuarias ([www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar)). La resolución temporal se refiere a la periodicidad con la que se adquieren imágenes del área bajo análisis. En la zona de estudio la disponibilidad de imágenes se ha visto favorecida por el hecho de que, por un lado, el satélite seleccionado ha tenido períodos de revisita de 16 días y, a partir del 1 de agosto de 2005, lo tiene de 9 días; mientras que por otro lado la cuenca bajo estudio se encuentra cubierta por 2 paths (224 y 226). Debe considerarse que durante el período invernal existe alta probabilidad de encontrar la cuenca cubierta de nubes y, por lo tanto, se torna necesario analizar varias imágenes mensuales para asegurar que alguna de ellas coincida con un día despejado. La resolución espectral indica el número y ancho de bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este trabajo, las coberturas del suelo en la zona de estudio están asociadas fundamentalmente a usos agrícolas y ganaderos (cultivos, pasturas naturales e implantadas, rastrojos, suelo desnudo, montes, agua, etc.) y, en forma muy minoritaria en cuanto a la representatividad areal, a zonas con presencia de ciudades. Las bandas del visible, el infrarrojo cercano y medio, contenidas en la misión SAC-C parecen suficientes para discriminar las coberturas mencionadas.

Dada la variabilidad temporal de los usos del terreno, se ha considerado necesaria una caracterización de los mismos cada uno o dos meses dependiendo de:

- los cambios de uso en ese período y de
- la disponibilidad de imágenes de calidad. Las imágenes utilizadas son las que se detallan en la Tabla 1.

**TABLA 1. IMÁGENES UTILIZADAS PARA LA DEFINICIÓN DE USOS**

Path	Fecha
224	15 de abril de 2005
225	24 de mayo de 2005
225	11 de julio de 2005
226	17 de septiembre de 2005
226	14 de octubre de 2005
226	9 de diciembre de 2005
226	21 de enero de 2006
226	17 de febrero de 2006
224	18 de marzo de 2006

Para comenzar el análisis se realizó una definición inicial rectangular del área de interés y se llevó a cabo la corrección geométrica de las imágenes a partir de puntos de control, para finalmente superponer una máscara con los límites de la cuenca.

Luego de varias exploraciones previas se seleccionaron las bandas 4, 5 y 3 (infrarrojo cercano, medio y rojo, respectivamente), ya que con esta combinación se obtuvieron los mejores contrastes de los distintos usos del suelo en el área de estudio para las fechas analizadas. Cabe señalar que en los meses de primavera y verano fue necesario introducir el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) en dicha combinación, para lograr una discriminación más ajustada de las distintas coberturas.

Se llevó adelante una clasificación no supervisada de las imágenes, en la cual el espectro general se divide en clases que, por lo general, están vinculadas a distintos usos de la tierra (Navone y Gargantini 2003). Para verificarlo y para asignar a cada clase uno o varios usos, debe encontrarse la correspondencia entre esas clases obtenidas y las categorías de usos tal como nos interesa definir las (Chuvieco 2002). Esto se logra mediante un trabajo de campo en el que se reconocen los usos de la tierra para las fechas de cada imagen y con esta información de verdad de campo se asigna, por reclasificación, los usos del suelo a cada clase obtenida. La lógica con la que trabaja la clasificación no supervisada se conoce como análisis cluster o de grupos, de los cuales se han desarrollado cientos de métodos para una gran variedad de propósitos. Los algoritmos usados para la clasificación no supervisada de datos de sensores remotos generalmente varían de acuerdo a la eficiencia con la que se arman los grupos, teniendo en cuenta que diferentes criterios de eficiencia llevan a diferentes resultados (Haralick y Fu 1983). En este caso en particular, se utilizó la técnica máxima de histograma multidimensional, que es una variante de la llamada Pico del Histograma (Richards 1993). Teniendo en cuenta que una vez clasificados los datos, el analista a posteriori asigna esas clases espectrales a las clases de interés y dado que algunos clusters pueden resultar insignificativos en cuanto al número de píxeles involucrados al representar mezclas de clases de los materiales de la superficie terrestre (Jensen 1996), es que se desecharon aquellos clusters que describían menos del 10% de la imagen, para luego reasignarlos al cluster más similar de los retenidos.

Cabe señalar que en este análisis se emplearon directamente los números digitales de la imagen, ya que no se pretendió conceder un valor físico a los resultados, lo que implica presentar una valoración relativa. Esta metodología es avalada por numerosos autores (Chuvieco 2002).

## 3. RESULTADOS

En las Figs. 2 a 10 se muestran las distribuciones espaciales de los usos determinados mediante la metodología descrita anteriormente. En la Tabla 2 se exponen las áreas correspondientes a cada uno de esos usos. Cabe señalar aquí que para las categorías monte, roca, urbano, lagunas y bajos se utilizaron máscaras, ya que resultó muy dificultosa su discriminación a lo largo de todo el período analizado, por lo que se optó por superponer los polígonos correspondientes a cada uno de dichos usos que fueron digitalizados sobre imágenes de mayor resolución espacial (Landsat y Spot).

Dada la actividad agrícola-ganadera de la cuenca, se encontró una superficie promedio de 3 800 km<sup>2</sup> destinados al pastoreo de ganado correspondiente a pajonal, campo natural y pasturas degradadas. Obsérvese en las Figs. 2 a 10 que esta área es

TABLA 2. SUPERFICIE (KM<sup>2</sup>) DE DE LOS USOS DE SUELO DISCRIMINADOS EN CADA FECHA

Referencia	2005						2006		
	Abr.	May.	Jul.	Sep.	Oct.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
Pajonal	1 122,5	1 638,5	1 693,1	986,3	1 098,3	-	-	980,2	846,4
Campo Natural y Pasturas Degradadas	2 825,9	2 915,0	2 248,1	2 448,1	2 363,8	-	-	3 323,1	2 951,1
Pajonal, Campo Natural y Pasturas Degradadas	-	-	-	-	-	3 446,5	3 378,0	-	-
Rastrojo y Suelo Desnudo	326,0	827,3	543,2	306,2	520,2	-	-	-	-
Rastrojo y Cultivo Incipiente s/Rastrojo	-	-	-	-	-	467,5	813,9	489,5	345,6
Pastura y Campo Natural Verde	1 121,7	279,9	755,9	1 039,6	1 280,0	833,5	-	-	-
Pasturas, Trigo y Cereales de Invierno	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasturas buenas, Maíz y Girasol	-	-	-	-	-	-	1 357,6	293,7	852,0
Vegetación Seca	705,4	440,8	489,0	460,7	-	-	-	-	-
Suelos Desnudos y Cultivos Incipientes	-	-	372,2	429,4	295,9	763,1	9,4	-	-
Trigo y Cereales de Invierno	-	-	-	431,2	543,3	590,9	-	-	-
Soja 1°	-	-	-	-	-	-	542,6	724,8	855,8
Soja 2°	-	-	-	-	-	-	-	290,2	250,6
Monte	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3
Roca	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Urbano	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8
Lagunas y Bajos	45,7	45,7	45,7	45,7	45,7	45,7	45,7	45,7	45,7
Total	6 234,1	6 234,1	6 234,1	6 234,1	6 234,1	6 234,1	6 234,1	6 234,1	6 234,1

muy importante (es más de la mitad de la cuenca) y ocupa la zona central y norte de la cuenca. En los meses de verano el contraste con la cuenca alta es muy claro. Esta división está fuertemente condicionada por el tipo de suelos: en la cuenca alta predominan los argiúdoles, suelos con horizonte A profundo, rico en materia orgánica, buena saturación con bases y bien estructurados. Son aptos para la producción de amplia gama de cultivos como trigo, maíz y soja así como para pasturas polifíticas de alto valor forrajero (*Moscatelli y Puentes 2000*). Por otro lado, en la cuenca media y baja se encuentran natracuales y natracualfes, suelos desarrollados sobre áreas bajas y planas, que se encuentran estacionalmente saturados y asociados a una capa freática fluctuante cercana a la superficie. Presentan un horizonte nátrico, con sodio de intercambio elevado. Se usan para pasturas naturales y polifíticas adaptadas a las condiciones edáficas imperantes (*Moscatelli y Puentes 2000*). Hay un área adicional en cuenca alta con pasturas implantadas de buena calidad que alcanza un máximo cercano a los 1 000 km<sup>2</sup>.

En cuanto al uso agrícola, un promedio de 500 km<sup>2</sup> estuvieron ocupados por rastrojos durante el período de análisis. Los valores máximos se presentaron en los meses de mayo de

2005 (827 km<sup>2</sup>) posterior a la cosecha de cultivos de maíz y soja principalmente, mientras que en el mes de enero de 2006 se determinó una superficie de rastrojos de 814 km<sup>2</sup>, pertenecientes en su mayoría a cultivos de trigo. Cabe aclarar que parte de esta área se destina a los cultivos de soja de segunda. En diciembre, dicha área alcanza 467 km<sup>2</sup> destinada a los cultivos incipientes de maíz y principalmente soja bajo siembra directa, realizada durante los meses de octubre y noviembre. Los cultivos de trigo y los cereales de invierno (cebada) ocuparon un área cercana a los 550 km<sup>2</sup>. Por otro lado, se destinaron al cultivo de soja de primera más de 800 km<sup>2</sup>, mientras que al de soja de segunda unos 250 km<sup>2</sup>, o sea que esta última ocupa un tercio del área que se dedica a la de primera. En cuanto la superficie ocupada por el cultivo de maíz, no se pudo discriminar de aquella correspondiente a las pasturas en buen estado, por su comportamiento espectral similar.

Debe observarse que estos resultados concuerdan en general con las áreas ocupadas por las categorías agricultura y ganadería dadas por la bibliografía antecedente y mencionada en la Introducción.

Una forma muy probada de evaluar la clasificación es la consideración de los errores de omisión y de comisión resultantes de las matrices de confusión (Congalton y Mead 1983). Ambos tipos de errores expresan dos enfoques del mismo problema. Los errores de omisión se refieren a una diferenciación imperfecta de la categoría, esto es, pueden existir categorías diferentes sin claras diferencias entre ambas. Los errores de comisión se refieren a una delimitación excesivamente amplia de una categoría, lo que implica que puede incluir varias.

Al analizar la clasificación de las imágenes para proceder a evaluar la exactitud por clases resulta que: 1) en lo referente a los errores de omisión (casos donde los puntos de muestra de una categoría en particular fueron mapeados como algo diferente), se observa que los mayores errores se cometieron en la categoría "vegetación seca" para los meses de abril, mayo y julio confundiendo con campo natural, pasturas degradadas y rastrojo; también con la categoría "soja de segunda" para el mes de febrero cuando se la confunde con rastrojo, y para el mes de marzo cuando se la confunde con soja de primera; y por último con "pajonal" para los meses de febrero, marzo y septiembre cuando se la confunde con campo natural y pasturas degradadas.

FIGURA 2. MAPA DE USO PARA ABRIL DE 2005

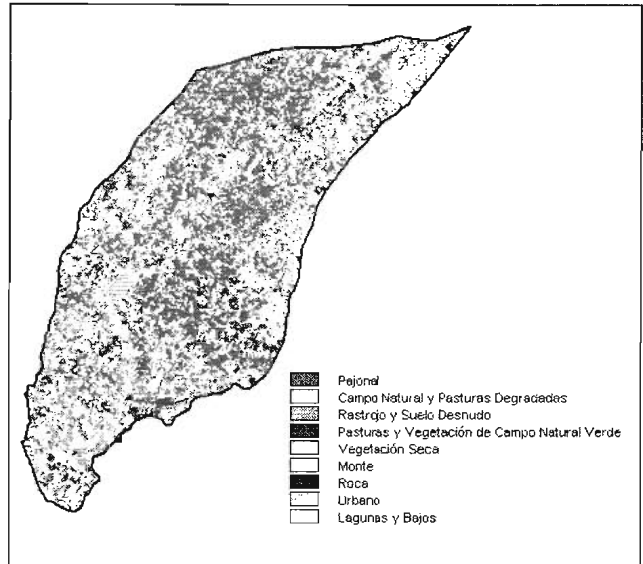


FIGURA 3. MAPA DE USO PARA MAYO DE 2005

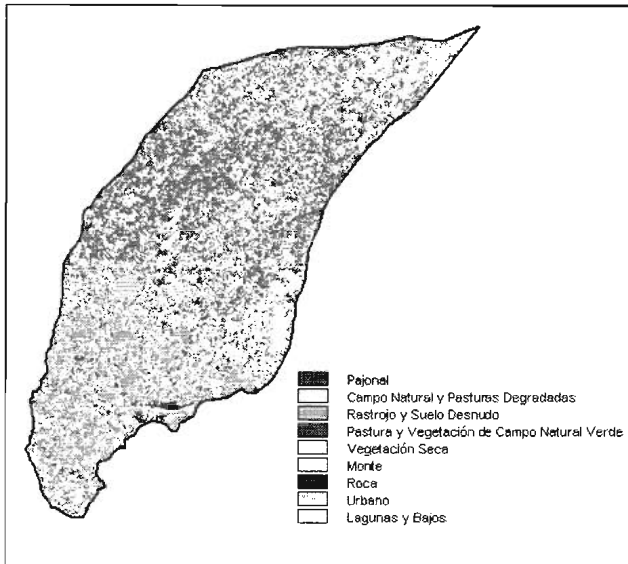


FIGURA 4. MAPA DE USO PARA JULIO DE 2005

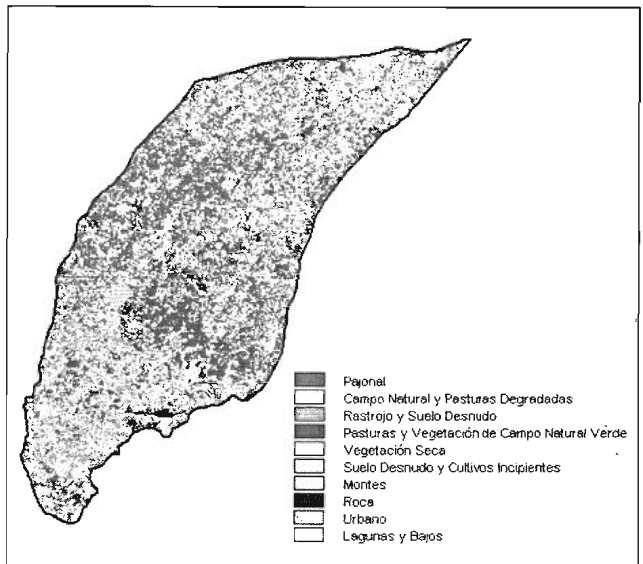


FIGURA 5. MAPA DE USO PARA SEPTIEMBRE DE 2005

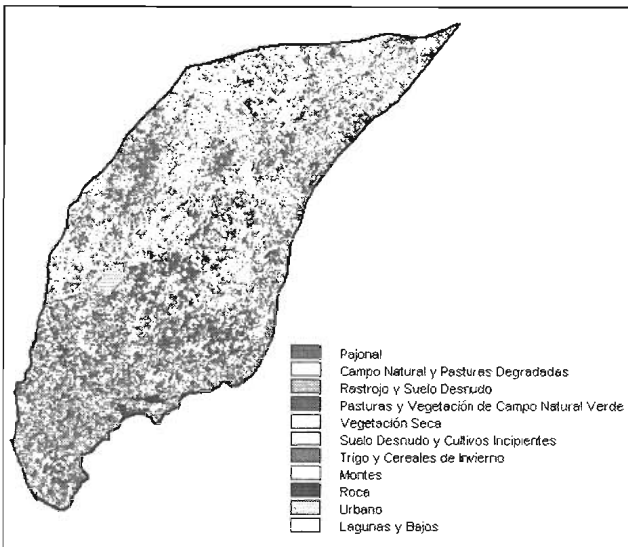


FIGURA 6. MAPA DE USO PARA OCTUBRE DE 2005

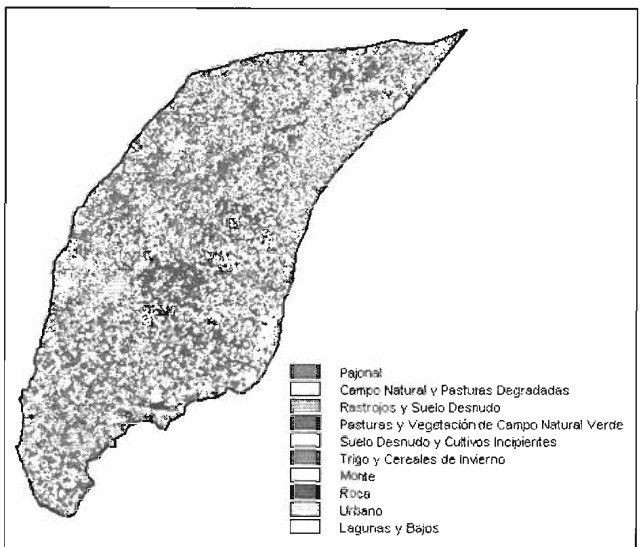


FIGURA 7. MAPA DE USO PARA DICIEMBRE DE 2005

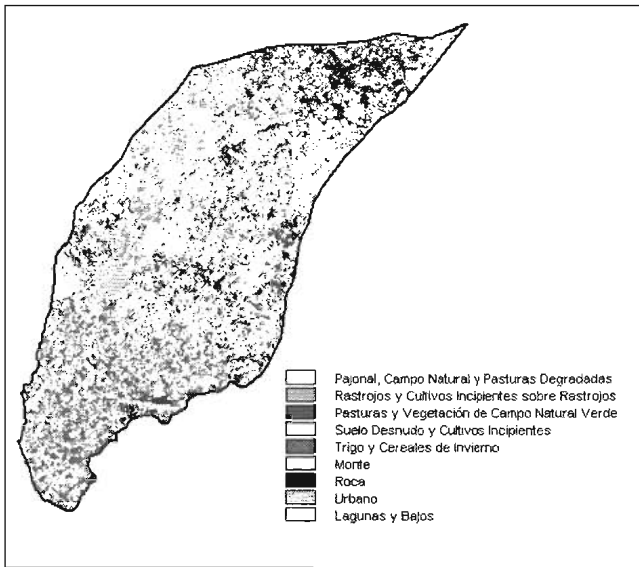


FIGURA 8. MAPA DE USO PARA ENERO DE 2006

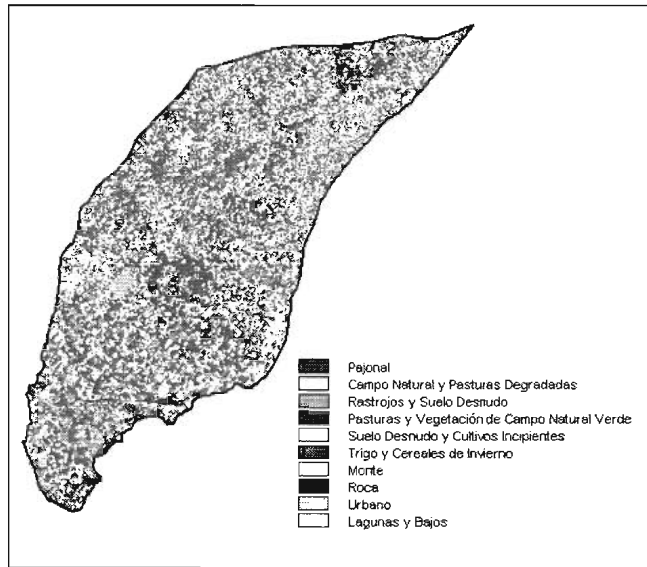


FIGURA 9. MAPA DE USO PARA FEBRERO DE 2006

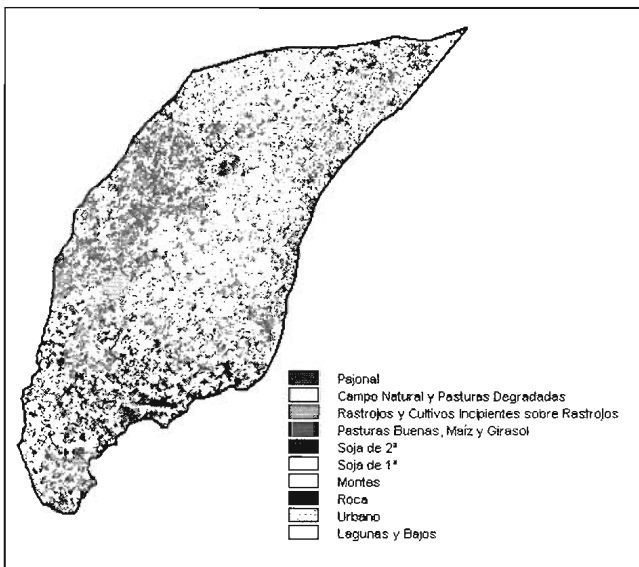


FIGURA 10. MAPA DE USO PARA MARZO DE 2006



2) Respecto a los errores de comisión (casos donde las posiciones mapeadas como una categoría en particular son realmente algo diferente), se observa que los mayores errores se cometieron en la categoría "soja de segunda" para el mes de febrero cuando se la confunde con rastrojo y para el mes de marzo cuando se la confunde con soja de primera; también con la categoría de las "pasturas" para los meses de diciembre, enero y abril cuando se la confunde con campo natural y para el mes de septiembre cuando se la confunde con trigo y cereales de invierno; y por último con "vegetación seca" para el mes de mayo cuando se la confunde con campo natural y rastrojos. Obsérvese que en ambos tipos de errores se repiten los casos de la soja de segunda y la vegetación seca, que son claramente los usos más difíciles de discriminar: la soja de segunda porque en su estado incipiente se la confunde con el rastrojo y en pleno desarrollo con soja de primera, mientras que la vegetación seca es espectralmente muy similar al campo natural y rastrojos. Dada esta situación, los errores encontrados resultan aceptables para la metodología de trabajo adoptada. Por otro lado, también se debe considerar que

la presente clasificación se llevó adelante con imágenes SAC-C (con su resolución espacial de 175 metros) y que la cuenca bajo estudio involucra 6 927 216 píxeles.

Las categorías que involucran campo natural, rastrojo, soja de primera y trigo y cereales de invierno son aquellas que en todos los casos presentaron los errores más bajos, tanto de omisión como de comisión. Esto significa que, para estos casos, los polígonos definidos a partir de la verdad de campo han sido correctamente asignados a las categorías propuestas.

#### 4. CONCLUSIONES

La utilización de imágenes SAC-C ha resultado adecuada para la definición de usos del suelo agrícola-ganaderos, dada su buena frecuencia de revisita y una resolución de las imágenes que se considera suficiente. La clasificación no supervisada de las imágenes, con asignación de las categorías a partir de reconocimiento en campo de los usos se ha mostrado como un método efectivo para definir usos agropecuarios.

Más de la mitad de la cuenca se destina a pajonal, campo natural y pasturas degradadas para el desarrollo de ganadería extensiva. Esta zona ocupa el área llana de la cuenca, con los suelos menos desarrollados y con mayores problemas de drenaje. En lo que respecta a pastos, adicionalmente a los anteriores, se ha distinguido hasta un máximo de 1 000 km<sup>2</sup> de pasturas implantadas de buena calidad en la cuenca alta.

Respecto al uso agrícola, los rastrojos ocupan, en promedio, unos 500 km<sup>2</sup>, con dos picos cercanos a los 800 km<sup>2</sup>, correspondientes a los momentos posteriores a las cosechas de maíz

y soja, por un lado, y a la de trigo, por otro. El trigo y los cereales de invierno ocuparon un área aproximada de 550 km<sup>2</sup>, la soja de primera 800 km<sup>2</sup> y la soja de segunda 250 km<sup>2</sup>.

Los usos con mayores problemas en su definición en las imágenes resultaron ser la soja de segunda y la vegetación seca, ya que se confunden con otras categorías. Los usos mejor definidos fueron campo natural, rastrojo, soja de primera y trigo y cereales de invierno. De todas maneras, los resultados se consideran adecuados a los objetivos planteados.

## 5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CHUVIECO, E. 2002.

Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio.  
*Ariel, Barcelona, 584 pp.*

CONGALTON, R.G. Y MEAD, R.A. 1983.

A Quantitative Method to Test for Consistency and Correctness in Photointerpretation,  
*Photogrammetric Engineering of Remote Sensing, 49(1):63-74.*

FAO, 2001.

Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural.  
*Boletines FAO: Tierras y Aguas. 5.*

HARALICK, R.M. Y K. FU. 1983.

Pattern recognition and classification.  
*Capítulo 18 en Manual of Remote Sensing, R. Colwell (ed.). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry, 1:793-805.*

JENSEN, J.R. 1996.

Introductory Digital Image Processing.  
*A remote sensing perspective. Segunda edición. Prentice Hall Series in Geographic Information Science. New Jersey. 318 pp.*

MOSCATELLI, G. Y PUENTES, I. 2000.

Suelos Argentinos.  
*En: Principios de Edafología con Énfasis en Suelos Argentinos. Conti, M. (ed.). Ed. Facultad de Agronomía:389-414.*

NAVONE, S.M. Y GARGANTINI, C. 2003.

Agricultura.  
*En: Sensores Remotos Aplicados al Estudio de los Recursos Naturales (Navone, S.M., Coordinación). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.*

RICHARDS, J.A. 1993.

Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.  
*Segunda Edición. Springer-Verlag, Berlin.*

RIQUIER, J., D. BRAMAO Y J. CORNET. 1970.

A new system of soil appraisal in terms of actual and potencial productivity (First approximation).  
*FAO, Mimeo AGL: TESR/70/6. 325pp. Roma.*

SALA, J.M., KRUSE, E. Y AGUGLINO, R. 1987.

Investigación Hidrológica de la Cuenca del Arroyo Azul, Provincia de Buenos Aires.  
*CIC - Informe 37, 235 pp.*





# Aplicación de un sistema de indicadores ambientales para la estimación del riesgo de la actividad minera en zonas periurbanas

## Estudio de caso: partido de General Pueyrredón provincia de Buenos Aires

del Río, J. L.<sup>1,5</sup> - Caballé, M.<sup>2,3</sup> - Osterrieth, M. L.<sup>1</sup> - Kirilovsky, E.<sup>2</sup> - Bó, M. J.<sup>1</sup> - López de Armentia, A.<sup>1</sup>  
N. Denisienia<sup>2</sup> - De Marco, S.<sup>1</sup> - Mallo, J. C.<sup>1,4</sup>

### Resumen

*El crecimiento no planificado de las áreas urbanas a expensas de las áreas vecinas pone en situación de conflicto a la actividad minera y los sectores urbanos circundantes.*

*La actividad minera de rocas de aplicación se ha desarrollado en el Partido de General Pueyrredón desde 1930. Los sitios de explotación que antaño se encontraban alejados del núcleo urbano mientras que hoy, en muchos casos, se hallan insertos o lindantes con la trama urbana.*

*Las canteras, luego de su etapa de explotación en muchos casos carecen de medidas de seguridad, acciones de recomposición topográfica o de taludes y habitualmente presentan labores inundadas. En casos extremos, contaminantes y residuos generan condiciones de riesgo para pobladores y transeúntes.*

*En el presente trabajo se han ensayado un conjunto de indicadores ambientales cuantitativos que han permitido generar índices de amenaza, vulnerabilidad y riesgo ambientales en canteras a partir de los cuales se pueden definir las opciones eficaces de reparación, restauración o rehabilitación ambiental. Los valores obtenidos son consistentes con los datos documentales de accidentes registrados en las canteras*

**Palabras clave:** indicadores ambientales, minería, canteras, riesgo.

### Abstract

*The unplanned growth of the urban areas at the expense of the surrounding areas puts the mining activity and the areas in development in a situation of conflict.*

*The mining activity of application rocks has been developed since 1930 in General Pueyrredón County. The exploiting areas which years ago were located far away from the urban nucleus, are nowadays, in many cases, located inside or very close to it.*

*In many cases, after their exploiting period, quarries lack of security measures, like banks or topographic re-composition actions and usually present flooded labors. They also present, in extreme cases, pollutants and waste material that generate risk conditions for people.*

Entregado: 05 de Diciembre de 2006 ■ Aceptado: 16 de Enero de 2008

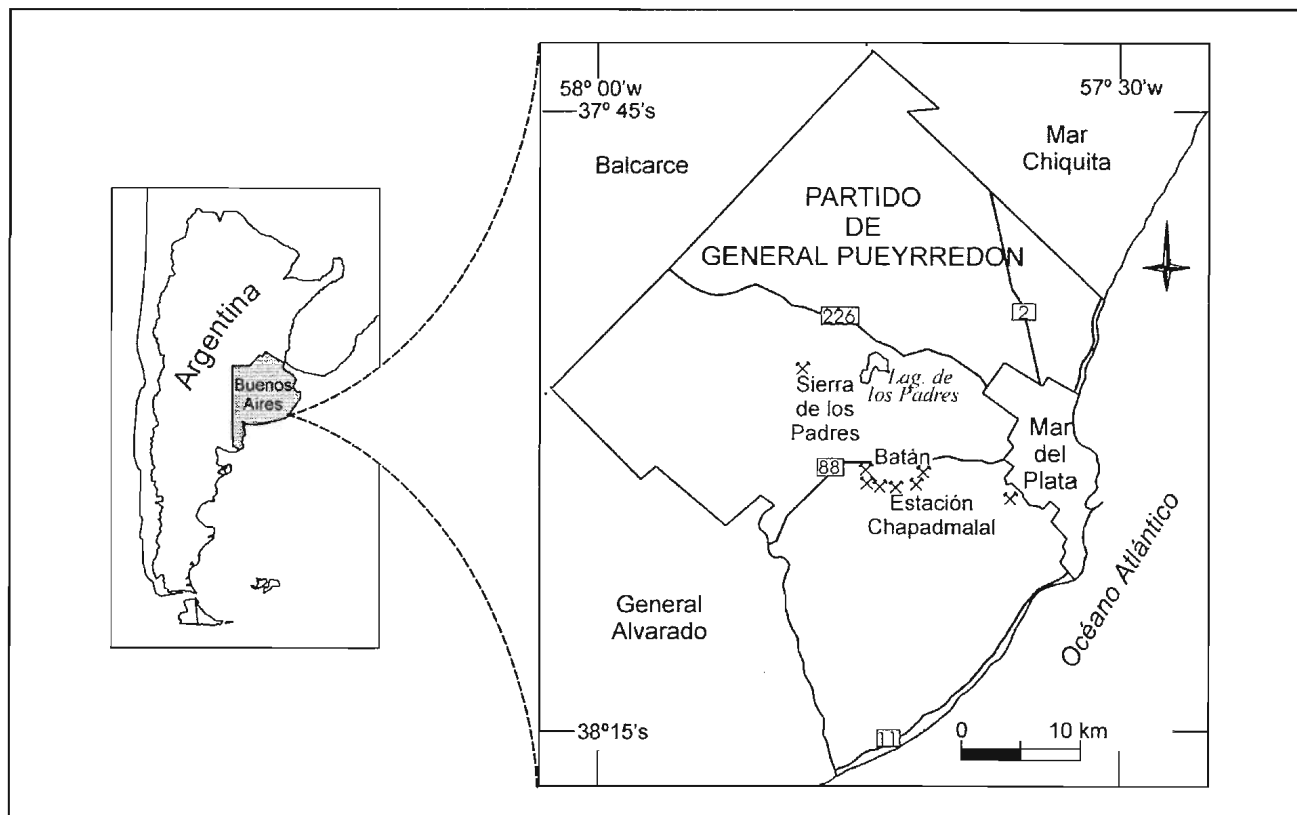
1. Grupo de Geología Ambiental, CGCyC, UNMDP
2. Dirección Provincial de Minería de la Provincia de Buenos Aires
3. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP
4. CIC
5. Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Nivel + 1,80, 7600, Mar del Plata.  
Dirección electrónica: jldr@mdp.edu.ar



In the present work, it has been rehearsed a group of quantitative environmental indicators which have allowed the generation of indexes of threat, vulnerability and environmental risk in quarries, from which it is possible to define the most effective options for environmental reparation, restoration or rehabilitation. The values obtained are consistent with the recorded data from accidents in quarries.

Keywords: environmental indicators, mining, quarries, risk

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN



## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales focos de conflicto entre la actividad minera y las actividades urbanas circundantes, cuando existe demasiada proximidad entre las mismas, se relaciona con la amenaza que las primeras pueden desarrollar respecto a los habitantes y los bienes en esas zonas pobladas. Esto se potencia por la tendencia al crecimiento no planificado de las áreas urbanas a expensas de las áreas rurales, que torna a las zonas periurbanas como una zona sensible, dinámica y fragmentada que actúa como un ecotono (del Río 2002, Mantobani y del Río 2003) donde se discontinúan tanto los servicios ecológicos como los urbanos (Morello 2000).

La actividad minera vinculada a la explotación de rocas de aplicación, se ha desarrollado en el Partido de General Pueyrredón, en la zona periurbana de la ciudad de Mar del Plata desde 1930, originalmente en la zona Puerto y alcanzó su máximo desarrollo en la década del 60 (Ceppi Cabrera 1965) en las zonas de Estación Chapadmalal y Batán (Fig.1). Estos sectores que antaño se encontraban alejados del núcleo urbano hoy se hallan insertos, o lindantes, con la trama urbana.

La coexistencia de actividades tan disímiles como son el uso habitacional y las actividades extractivas obliga a desarrollar, y extremar, acciones tendientes a que la actividad minera internalice procesos y conceptos de calidad ambiental, que

disminuyan la amenaza sobre la población potencialmente vulnerable, a la vez que posibiliten una gestión sustentable y eficiente de estos recursos no renovables.

El rasgo típico que queda luego de una explotación minera a cielo abierto son las depresiones y concavidades de las canteras, que en muchos casos carecen de medidas de seguridad, acciones de recomposición topográfica o de taludes y que habitualmente presentan labores inundadas y, en casos extremos, contaminantes y residuos.

### Objetivo

Establecer y ensayar un conjunto de indicadores ambientales cuantitativos que permitan generar índices de amenaza, vulnerabilidad y riesgo ambiental en canteras, a partir de los cuales se puedan definir las opciones más eficientes y eficaces de reparación, restauración o rehabilitación ambiental.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En primer término se recurrió a datos históricos, cartográficos, bibliográficos y periodísticos sobre el área de estudio y la actividad minera.

Se procedió a la localización de las canteras sobre la base de fotografías aéreas escala 1:10 000 de 1988 y cartas imágenes

IGM escala 1:100 000 de 1997. Se efectuó un relevamiento de campo de las canteras presentes en el partido de General Pueyrredón. Se han analizado 14 canteras, de las cuales sólo 6 se encuentran en plena actividad. En cada cantera relevada se han geoposicionado los frentes de explotación, tanto activos como inactivos o abandonados, confrontándose los con datos históricos.

Se definió un conjunto de indicadores de vulnerabilidad, amenaza y respuesta al riesgo. Los indicadores son variables que proveen una información agregada, sintética sobre un proceso o fenómeno determinado más allá de su propio significado. La aplicación de indicadores a la geología (geoindicadores) plantea el tema de los procesos y fenómenos que varían significativamente en una centuria (Berger y Iams 1996). El riesgo se compone de dos aspectos, uno es el agente activo que provoca o puede provocar el hecho o evento de deterioro ambiental que denominamos amenaza o peligrosidad, y el otro, el aspecto pasivo que es donde se concreta la amenaza al que designamos vulnerabilidad (Panizza 1992).

Se han considerado como indicadores de amenaza los siguientes: la profundidad de la cantera, la presencia de labores inundadas, la profundidad del agua subterránea, la presencia de residuos, la superficie de la cantera, el tipo de taludes, la posesión de la tierra, el estado productivo y la accesibilidad.

La amenaza considerada es aquella vinculada con la caída de bloques e inestabilidad de taludes, los accidentes en las canteras por caída de personas y la asfixia por inmersión en las labores inundadas, además de la eventual contaminación de acuíferos por el uso de las labores abandonadas como sitios de disposición transitoria o permanente de residuos.

La vulnerabilidad ha sido medida sólo a través de un indicador indirecto que es la distancia a la que se encuentra la cantera de los sitios poblados más cercanos.

El procesamiento de los indicadores ha seguido los lineamientos elaborados por el Grupo ELANEM (Cendrero et al. 2002 y 2003). Los indicadores fueron normalizados utilizando una escala 0-1. Los valores 0 y 1 representan, respectivamente, la peor y la mejor condición desde el punto de vista de la vulnerabilidad, la amenaza y la respuesta. Cuando el valor máximo medido corresponde a la peor situación el valor normalizado será

$$V_n = 1 - \{(I_m - I_{min}) / (I_{max} - I_{min})\}$$

Donde:

$V_n$  = valor normalizado;

$I_m$  = valor medido del indicador;

$I_{max}$  = valor máximo del indicador y

$I_{min}$  = valor mínimo del indicador.

En consecuencia, el modelo de cálculo es:

$$IRc_j = (\sum W_i \times VV_{ij}) \times (\sum W_i \times VA_{ij})$$

Donde:

$IRc_j$  = índice de riesgo de la cantera j

$W_i$  = peso o importancia del indicador.  
La sumatoria de los pesos de los indicadores debe ser igual a 1.

$VV_{ij}$  = valor de vulnerabilidad del indicador i en la cantera j.

$VA_{ij}$  = valor de amenaza del indicador i en la cantera j.

Por otro lado se ha analizado la *Respuesta a la Amenaza*, considerada como el conjunto de acciones que si bien no modifican las condiciones de estado que configuran la amenaza, morigeran y previenen el riesgo actuando indirectamente sobre la vulnerabilidad.

Los indicadores de respuesta a la amenaza medidos han sido: la distancia de amortiguación (es la distancia entre el límite de la propiedad y el frente de explotación), la señalización, la vigilancia, la existencia de forestación perimetral, el tipo de forestación perimetral, la presencia y estado de alambrado perimetral.

El índice resulta de la aplicación del siguiente modelo:

$$IRA_j = \sum W_i \times VR_{aij}$$

Donde:

$IRA_j$  = índice de respuesta a la amenaza de la cantera j

$W_i$  = peso o importancia del indicador. La sumatoria de los pesos de los indicadores debe ser igual a 1.

$VR_{aij}$  = Valor de las Acciones de Respuesta a la amenaza del indicador i en la cantera j.

La ponderación de los distintos indicadores se realizó siguiendo la metodología mini Delphi (Balkey, 1968). Esta metodología fue implementada a través de un taller multidisciplinario con la participación de investigadores de la Universidad Nacional de Mar del Plata, profesionales de la Dirección Provincial de Minería, Profesionales y Docentes de las Escuelas Caraludme y Agraria de Laguna de Los Padres. Estos dos establecimientos educativos se encuentran próximos a canteras en explotación o abandonadas y han participado de un proyecto de prevención de riesgos derivados de la actividad minera (del Río et al, 2005).

El método consiste en que cada participante debe considerar los distintos parámetros analizados por la amenaza, la vulnerabilidad y la respuesta a la amenaza ordenándolos de modo creciente. Posteriormente se realiza una comparación entre las opiniones de cada uno de los integrantes del taller y se genera un promedio que se traduce en un único orden creciente de amenaza, vulnerabilidad y respuesta a la amenaza. A la luz de esta opinión del conjunto expresada por el valor promedio, los miembros del taller reven su primer ordenamiento y corrigen o ratifican su opinión; seguidamente se produce un segundo ordenamiento, que también es promediado con todos los generados. Este procedimiento se repite cinco veces y se acepta el último promedio obtenido como válido. El orden que ocupa cada parámetro se convierte en un peso que oscila entre 0 y 1 para la estimación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y la Respuesta de la actividad minera.

### 3. ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL

Los indicadores ambientales sirven para dar imágenes sintéticas de un problema ambiental. Nacen como resultado de la creciente preocupación por los aspectos ambientales del desarrollo y el bienestar humano (*Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico* 1991). Es una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al de su propia entidad científica, con el objetivo de reflejar de modo sintético el interés

y la preocupación de la sociedad con respecto a la evolución del medio ambiente. Por lo tanto deben manifestar un claro interés social ya que aportan a la toma de decisiones

Los procedimientos para la elaboración de un sistema de indicadores ambientales deben seguir un conjunto de pasos sucesivos (Hammond et al. 1995). En el caso del presente trabajo algunos ya han sido cumplimentados y otros serán desarrollados en pos de cuantificar, por estos medios, la calidad ambiental orientada a la recomposición natural (Gallego Valcarce y Valdillo Fernández 1992) de los predios sometidos a explotación minera y el riesgo para los habitantes de zonas periurbanas.

Los seis pasos a desarrollar son:

1. Definición de objetivos.
2. Estructura analítica y selección temática.
3. Investigación y desarrollo
4. Propuesta de indicadores
5. Desarrollo y revisión pública
6. Revisión final y producción

Los trabajos aplicados a la generación de indicadores son múltiples y variados empero, en lo referente a la actividad minera provincial y aplicados a la determinación del riesgo los antecedentes no abundan. En particular debemos citar el trabajo de Cabral et al. (1998), donde desarrollan los primeros índices cuantitativos de peligrosidad en canteras. Con posterioridad Cabral et al. (2004), describen la problemática ocasionada por las actividades extractivas del suelo como una de las principales causas de degradación de este recurso en la Provincia de Buenos Aires e indican que la metodología para la elaboración del índice de peligrosidad está basada en la hipótesis que las variables de riesgo se pueden identificar, evaluar individualmente y combinar, de manera tal que proporcionen un valor numérico que refleje la probabilidad de accidentes o enfermedades, producidos como consecuencia de la presencia de las canteras.

#### 4. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

En relación con un análisis de meso escala, los rasgos climáticos de la ciudad de Mar del Plata permiten caracterizar su clima dentro de los denominados "templados con influencias oceánicas", con un continuo intercambio de masas de aire entre la interfase tierra - mar. Estas características se asocian con condiciones de temperaturas medias mensuales moderadas con baja amplitud térmica. Según la clasificación de Thornthwaite, el área corresponde a un clima "sub húmedo - húmedo mesotermal con poca o nula deficiencia de agua" (Bocanegra et al. 1989). La zona de estudio se encuentra, desde el punto de vista biogeográfico en la Provincia Pampeana (Cabrera 1976), correspondiente al Dominio Chaqueño de la Región Neotropical.

Las canteras estudiadas se encuentran emplazadas en el ámbito de las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. Las rocas aflorantes son esencialmente ortocuarcitas, de edad paleozoica inferior, pertenecientes a la Formación Balcarce (Dalla Salda e Iniguez 1979) sobre los que yacen las sedimentitas cenozoicas que incluyen al Pampiano y Postpampiano. Estos últimos, son materiales de muy baja consolidación, con tamaño de grano entre 0,004 y 1,5 mm. Entre estas secuencias pueden presentarse láminas o concreciones de tosca (carbonato de calcio) como también niveles de ceniza volcánica en forma intercalada (Fidalgo et al. 1975).

La estructura de las Sierras Septentrionales se presenta como un sistema de montañas en bloques, definido por tres

grandes juegos de fallas que se interceptan entre sí y que tienen dirección NO - SE, NE - SO y E - O, con predominio de fracturación directa, con desplazamiento vertical dominante y suave basculamiento.

El fallamiento de mayor magnitud es el de dirección NO - SE, que le confiere a las sierras un perfil asimétrico y un estilo dominado por el desarrollo de *horst* y *graben*.

De acuerdo con las características hidrogeológicas, los términos aflorantes en la zona estudiada fueron diferenciados por Kruse (1986) en dos grandes unidades: a) *Rocas Precámbricas y Paleozoicas* (Basamento hidrogeológico) y b) *Sedimentos Cenozoicos*.

El Basamento Impermeable (Sala 1975) aflora esencialmente en asomos discontinuos dispuestos en una angosta franja, con orientación NO-SE, coincidentes en su mayor parte con el ambiente de Serranías y conforman la divisoria regional de las vertientes norte y sur. Se disponen especialmente en las cabeceras de los arroyos Chapadmalal, Corrientes, El Cardalito y Las Chacras. El más extendido constituye las colinas de Barán-Chapadmalal.

Si bien en principio se trata de rocas acuífugas, poseen permeabilidad secundaria determinada por la presencia de un sistema de diaclasas compuesto por tres juegos de fracturas de posición subvertical y rumbos NE-SO; NO-SE y E-O, interconectados por un cuarto juego subhorizontal y coincidente con los planos de estratificación (Mauriño et al. 1981).

#### Complejo Clástico Permeable

Kruse (1986) diferencia dentro de los depósitos aquí llamados Complejo Clástico Permeable, a los "Sedimentos pampeanos" y los "Sedimentos Eólicos (Postpampeanos)".

#### *Sedimentos pampeanos:*

Son limos arenosos, con proporciones variables de carbonato de calcio distribuido irregularmente. Aflora principalmente en cortes de camino y "préstamos" y las barrancas de los arroyos. En conjunto muestran una permeabilidad medianamente baja. El plano de discordancia entre estos sedimentos y la Fm Balcarce, se presenta, por lo general fuertemente "entoscado".

#### *Sedimentos Eólicos (Postpampeano):*

Muestran una mayor proporción de arena que los anteriores, por ende su permeabilidad es bastante mayor. Estos sedimentos, cuyos espesores varían entre 1 y 2,5 m, adquieren una gran importancia hidrogeológica, ya que por su mayor capacidad de infiltración, favorecen el rápido ingreso de las lluvias a los niveles subsuperficiales, reduciendo, de esa forma el escurrimiento fluvial e incluso las pérdidas por evaporación.

#### La minería en la zona de estudio

Está representada por las actividades extractivas, tanto de suelos para la elaboración de ladrillos, como de rocas de aplicación, ambas proveedoras de la industria de la construcción. El principal destino de las rocas cuarcíticas es la producción de triturados para la construcción, bloques y lascas para revestimientos "piedra Mar del Plata", y, en menor medida, para la elaboración de polvos abrasivos.

En las décadas de 1930 y 1940 muchos picapedreros de los partidos de Olavarría y Tandil, que antes fabricaban adoquines y cordones, se trasladaron a Mar del Plata para trabajar

en la cantera del puerto, con cuya roca se construyeron miles de chalets de veraneo.

En la Tabla 1 se observa la producción de roca cuarcítica desde 1998 en el partido de General Pueyrredón.

**TABLA 1. PRODUCCIÓN DE ORTOCUARCITAS EN LA ZONA DE ESTUDIO**

Año	Producción (Tn/año)
1998	436 084
1999	737 858
2000	669 179
2001	241 653
2002	151 799
2003	354 927
2004	432 400

Los productos generados son:

- Roca para escolerado.
- Bloques para su transformación en lajas.
- Arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios.

La tabla 2 sintetiza los principales productos de la actividad en la zona de estudio.

**TABLA 2. PRODUCTOS DE LA ACTIVIDAD MINERA EN EL PARTIDO DE GENERAL PUEYRRREDÓN**

Productos	Diámetro	Usos
· Arena de trituración	0 - 6 mm	Mezclas asfálticas
· Granzas	6 - 20 mm	Hormigón, mezclas asfálticas y construcción en general
· Pedregullos	10 - 50 mm	Ídem
· Polvo de piedras		Limpiadores abrasivos, pinturas, cosmética, etc.

## 5. RESULTADOS

El mapeo, ubicación y geoposicionamiento de los frentes de explotación secuenciados en distintos momentos permiten establecer que la actividad minera en el partido de General Pueyrredón ha sido, y es, sumamente activa. Al mismo tiempo que esta actividad se desarrolla, existe una expansión urbana que sitúa a algunas canteras dentro de áreas populosas (*del Río et al 2001*) (Fig. 2).

La generación de indicadores de vulnerabilidad y amenaza han permitido calcular un índice integrado de riesgo (Tabla 3). El mayor valor de riesgo se ha calculado para la cantera Rizzo, en función de una extremadamente alta vulnerabilidad ya que es la más próxima a un centro poblado y alto nivel de amenaza con un valor de 0,89; en el otro extremo se encuentran las mas

alejadas Paso de Piedra (0,09), Alpa Vial (0,1) y Bertagno (0,12). Estas últimas están especialmente favorecidas por la baja vulnerabilidad, al hallarse alejadas suficientemente de los centros urbanos (Tabla 3).

Como derivación de estos análisis surgen como valor máximo de riesgo 0,89 para la cantera Rizzo, en función de la vulnerabilidad extremadamente alta ya que es la más próxima a un barrio muy poblado en expansión y su alto nivel de amenaza.

El menor valor de riesgo se verifica en las canteras más alejadas, Paso de Piedra (0,09), Alpa Vial (0,1) y Bertagno (0,12), (Tabla 3).

Con respecto a la generación de un índice de respuesta a la amenaza, encontramos que las canteras rehabilitadas o en un estado de explotación intensivo de características industriales, como Canteras Paso de Piedra (0,85), Yaraví Pétreo y Los Curras (0,74), seguidas de Yaraví Minera (0,72), desarrollan las acciones de respuesta más elevadas.

Las canteras abandonadas o bajo explotaciones informales o de baja intensidad revelan valores de respuesta a la amenaza mínimos, entre ellas se encuentran Silex (< a 0,01), La Unión (0,05) y Castillo (0,06)

A su vez los mayores niveles de respuesta se encuentran en las Canteras Paso de Piedra (0,85), Yaraví Pétreo y Los Curras (0,74), seguidas de Yaraví Minera (0,72); mientras que los niveles más bajos de respuesta a la amenaza se encuentran en Silex (< a 0,01), La Unión (0,05) y Castillo (0,06) (Fig. 3).

## 6. CONCLUSIONES

El índice de riesgo generado, así como el de respuesta a la amenaza, han sido contrastados con denuncias de accidentes, en algunos casos mortales, hechas públicas a través de los medios gráficos de la ciudad de Mar del Plata, así como consultas a informantes calificados. Los valores obtenidos son consistentes con los datos documentales de accidentes registrados en las canteras, en general por un uso inapropiado como es el de balneario

Dado el fuerte impacto social que estos hechos suelen tener, las fuentes de contrastación brindan un alto grado de confianza. En efecto, la cantera Rizzo ha sido mencionada en numerosas oportunidades en casos policiales con aparición de cadáveres en ella.

Esta información permite validar externamente los guarrismos del Índice de Riesgo obtenidos, toda vez que el mismo indica que la cantera más riesgosa es justamente aquella donde se han producido el mayor número de accidentes fatales o accidentes.

Es altamente preocupante que algunas de las canteras con índices de riesgo más alto presenten a su vez valores de respuesta exigüos y por lo tanto seguramente insuficientes

Se considera que la aplicación de esta metodología puede facilitar la gestión minera sustentable y responsable, permitiendo desarrollar mecanismos de auditoría y prevención de riesgos de seguimiento cuantitativo que, incluso, permitan a la minería en su conjunto mejorar la percepción que la ciudadanía tiene de ella al hacer explícitos y auditables los criterios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, así como cuantificar la calidad de las respuestas. De hecho este mecanismo puede articularse con la política minera provincial que ha comenzado acciones tendientes a recomponer pasivos ambientales mediante intimaciones a los propietarios y/o empresas (Fig 4).

FIGURA 2. UBICACIÓN CANTERAS

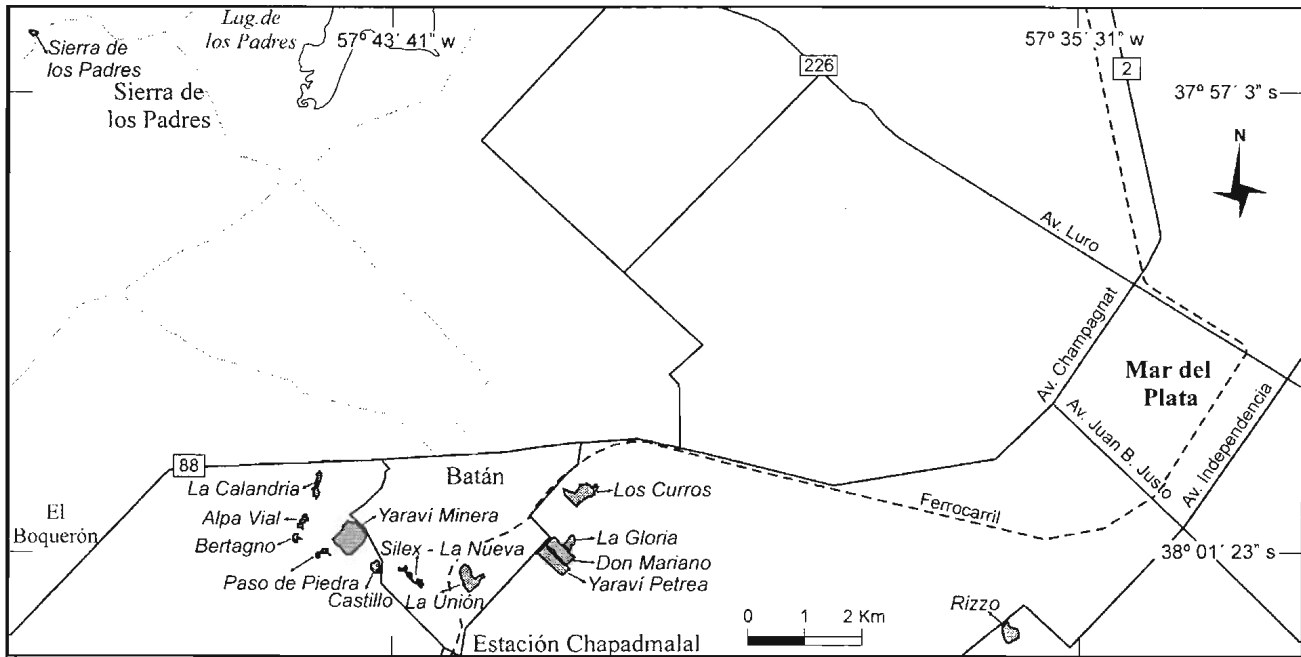


FIGURA 3. ÍNDICES DE RIESGO Y RESPUESTA POR CANTERA

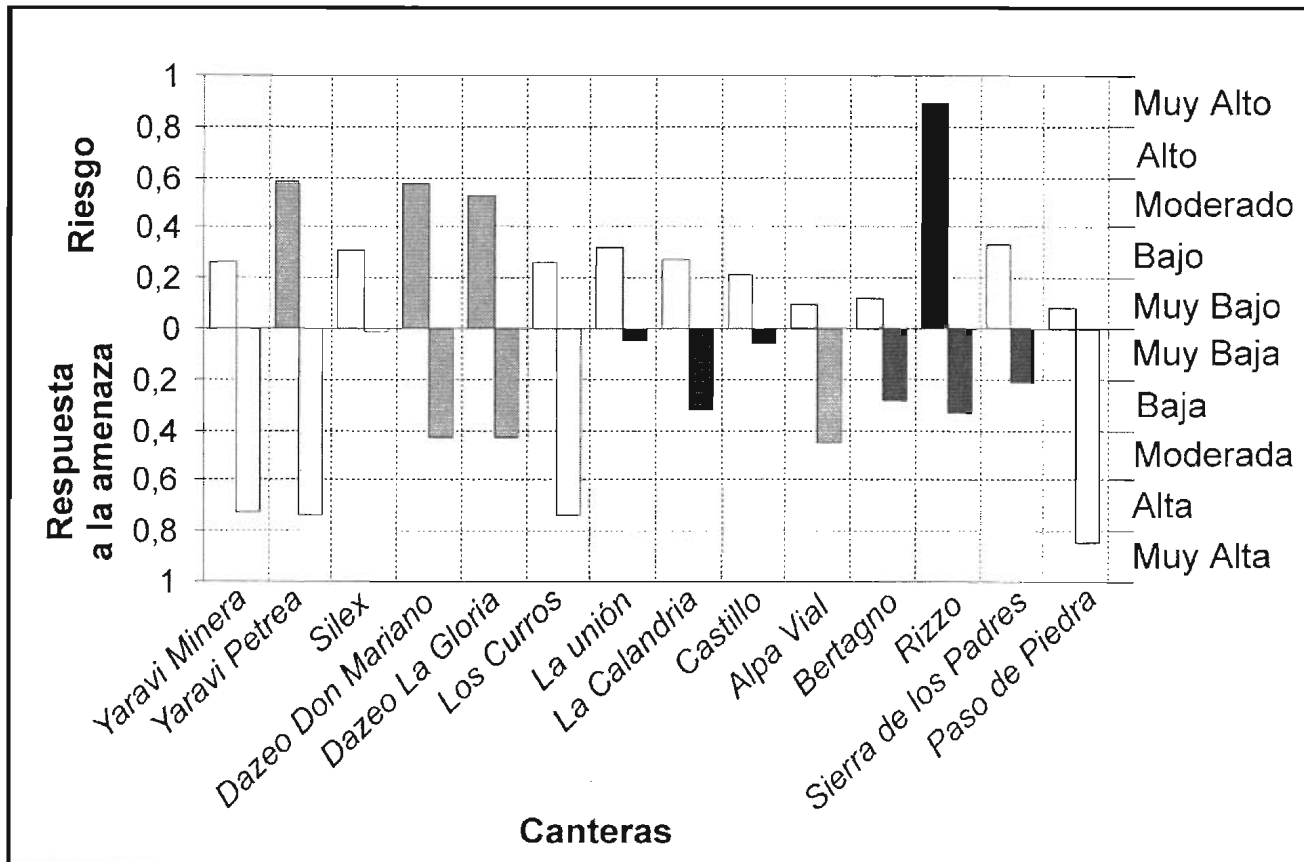


TABLA 3. INDICADORES E INDICES

RIESGO		Unidades	Peso	Yaravi Minera	Yaravi Pétrea	Silex	Dazeo Don Mariano	La Gloria	Los Curros	La Unión	La Calandria	Castillo	Alpa Vial	Bertagno	Rizzo	Sierra de los Padres	Paso de Piedra
<b>VULNERABILIDAD</b>	Distancia Amenaza	m	1	0,40	0,67	0,57	0,67	0,67	0,75	0,80	0,57	0,33	0,37	0,23	1,00	0,73	0,23
<b>Índices de vulnerabilidad</b>																	
	Profundidad de la cantera	m	0,18	0,40	0,67	0,57	0,67	0,67	0,75	0,80	0,57	0,33	0,37	0,23	1,00	0,73	0,23
<b>A</b>	Pres. de labores inundadas	si/no	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	0,16	0,16	0,00	0,16
<b>M</b>	Aguas subterráneas	m	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,06	0,09	0,09	0,00	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
<b>E</b>	Residuos	si/escasos/no	0,13	0,07	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,13	0,00	0,07	0,13	0,00	0,00
<b>N</b>	Superficie	ha	0,09	0,09	0,03	0,07	0,00	0,05	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	0,01
<b>A</b>	Taludes	grados	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,10	0,20	0,20	0,00
<b>Z</b>	Posesión de la tierra	Prop/arrend/intr	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>A</b>	Estado productivo	Act/semi/inact	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,00
	Accesibilidad	Asf/en/huella	0,09	0,09	0,05	0,09	0,09	0,09	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05
<b>Índices de amenaza</b>			0,65	0,86	0,54	0,85	0,79	0,35	0,41	0,48	0,65	0,26	0,54	0,89	0,45	0,38	0,09

ÍNDICES DE RIESGO

Parámetro	Unidades	Peso	Yaravi Minera	Yaravi Pétrea	Silex	Dazeo Don Mariano	La Gloria	Los Curros	La Unión	La Calandria	Castillo	Alpa Vial	Bertagno	Rizzo	Sierra de los Padres	Paso de Piedra	
<b>VULNERABILIDAD</b>	Distancia Amenaza	m	0,40	0,67	0,57	0,67	0,67	0,75	0,80	0,57	0,33	0,37	0,23	1,00	0,73	0,23	
<b>Índices de vulnerabilidad</b>																	
	Profundidad de la cantera	m	0,18	0,40	0,67	0,67	0,67	0,75	0,80	0,57	0,33	0,37	0,23	1,00	0,73	0,23	
<b>A</b>	Pres. de labores inundadas	si/no	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	0,16	0,16	0,00	0,16	
<b>M</b>	Aguas subterráneas	m	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,06	0,09	0,09	0,09	0,00	0,09	0,09	0,09	0,09	
<b>E</b>	Residuos	si/escasos/no	0,13	0,07	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,13	0,00	0,07	0,13	0,00	
<b>N</b>	Superficie	ha	0,09	0,09	0,03	0,07	0,00	0,05	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	
<b>A</b>	Taludes	grados	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,10	0,20	0,20	0,00	
<b>Z</b>	Posesión de la tierra	Prop/arrend/intr	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>A</b>	Estado productivo	Act/semi/inact	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00	
	Accesibilidad	Asf/en/huella	0,09	0,09	0,05	0,09	0,09	0,09	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	
<b>Índices de amenaza</b>			0,65	0,86	0,54	0,85	0,79	0,35	0,41	0,48	0,65	0,26	0,54	0,89	0,45	0,38	
<b>ÍNDICES DE RIESGO</b>			0,26	0,58	0,31	0,57	0,53	0,26	0,33	0,27	0,22	0,10	0,12	0,89	0,33	0,09	

ÍNDICES DE RESPUESTA

Parámetro	Unidades	Peso	Yaravi Minera	Yaravi Pétrea	Silex	Dazeo Don Mariano	La Gloria	Los Curros	La Unión	La Calandria	Castillo	Alpa Vial	Bertagno	Rizzo	Sierra de los Padres	Paso de Piedra	
<b>VULNERABILIDAD</b>	Distancia Amenaza	m	0,40	0,67	0,57	0,67	0,67	0,75	0,80	0,57	0,33	0,37	0,23	1,00	0,73	0,23	
<b>Índices de vulnerabilidad</b>																	
	Profundidad de la cantera	m	0,18	0,40	0,67	0,67	0,67	0,75	0,80	0,57	0,33	0,37	0,23	1,00	0,73	0,23	
<b>A</b>	Pres. de labores inundadas	si/no	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	0,16	0,16	0,00	0,16	
<b>M</b>	Aguas subterráneas	m	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,06	0,09	0,09	0,09	0,00	0,09	0,09	0,09	0,09	
<b>E</b>	Residuos	si/escasos/no	0,13	0,07	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,13	0,00	0,07	0,13	0,00	
<b>N</b>	Superficie	ha	0,09	0,09	0,03	0,07	0,00	0,05	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,05	0,00	
<b>A</b>	Taludes	grados	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,10	0,20	0,20	0,00	
<b>Z</b>	Posesión de la tierra	Prop/arrend/intr	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>A</b>	Estado productivo	Act/semi/inact	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00	
	Accesibilidad	Asf/en/huella	0,09	0,09	0,05	0,09	0,09	0,09	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	
<b>Índices de amenaza</b>			0,65	0,86	0,54	0,85	0,79	0,35	0,41	0,48	0,65	0,26	0,54	0,89	0,45	0,38	
<b>ÍNDICES DE RESPUESTA</b>			0,72	0,74	0,00	0,43	0,43	0,74	0,05	0,32	0,06	0,46	0,29	0,34	0,22	0,85	

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y la Universidad Nacional de Mar del Plata por el financiamiento del presente trabajo.

Además queremos manifestar nuestro agradecimiento a los productores mineros del partido de General Pueyrredón que han permitido el acceso a sus instalaciones y realizar sin condicionamientos nuestro trabajo.

Queremos manifestar nuestro agradecimiento a los Lic. J.R. Alvarez y M. Camino del Centro de Geología de Costas y del Cuaternario y, en los nombres de los directores Lucrecia Fontana y Rodolfo Borsani, a todos los miembros del cuerpo docente de las Escuelas Carludme y Agrotécnica de Laguna de Los Padres por su colaboración en las tareas de campo y la participación en el Taller de ponderación y valoración Delphi.

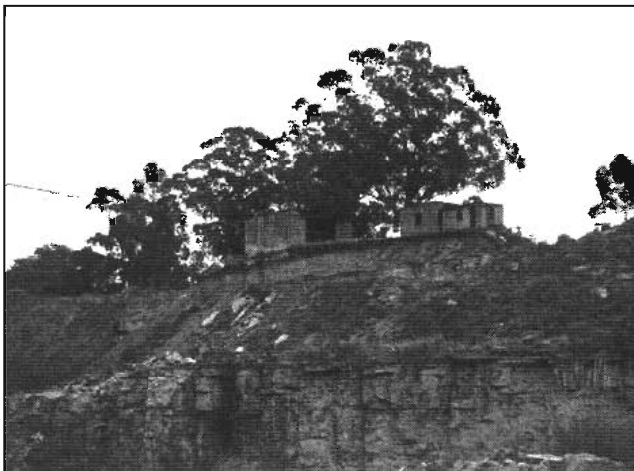
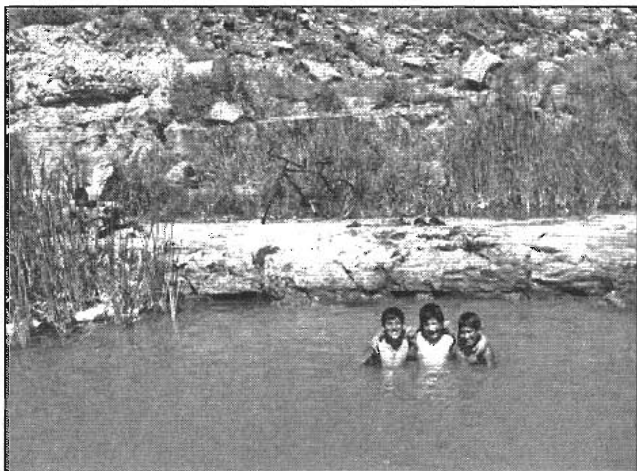
Finalmente agradecemos al MSc. Norberto Jorge Bejerman su crítica y sus oportunos aportes.

## FIGURA 4. CANTERAS DE ALTO RIESGO EN LA ZONA PERIURBANA



NIÑOS BAÑÁNDOSE EN CANTERA ABANDONADA

CONSTRUCCIONES DE ALTO RIESGO



## 9. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BALKEY, N.C. 1968.

The Delphi Method. An experimental study of group opinion.  
*Rand Memorandum 5888. P.R. Rand Corporation, Santa Monica, California*

BERGER, A.R. 1996,

The geoindicators concept and its application: An introduction.  
*En Berger, A.R. y Iams, W.J. (eds) Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems. Balkema. 1-14. Rotterdam.*

BOCANEGRA E.M., CIONCHI J.L., FASANO J.L., OSTERRIETH M.L. Y SCNACK E.J. 1989.

Geología Ambiental del área urbana marplatense, provincia de Buenos Aires.  
*Caracterización preliminar. I Jornada geológicas Bonaerenses, Actas: 663-682. Tandil.*

CABRAL, M.; GIMÉNEZ, J.; HURTADO, M. 1998.

Descripción de indicadores para la obtención de un Índice de Peligrosidad de Cavas, como una herramienta para la Gestión Ambiental.  
*V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Actas Vol. 2: 73-82. Mar del Plata.*

- CABRAL, M., CRINCOLI, A., GIMÉNEZ, J. Y HURTADO, M. 2004.  
Determinación de índices de peligrosidad de canteras en dos cuencas del partido de La Plata, Argentina.  
*Actas del IV Congreso Uruguayo de Geología - II Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial del Mercosur, en CD. Montevideo.*
- CABRERA, A. L. 1976.  
Regiones fitogeográficas argentinas.  
*ACME SACI. 85pp. Buenos Aires.*
- CENDRERO, A.; FRANCES, E.; LATRUBESSE, E. M.; PRADO, R.; FABBRI, A.; PANIZZA, M.; CANTU, M. P.; HURTADO, M.; GIMÉNEZ, J. E.; MARTINEZ, O.; CABRAL, M.; TECCHI, R. A.; HAMITY, V.; FERMAN, J. L.; QUINTANA, C.; CECCHIONI, A.; RECATALA, L.; BAYER, M.; AQUINO, S. 2002.  
Projeto RELESA-ELANEM: Uma nova proposta metodológica de índices e indicadores para avaliação da qualidade ambiental.  
*Revista Brasileira de Geomorfologia. Ano 3, Nº1:33-47.*
- CENDRERO, A., FRANCES, E., DEL CORRAL, D., FERMAN, J.L., FISCHER, D., DEL RÍO J.L., CAMINO, M. & A. LÓPEZ DE ARMENTIA. 2003.  
Indicators and Indices of Environmental Quality for Sustainability Assessment in Coastal Areas; Application to Case Studies in Europe and the Americas.  
*Journal of Coastal Research. Vol 19(4), 914-933.*
- CEPPI CABRERA, E. 1965  
Estudio Geológico Económico del área minera del partido de General Pueyrredón,  
*Inédito.*
- DALLA SALDA, L. H. E IÑIGUEZ, A. M. 1979.  
La Tinta, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires.  
*VII Congreso Geológico Argentino. Actas I: 539 - 550. Neuquén.*
- DEL RÍO, J. L. 2002.  
Funciones y disfunciones ambientales en la zona periurbana.  
*GADU.FAUDI-UNMdP. Serie Libros. 74pp. Mar del Plata.*
- DEL RÍO, J.L., MÜLLER, M.L.L., MARTÍNEZ, ARCA, J., BO, M.J., Y BERNASCONI V., 2001  
El desarrollo urbano y la minería de suelos: su efecto sobre el recurso suelo en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, I del Area del MERCOSUR.  
*Actas en CD. Mar del Plata.*
- DEL RÍO, J. L., CABALLÉ, M., MALLO, J. C., OSTERRIETH, M. L., KIRILOVSKY, E., DENISIENIA, N., MUNTZ, D., DE MARCO, S. G., BO, M. J., BERNAVA LABORDE, V., MARTÍNEZ ARCA, J., LÓPEN DE ARMENTHIA, A., BORELLI, N., FERNÁNDEZ HONAINÉ, M. Y ALVAREZ, F. 2005.  
Estrategias de recuperación de áreas degradadas por explotaciones mineras a cielo abierto en el partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires: sus posibilidades de restauración, reparación o rehabilitación productivas.  
*Centro de Geología de Costas y del Cuaternario-Dirección provincial de Minería. CIC Proyecto Nº 553/04. Informe inedito. 151pp.*
- FIDALGO, E., DE FRANCESCO, F. Y PASCUAL, R. 1975.  
Geología superficial de la llanura bonaerense.  
*En: Relatorio: Geología de la Provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino. Actas: 103 - 138. Neuquén.*
- GALLEGO VALCARCE, E. Y VALDILLO FERNÁNDEZ, L. 1992.  
Reclaiming areas degraded by mining operations  
*En Cendrero, A. Luttig, G. y Wolff, F. Ch. (eds). Planning the use of the earth's surface. Springer Verlag Heidelberg.*
- HAMMOND, A., ADRIAANESE A., RODENBURG E., BRYANT D. & WOODWARD R.. 1995.  
Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development.  
*Washington DC. World Resources Institute.*
- KRUSE, E. 1986.  
Aspectos geohidrológicos de la región sudoriental de Tandilia. Cuencas de los Arroyos Vivoratá, Las Brusquitas y El Durazno.  
*Asoc. Geol. Arg., Rev. XLI (3-4): 367-384. Buenos Aires.*
- MANTOBANI, J. Y DEL RÍO J. L.. 2003.  
Reflexiones sobre el significado de los Ambientes Periurbanos desde la Perspectiva de la Relación Sociedad/Naturaleza.  
*IV Seminario Internacional de Estudios Urbanos. 11pp. Tandil.*



- MAURIÑO, V., VARDE, O. Y R. SCANAVINO. 1981.  
Investigaciones geológicas y geotécnicas realizadas para el proyecto de una central hidroléctrica de acumulación por bombeo.  
*VIII Congreso Geológico Argentino. Actas II:45-66.*
- MORELLO, J. 2000.  
Manejo de agrosistemas periurbanos. GADU.FAUDI-UNMDP.  
*Serie Libros. 50pp. Mar del Plata.*
- OECD. 1991.  
Environmental Indicators: a preliminary set.  
*Paris: Organization for Economic Cooperation and Development*
- PANIZZA, M. 1992.  
Geomorphological hazards and environmental impact: assessment and mapping.  
*En Cendrero, A. Luttig, G. y Wolff, F. Ch. (eds). Planning the use of the earth's surface. Springer Verlag Heidelberg.*
- SALA, J. M. 1975.  
Recursos hídricos (especial mención de las aguas subterráneas).  
*Actas VI Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca, Argentina. 169-194.*



## Caracterización biológica y evaluación de la calidad de compost

### Factores que determinan su uso en suelos poco productivos

Rebollido, Rocío<sup>1</sup> - Martínez, Jorge - Aguilera, Yuri - Melchor, Kenia - García, Damarys - Saborit, Israel

#### Resumen

En el presente trabajo se realizó una evaluación de la calidad del compost elaborado a partir de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) proveniente del Vertedero Calle 100, a través de 4 test (Autocalentamiento, Germinación, Crecimiento y Barley); así como una caracterización biológica de los principales grupos microbianos presentes en el mismo. Los resultados mostraron por un lado que el producto obtenido tenía la calidad requerida para ser utilizado en el sector agrícola como biofertilizante de suelos que son considerados poco productivos, disminuyendo de esta forma los efectos inherentes al uso de plaguicidas y productos químicos. Por otra parte la masa de compost fue colonizada en mayor proporción por bacterias (44,6%), seguida de actinomicetos (32,2%) y en menor número por hongos (23,1%). Más del 50% de los microorganismos aislados son considerados promotores del crecimiento vegetal, contribuyendo a mejorar las características físicas del suelo.

**Palabras clave:** compostaje, agricultura sostenible, suelo, microorganismos, calidad

#### Abstract

In this paper an evaluation of quality of municipal solid waste (MSW) compost, came from landfill "Calle 100" was carried out. Four tests were used for this evaluation (Self-Heating, Germination, Cress and Barley Test). A characterisation of the main microbial groups in the compost was made too. The results showed on one hand that the product obtained had the quality required to be used in the agricultural sector as a biofertilizer of soils that are considered not very productive, in this way the inherent effects to the use of pesticide and chemical products is diminishing. On the other hand compost mass was colonized in more proportion by bacteria (44,6%) followed by actinomycetes (32,2%) and in smaller number for fungi (23,1%). More than 50% of microorganisms isolations are considered promoters of the vegetable growth, contributing to improve the physical characteristics of the soil.

**Keywords:** composting, sustainable agriculture, soil, microorganisms, compost quality

Entregado: 29 de Noviembre de 2006 ■ Aceptado: 20 de Junio de 2007

<sup>1</sup> Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. InSTEC.  
Centro de Investigaciones Químicas y Ambientales. Ave. Salvador  
Allende Esq. a Luaces. Quinta de los Molinos. Plaza. Ciudad de la  
Habana. Apartado Postal 6163. Cuba.

Dirección electrónica: rocio@instec.cu

#### 1. INTRODUCCIÓN

La superficie agrícola de Cuba es de 6 686 749 ha, lo que representa el 62,72% del total de sus tierras firmes; a su vez, la superficie cultivable constituye el 55,40% de la superficie agrícola. La alta velocidad de descomposición de la materia orgánica, condicionada por la edafoclimatología imperante en el trópico y el inadecuado manejo del ecosistema, han provocado que de un total de 6 686 749 ha de suelos agrícolas con que cuenta el país,  $\frac{3}{4}$  partes se encuentren afectadas.

Alrededor del 76% de los suelos del país se consideran poco o muy poco productivos, lo que impide que en ellos se alcancen altos rendimientos potenciales y comprometen la seguridad alimentaria presente y futura (Ascanio y Pérez, 2002).

Actualmente Cuba se encamina hacia la sostenibilidad mediante el desarrollo de estrategias conducentes al logro de concientización de la sociedad respecto a la protección ambiental y la búsqueda de soluciones tecnológicas ambientalmente compatibles en aquellos sectores de la industria más comprometidos con la contaminación ambiental. En este sentido, el compostaje es una de las tecnologías más asequibles para hacer viable el tratamiento de residuos, obteniéndose un producto agronómico valioso. El compost se puede utilizar como biofertilizante y constituye una alternativa eficiente y ecológica que disminuye los efectos inherentes al uso de plaguicidas y productos químicos. La contribución de los microorganismos presentes en este producto a las características físicas del suelo también es determinante, ya que en su gran mayoría forman parte de la biota del mismo. Desempeñan funciones de gran relevancia en relación con procesos de edafogénesis; ciclos bioquímicos de elementos como el carbono, el nitrógeno, oxígeno, el azufre, el fósforo, el hierro y otros metales; intervienen además en el proceso de fragmentación y transformación química de los suelos y se establecen con rapidez en las superficies recientemente erosionadas con lo que contribuyen al desgaste de la roca. Estos microorganismos son capaces de actuar a la vez como agentes de control biológico, reduciendo el número de microorganismos indeseables en el suelo y favoreciendo el crecimiento de aquellos que son útiles para los cultivos, con lo cual se aumenta la producción de la planta.

En el presente trabajo se realizó una evaluación de la calidad del compost, para su aplicación como biofertilizante en los suelos que se consideran poco o muy poco productivos del país, así como una caracterización biológica de los principales grupos microbianos presentes en el proceso de compostaje y su contribución para mejorar las características físicas del suelo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Sistema de compostaje y sustratos empleados

Se utilizó un sistema descentralizado con aireación natural para el montaje del reactor de compostaje. El reactor tenía forma rectangular con dimensiones de 54cm x 35cm x 48cm. Como sustratos se emplearon: papel, cartón, desechos de cocina, desechos verdes (fracción orgánica de los RSU), provenientes del vertedero "Calle 100" en Ciudad de La Habana. Se controlaron parámetros como la temperatura, pH, conductividad eléctrica, humedad y los volteos de la pila fueron realizados manualmente.

### Aislamiento de microorganismos

El aislamiento de los microorganismos fue realizado de acuerdo con la metodología descrita por Olynciw, 2002. La toma de muestra se efectuó diariamente durante los primeros cuatro días y semanalmente durante el resto del tiempo. A partir de la muestra inicial se realizaron diluciones decimales seriadas, de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-10}$ , inoculándose asepticamente en placas de Petri (10 µL por placa) de 9 cm de diámetro que contenían Agar Papa Dextrosa (Hawksworth et al., 1995), Agar Nutriente (Hawksworth et al., 1995) y Agar Almidón Amoniaco (Hawksworth et al., 1995), para facilitar el crecimiento de hongos, bacterias y actinomicetos, respectivamente. Luego se incubaron de manera

invertida a 30°C (Agar Papa Dextrosa) y 37°C (Agar Nutriente y Agar Almidón Amoniaco) durante 72, 24 y 120 horas respectivamente.

### Evaluación del crecimiento microbiano e identificación de los aislados

La evaluación de la concentración celular en las muestras de compost, se calculó utilizando el método de conteo de viables, de acuerdo a la ecuación 1:

$$\text{UFC /g} = \# \text{ de colonias} \times \text{dilución} \times 100 \quad (1)$$

A partir de los cultivos puros obtenidos, se emplearon criterios morfológicos convencionales y pruebas bioquímicas de acuerdo al *Bergey's Manual*, 1994, para la identificación de los aislados. La identificación tanto de géneros como de especies fúngicas se realizó, de acuerdo a los criterios de: (Raper; Fenell 1965); Ellis (1971, 1976) y (Bisset 1991). Agar Czapek (Hawksworth et al., 1995), fue utilizado para la identificación del género *Aspergillus*.

### Determinación de la madurez y calidad del compost

Se implementaron cuatro test para evaluar la fitotoxicidad y madurez del compost obtenido, estos fueron: Test de Autocalentamiento, Test de Germinación, Test de Crecimiento, se emplearon semillas de maíz, *Zea mays* y Test de Barley (se emplearon semillas de trigo, *Triticum aestivum* L), según la metodología descrita por (MBAC 2000), con algunas modificaciones. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante el programa Startgraphics Plus versión 3.0. Para detectar la existencia de diferencias significativas entre los mismos, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple; al presentar diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de Tukey ( $p \leq 0.01$ ).

Se determinó la presencia de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) según la técnica de la placa vertida ISO 4832:1991, IDT.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Microorganismos aislados del compost

Los géneros microbianos identificados entre los aislados obtenidos a partir del compost se muestran en la tabla 1. Se puede observar que muchos de ellos son miembros también de la microbiota del suelo, con lo cual se establecen con mayor rapidez en las superficies recientemente erosionadas y ayudan al proceso de fragmentación y transformación química del suelo. Estos resultados no son sorprendentes, si se tiene en cuenta la similitud que existe entre el compost y un suelo en buenas condiciones, en cuanto a sus características físicas, físico-químicas y químicas, lo que concuerda con lo citado por (Laos 2003) y (Velarde et al., 2004).

La masa de compost fue colonizada en mayor proporción por bacterias (44,6%), seguido por actinomicetos (32,2%) y en menor número por hongos (23,1%), de acuerdo con lo informado por (Velasco et al. 2004), (Laos 2003) y (TCIWMB 2001).

TABLA 1. GÉNEROS MICROBIANOS IDENTIFICADOS EN COMPOST ELABORADO A PARTIR DE RSU

Días	Géneros microbianos
0	Alternaria, Penicillium, Micrococcus, Bacillus
2	Micrococcus, Bacillus, Streptomyces, Trichoderma y Aspergillus
3	Pseudomonas, Bacillus, Streptomyces, Actinomyces, Trichoderma
4	Bacillus, Streptomyces, Actinomyces
9	Pseudomonas, Bacillus, Actinomyces y Penicillium
16	Azospirillum, Pseudomonas, Streptomyces
23	Azospirillum, Streptomyces, Trichoderma
30	Azospirillum, Streptomyces, Aspergillus
37	Bacillus, Actinomyces, Alternaria
44	Pseudomonas, Streptomyces, Alternaria, Ulocladium
51	Azospirillum, Streptomyces, Aspergillus
58	Azospirillum, Streptomyces, Pseudomonas, Actinomyces
65	Pseudomonas, Bacillus, Actinomyces, Ulocladium
72	Azospirillum, Streptomyces y Penicillium
79	Pseudomonas, Streptomyces, Actinomyces y Trichoderma
85	Bacillus, Actinomyces, Azospirillum, Aspergillus
93	Pseudomonas, Streptomyces, Actinomyces, Alternaria
100	Pseudomonas, Bacillus, Actinomyces, Ulocladium

Los géneros *Micrococcus*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Actinomyces*, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Trichoderma* han sido citados anteriormente en estudios de compost por otros autores como (Velarde *et al.* 2004) y (Martínez 2004), mientras que la especie *Ulocladium atrum* Preuss (Fig. 1), constituye un nuevo reporte para compost elaborado a partir de RSU, pero ha sido reportada con anterioridad en humus según (CAB International 2001). Más

del 50% de los géneros microbianos aislados son utilizados en la agricultura como agentes biocontroladores de fitopatógenos o como estimulantes del crecimiento vegetal. Durante la etapa de maduración, predominan los procesos de síntesis y polimerización (en especial el humificado), la formación de antibióticos fitohormonas y compuestos vitamínicos, desarrollándose una microbiota favorable para el desarrollo de las plantas.

FIGURA 1. ULOCLADIUM ATRUM PREUSS [40X10]

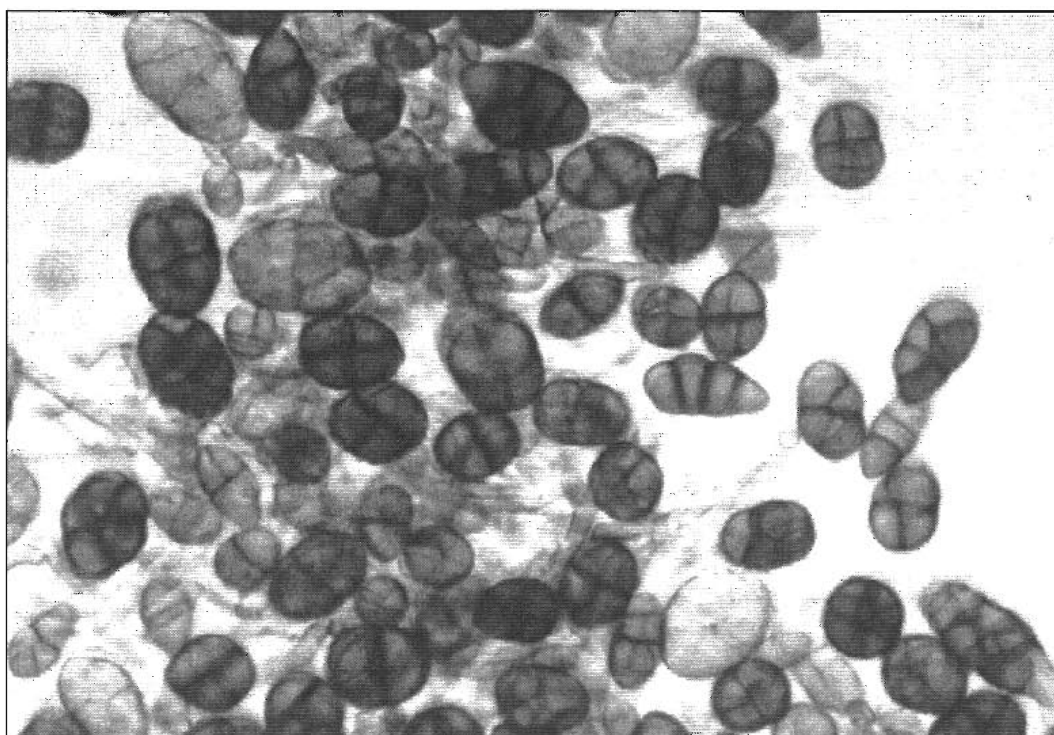


TABLA 2. VALORES DE TEMPERATURA ALCANZADOS EN EL TEST DE AUTOCALENTAMIENTO

Días	Temp. Mínima (°C)	Temp. Máxima (°C)
1	20,7	26,9
2	20,4	26,2
3	20,7	26,8
4	20,5	26,4
5	20,5	26,4
8	20,6	26,3
9	20,3	26,1
10	20,3	26,1
11	20,2	26,2
12	20,1	26,2
15	20,1	26,1

#### Evaluación de la madurez y calidad del compost

El valor máximo de temperatura alcanzado en el Test de Autocalentamiento (26°C), que se muestra en la tabla 2, permitió según lo informado por MBAC (2000) y WERL (2005) ubicar al compost dentro del grado V de maduración (temperatura 20-30°C), donde se clasifica como un producto terminado, maduro y estable, el cual puede ser aplicado directamente al suelo como un biofertilizante.

En el caso del Test de Germinación, luego de transcurrir 15 días, se determinó que el compost se encontraba libre de contener cualquier tipo de semillas de maleza con capacidad de germinación, lo cual es un indicador de la correcta realización del proceso de compostaje ya que según Velarde *et al.* (2004), la mayoría de los procesos de compostaje tienen una alta eficiencia en la destrucción de las semillas de plantas indeseables traídas con los residuos.

En la tablas 3 y 4 se muestran los resultados alcanzados por medio el Test de Crecimiento. En la tabla 3 se aprecia que sólo se encontraron diferencias significativas al comparar las alturas de las plantas de ambos sustratos, lo cual puede ser un indicador de que no se debe utilizar el compost en sustitución del suelo, sino como componente de mezclas. Los valores alcanzados para el compost respecto al contenido de materia orgánica fueron mayores que para el suelo, lo que concuerda con lo publicado por (MAP 2003).

TABLA 3. ALTURA PROMEDIO DE LAS PLANTAS DE MAÍZ EN COMPOST Y SUELO. TEST DE CRECIMIENTO

Altura de las plantas (cm)	
Suelo	Compost
8,66 <sup>a</sup>	7,0 <sup>b</sup>

Leyenda: a, b: significación estadística, 95% confianza ( $p < 0,05$ )

TABLA 4. CONTENIDO DE AGUA Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA PROMEDIO DEL SISTEMA FOLIAR DE LAS PLANTAS DE MAÍZ. TEST DE CRECIMIENTO

Sustrato	Sistema Foliar	
	Contenido agua	Contenido materia orgánica
Suelo	70,75% n.s.	81,22% <sup>a</sup>
Compost	72,96% n.s.	86,6% <sup>b</sup>

Leyenda: n,s: no significativo; a, b: significación estadística, 95% confianza ( $p < 0,05$ )

El hecho de que en el Test de Barley (tabla 5) los rendimientos, tanto del sistema radicular como del foliar, se encuentren por encima del 90%, permite la utilización segura del compost de diversas formas, ya sea como componente de mezcla en jardines o en la agricultura como estiércol o como agente mejorador del suelo, de acuerdo con lo publicado por MBAC (2000) y MAP (2003). Los mejores resultados se alcanzaron en la mezcla donde se empleó un 25% de compost solamente, lo cual ratifica que al mezclar el compost con el suelo en cantidades moderadas mejora los rendimientos de la cosecha y enriquece las propiedades del suelo (Laos 2003).

Es importante destacar que una biofertilización correcta ayuda a una fertilización tradicional, reduciendo el uso de energía de la planta a la hora de absorber los distintos nutrientes, disminuye la degradación del agroecosistema y reduce la pérdida de nutrientes del suelo por lixiviados, sobre todo de nitrógeno.

**TABLA 5. RENDIMIENTO PROMEDIO DEL SISTEMA FOLIAR Y RADICULAR DE LAS PLANTAS DE TRIGO. TEST DE BARLEY**

Mezclas	Sistema Foliar	Sistema Radicular
25%compost/75%suelo	127,8 n.s.	136,6 n.s.
50%compost/50% suelo	100,9 n.s.	104,8 n.s.

Leyenda: n,s: no significativo; \*\*: 95% confianza ( $p < 0,05$ )

La concentración de CT ( $4.1 \times 10^3$  UFC/mL) se encuentra dentro de los valores admisibles, por lo cual no constituye un riesgo si se quisiera emplear el compost en la agricultura. Los resultados descritos anteriormente, concuerdan con lo informado por Brinton (2000), Jones y Martin (2003) y WERL (2005).

La ausencia de CF en el compost, tuvo lugar debido a la selección que se realizó de los RSU, donde se descartó el uso de residuos que contuvieran excretas humanas o de cualquier otro animal, ya que constituyen el principal reservorio de los coliformes fecales. Según lo informado por EPA (2002), se puede agregar que también jugaron un papel importante las temperaturas alcanzadas durante el proceso de compostaje, las cuales

ayudaron a eliminar a la mayoría de los microorganismos potencialmente patógenos al hombre; así como la acción ejercida por los antibióticos producidos por el género *Streptomyces* sp sobre estos microorganismos dañinos.

#### 4. CONCLUSIONES

El compost obtenido como producto final del proceso de compostaje posee la calidad y madurez requerida para que pueda ser empleado como biofertilizante en suelos que están afectados por diferentes factores degradativos y se consideran poco o muy poco productivos.

Se identificaron un total de sesenta y cinco aislados, distribuidos en: *Bacillus* y *Streptomyces* (11), *Actinomyces* (10), *Pseudomonas* (9), *Azospirillum* (7), *Aspergillus* y *Trichoderma* (4), *Penicillium* (3) y *Micrococcus*, *Alternaria*, *Ulocladium* (2). Este último representado por la especie *Ulocladium atrum* Preuss, que constituye un nuevo reporte para compost elaborado a partir de RSU.

La mayoría de los géneros microbianos aislados forman parte de la microbiota del suelo, de ellos más del 50%, estimulan el crecimiento vegetal, mejoran las características físicas del suelo y contribuyen en especial a la supresión de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos.

#### 5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ASCANIO N Y PÉREZ C., 2002.

Reseña del uso y manejo agroecológico de los suelos, situación actual.

*II Seminario Internacional de Cooperativas. Universidad de La Habana. Noviembre 13,14.15. 2002.*

BRINTON W.F., 2000.

Compost Quality. Standards & Guiderlines.

*Woods End Research Laboratory.*

CAB INTERNATIONAL., 2001.

Crop protection Compendium Wallingford,

*UK: CAB International.*

CHOPRA S., 2004.

Quantification and compostition audit of waste generated at the early morning market in Vientiane, Lao PDR. M Eng. Thesis. *Department of Civil Engineeering. University of Toronto.*

EPA., 2002.

Environmental Protection Agency.

*Innovative uses of Compost: Bioremediation and Pollution Prevention. U.S. EPA.*

HAWKSWORTH L.B., KIRK P.M., SUTTON B.C., PEGLER B.N., 1995.

Hawksworth and Bisdy Dictionary of Fungi.

*8th Edition. International Micobiological Institute. CAB International Walling Cealing Ford.*

JONES P., MARTIN M., 2003.

Human and animals pathogens in compost.

*The waste and resources action programme. ISBN: 1-84405-063-7.*

LAOS F., 2003.

Compostaje de residuos orgánicos de actividades productivas y urbanas en la región Andino-Paragónica: determinación de índice de madurez para su utilización agronómica.

*Tesis Doctoral Universidad Nacional de Comabue. Argentina.*

MAP., 2003.

Manure Methods of Analysis.

*Univ. of Wisconsin. Methods of soil analysis.*

MARTÍNEZ G., 2004.

Evolución temporal del madurado de alperujo procedente de almazara.

*Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.*

MBAC., 2000.

Methods Book for the Analysis of Compost.

*Bundesgutegemeinschaft Kompost e.V. Germany. Federal Compost Quality Assurance Organization.*

OLYNCIW E., 2002.

Cornell Composting. Compost Microorganisms.

*Science & Engineering. Institute of Environmental Sciences.*

SUNDBERG C., 2003.

Food waste composting-effects of heat, acids and size.

*Licentiate Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences.*

TCIWMB., 2001.

The California Integrated Waste Management Board.

*Compost Microbiology and the Soil Food Web Introduction. Publication No: 442-00-013.*

VELARDE E., DE LEÓN ORTIZ M., CUELLAR I., VILLEGAS R., 2004.

Producción y aplicación de compost.

*INICA.*

VELASCO J., FIGUEROA B., FERRERA R., TRINIDAD A Y GALLEGOS J., 2004.

CO<sub>2</sub> y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación.

WERL., 2005.

Woods End Research Laboratory. Interpreting waste and compost test.

*Journal of the Woods End Research Laboratory. Vol 2. No 1. 2005.*



## Evaluación del estado actual de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos aplicando técnicas geofísicas

Pomposiello, Cristina <sup>1</sup> - Favetto, Alicia - Boujon, Pamela - Dapeña, Cristina - Ostera, Héctor

### Resumen

*En este trabajo se presentan resultados de ensayos geofísicos realizados en el marco de un proyecto multidisciplinario en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos de las ciudades de Gualeguaychú, provincia de Entre Ríos y San Carlos de Bariloche, provincia de Río Negro, Argentina.*

*Se realizaron varios sondeos eléctricos utilizando las configuraciones: dipolo-dipolo (DD) y Schlumberger (SEV) y se obtuvieron modelos bidimensionales (2D) y unidimensionales (1D) de la resistividad eléctrica donde se hospedan los residuos y del medio que se encuentra alrededor de los mismos. De esta manera se pueden determinar cambios verticales y laterales en las propiedades eléctricas de los sitios.*

*Por otro lado, se realizaron varios perfiles con georradar (GPR) con antenas de 150-500 Mhz dentro y fuera de los basurales. El GPR permitió la observación de los primeros metros de profundidad y distinguir el límite entre los depósitos de residuos y la zona que está en contacto con los lixiviados. El límite superior de la pluma de contaminante fue identificado a lo largo de los perfiles por la ausencia de reflectores o la existencia de muy débiles señales.*

*En el caso del basurero municipal de Gualeguaychú se han detectado anomalías de conductividad importantes por debajo del relleno sanitario que alcanzarían los 10 m de profundidad, producto de los lixiviados. Por otro lado las zonas aledañas también se encuentran comprometidas por la migración de los lixiviados a través del flujo subterráneo.*

*Los estudios geofísicos llevados a cabo en San Carlos de Bariloche han determinado la presencia de sectores caracterizados por una baja resistividad, compatibles con la existencia de plumas de contaminación hasta profundidades no inferiores a los 20 metros.*

*Los resultados obtenidos en los sondeos eléctricos y los alcanzados con GPR muestran buena correlación en los ambos sitios.*

**Palabras clave:** Geofísica ambiental, modelos de resistividad, GPR, relleno sanitario

### Abstract

*This paper presents the geophysical results of a multidisciplinary project at two landfills, one in Gualeguaychú city, Province of Entre Ríos, and other in San Carlos de Bariloche city, Province of Rio Negro, Argentina.*

*Several geoelectric studies, horizontal profiling and vertical sounding using dipole-dipole and Schlumberger electrode configurations respectively were done. Bidimensional (2D) and unidimensional (1D) resistivity models were obtained inside and outside the landfill area. In this way, it is possible determined lateral and vertical changes in the electrical resistivities in the survey sites.*

*Furthermore, GPR profiles with 150–500 MHz antennae were surveyed, inside and outside the landfill. The main objectives of the GPR surveys were to determine the depth of the solid wastes and the zones which are in contact with leachate. The upper limit of the contaminant plume was identified along*

Entregado: 30 de Noviembre de 2006 ▪ Aceptado: 25 de Julio de 2007

<sup>1</sup> INGEIS-CONICET, Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria,  
(C1428EHA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 4783-3021/4,

Dirección electrónica: cpomposi@ingeis.uba.ar



the profile by the absence of reflectors or the existence of very weak signals.

In the Gualaguaychu landfill, below the wastes anomalous conductivity zones which reach 10 m deep due to the leachate have been detected. In addition, the models obtained outside the landfill boundaries show contamination zones for the leachate migration through the groundwater flow.

The geophysical studies carried out at San Carlos de Bariloche landfill show the presence of two sectors. These zones are characterized by a low resistivity, compatible with the existence of contamination plumes up to depth no less than 20 meters.

The geoelectric studies and GPR results show a good agreement at both places.

**Keywords:** environmental geophysics, resistivity models, GPR, landfill

## 1. INTRODUCCIÓN

Una gestión integral de los residuos sólidos domiciliarios requiere un adecuado proceso de acciones para su manejo a diferentes escalas con el objeto de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población. En la mayoría de los países desarrollados se observa una tendencia a disminuir la generación de residuos e incentivar los programas de reciclaje. En los rellenos sanitarios los residuos se descomponen o biodegradan y desprenden sustancias tóxicas contaminantes originando lixiviados, los cuales pueden migrar formando una pluma contaminante y llegar a cursos de agua superficial y acuíferos. Los métodos geofísicos empleados en esta investigación son altamente eficientes en la determinación de zonas con grandes contrastes de resistividad eléctrica y de la atenuación de la señales de georradar (GPR) en medios de muy baja resistividad, indicando la presencia de fluidos salinos en el medio. Este tipo de metodología permite monitorear el alcance de la contaminación a través del tiempo.

Este trabajo presenta resultados geofísicos desarrollados hasta abril de 2005 en el marco de un proyecto multidisciplinario en el basurero municipal de Gualaguaychú, provincia de Entre Ríos y en el vertedero de residuos de la ciudad de San Carlos de Bariloche, provincia de Río Negro, Argentina. Estos sitios de deposición final de residuos no han sido construidos siguiendo los mecanismos de ingeniería moderna de los rellenos sanitarios que pretenden reducir sus impactos negativos en el ambiente. En la actualidad, los rellenos sanitarios están compuestos básicamente por una depresión en el terreno, cubierta por una membrana inferior impermeable, un sistema de recolección de lixiviados, un sistema de recolección de gases y una cobertura superior. No necesariamente todos estos elementos están presentes en todos los rellenos sanitarios.

En el caso del basurero municipal de Gualaguaychú (Caso I) colmatado y cerrado que estamos investigando no hay registros de su construcción y no existe sistema de recolección de lixiviados ni de gases, aunque se observa que los residuos han sido depositados en celdas paralelas.

Mientras que en el basurero de Bariloche (Caso II), el sitio se utilizó inicialmente como lugar de extracción de materiales para la pavimentación de una ruta. Como resultado de estas tareas se generó una depresión que se consideró adecuada para la acumulación y proceso de los residuos. El piso del basurero no está impermeabilizado. Diariamente se descargan residuos en un frente de acumulación, que son cubiertos por una capa de tierra y el conjunto es compactado.

Para llevar a cabo estos estudios se aplicaron las técnicas geofísicas mencionadas dentro y fuera del basural. Las tareas consistieron en varios estudios geoelectrónicos utilizando perfilajes

horizontales con dispositivo dipolo-dipolo (DD) para obtener modelos bidimensionales y sondeos eléctricos verticales (SEV) utilizando el dispositivo Schlumberger. Además, en correspondencia con los estudios geoelectrónicos se obtuvieron varios perfiles con georradar (GPR) utilizando antenas de 500 MHz y 150 MHz.

## 2. APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS

### DD

Se realizaron perfiles geoelectrónicos utilizando la configuración DD con 21 electrodos ( $a = 5$  m (abertura del dipolo) y una (separación entre dipolos) con  $n = 1, \dots, 8$ ). De esta manera se obtienen pseudo secciones de resistividad eléctrica con un total de 100 m de longitud y se estima la profundidad máxima hasta la cual los datos experimentales dan información confiable de la resistividad eléctrica del medio. Los modelos bidimensionales (2D) de resistividad eléctrica se obtuvieron invirtiendo los datos obtenidos usando el algoritmo DCIN2D (Oldenburg *et al.* 1993).

### SEV

Para realizar la evaluación de la resistividad eléctrica en capas más profundas se realizaron SEV (dispositivo Schlumberger) con apertura (AB) de inyección de corriente entre 6 m y 1 000 m, lo cual permite hallar un modelo de capas centrado en el lugar de medición y con una penetración entre 200 m y 300 metros. Los modelos SEV se obtuvieron con el software de inversión IPIWIN (Bobachev, *et al.* 2000).

### GPR

El GPR permitió la observación de los primeros metros de profundidad ( $\approx 10$ m) y distinguir el límite entre los depósitos de residuos y la zona que está en contacto con los lixiviados. Los perfiles con GPR fueron realizados con antenas de 500 MHz (blindada) y 150 MHz (aérea). El análisis de los datos incluyó la estimación de la permitividad promedio del suelo, el filtrado de la señal y transformación de tiempo a distancia. Se utilizó el programa comercial Prism versión 2.01 de la firma Radar System, Inc (<http://www.radsys.lv> 2004).

## 3. CASO I: BASURERO MUNICIPAL DE GUALEGUAYCHÚ

El área de estudio se circunscribe al predio del relleno sanitario municipal, situado al sur de la localidad de Gualaguaychú, cerca de la confluencia del arroyo del Cura con el río Gualaguaychú, provincia de Entre Ríos (Fig. 1a, b). El primero actúa como colector natural de la escorrentía superficial del área

y lleva agua todo el año generando un fuerte impacto ambiental por la descarga sin tratar de los efluentes cloacales de la ciudad.

La ciudad de Gualeguaychú tiene una población de 80 000 habitantes y cuenta con numerosas actividades comerciales, industriales y agropecuarias. En el predio del basurero municipal hay tres espacios de deposición. El más antiguo ya está colmatado y las tareas fueron suspendidas hace 5 años pero se desconoce si se tomaron medidas de protección ambiental durante el período de operación. Actualmente, el nuevo sitio está a cargo de la Empresa Municipal de Higiene Urbana, la cual solicitó una evaluación del estado del viejo relleno (pasivo) y del actual (activo).

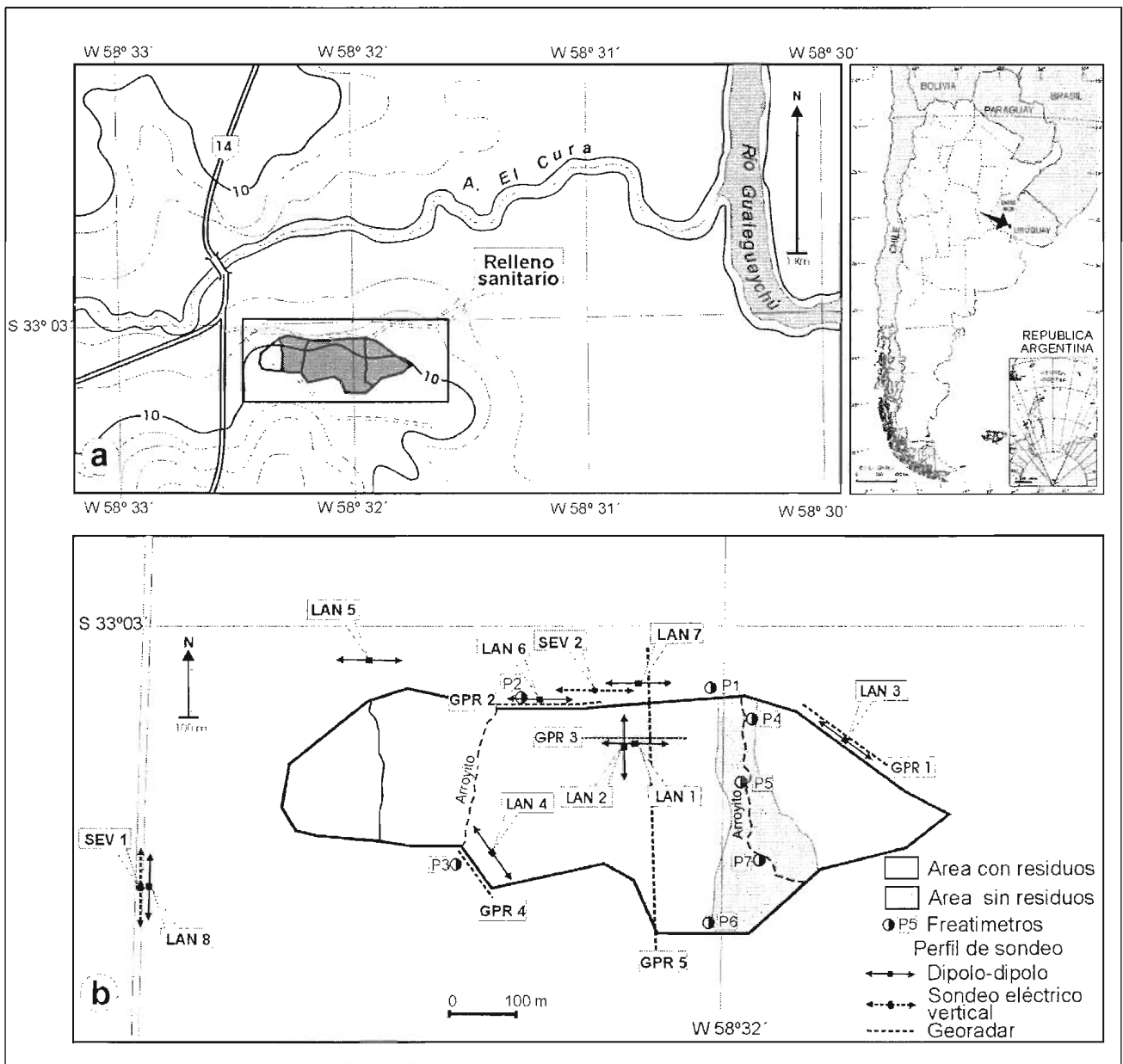
#### Características geológicas e hidrológicas locales

Desde el punto de vista regional esta zona forma parte de la Llanura Chaco Pampeana (Russo *et al.* 1979). Los afloramientos expuestos en la zona de trabajo corresponden a las unidades geológicas Formación Salto Chico, Grupo Punta Gorda y Formación La Picada y se describen de acuerdo a Iriondo (1980), Fili *et al.* (1994) y Fili (2001).

#### Formación Salto Chico

(Rimoldi 1963), de edad Plioceno - Pleistoceno inferior. Está compuesta por arenas gruesas y finas de color amarillo y rojo, también es frecuente la gravilla y la grava, con intercalaciones de arcillas de color verde y estratos irregulares de rodados finos y gruesos. Es de origen fluvial y portadora del acuífero principal de la zona. Tiene un espesor máximo de 60 m y se encuentra entre los 3,5 m y 120 m de profundidad.

FIGURA 1. a) Mapa de Ubicación del predio del relleno sanitario y la provincia de Entre Ríos, Argentina; b) Mapa esquemático mostrando la ubicación de perfiles geoelectrónicos DD, SEV y GPR y fretímetros



### Grupo Punta Gorda

(Iriando 1980) de edad Pleistoceno medio a superior. Comprende a las Formaciones Alvear y Hernandarias. En general para el este de la provincia de Entre Ríos se define la Formación Hernandarias (Reig 1956) que corresponde a una cubierta sedimentaria de tipo pampeano depositada en ambientes palustres y eólicos. La parte superior está constituida por limos, limos arenosos y arcillas castañas, pardas y rojizas con presencia de abundantes concreciones de carbonato de calcio. La parte inferior es más arcillosa con presencia de yeso en forma de cristales hojosos aislados y de color gris verdoso. Por otro lado, en las cercanías del área de estudio Guida y González (1984) encontraron evidencias geomorfológicas y estratigráficas de expansiones eustáticas vinculadas a niveles marinos relativamente elevados durante el Pleistoceno superior que están incluidas en esta formación. El espesor de la Formación Hernandarias varía entre 20 m y 40 m y constituye el sustrato del relleno sanitario y se encuentra entre 5 m y 30 m de profundidad. Desde el punto de vista hidrogeológico es un acuitardo que contiene al nivel freático. La calidad del agua es pobre y se utiliza para proveer de agua potable a algunas chacras y para abreviar al ganado.

### Formación La Picada

(Iriando 1980) de edad Holoceno. Corresponde a los depósitos sedimentarios que forman el relleno aluvial de los ríos y arroyos de la región. Forma una terraza baja y bien desarrollada. Su composición varía de un valle a otro, dependiendo de la naturaleza de las cuencas respectivas (litología y pendientes locales). Su granulometría es en general arenosa en la sección inferior y en la superior está constituida por limo de color castaño y arcilla negra. La circulación del agua está limitada al subálveo y generalmente presenta contaminación. Su espesor varía entre 1 m a 3,5 metros.

### Trabajo de campo

Se realizaron varios sondeos eléctricos coincidentes con perfiles de GPR en el basurero colmatado y en su zona de influencia. La ubicación de todos los sondeos geoelectrónicos y de GPR se presenta en la Figura 1b.

### Resultado y discusión

En la Figura 2a se presenta el modelo obtenido para el DD LAN01 (Oeste-Este). El modelo muestra una primera capa con un espesor de 2 m a 3 m y una resistividad de 100 ohm-m a 1 000 ohm-m. Esta capa aloja los residuos y el espesor concuerda con el determinado en un estudio magnético realizado en la misma área. Una segunda capa de espesor entre 4 m y 5 m y con bajos valores de resistividad (~ 5 ohm-m) determina el piso del depósito de residuos y la alta conductividad indica la presencia de fluidos ricos en sales probablemente producto del lixiviado. La tercer capa tiene una resistividad de alrededor de 15 ohm-m y un espesor de más de 10 metros.

El modelo de resistividad eléctrica para el DD LAN02 (Norte-Sur) es muy similar al DD LAN01. Presenta una capa resistiva superficial, una capa muy conductora intercalada y una tercera capa más resistiva de alrededor de 15 Ohm-m.

En el modelo correspondiente al DD LAN04, ubicado en la parte sur del relleno sanitario, se observa la capa más superficial con una resistividad eléctrica superior a los 100 ohm-m y un espesor entre 2 m y 3 metros. Tanto en esta capa como en los DD LAN01 y DD LAN02 se encuentran los residuos

domésticos y subyacente se halla una capa cuyo espesor no supera los 6 m con bajos valores de resistividad (~ 6 ohm-m). Esto indica, al igual que en los otros dos perfiles, evidencias de contaminación. La tercera capa presenta una resistividad mayor a 10 ohm-m y la máxima profundidad de investigación obtenida es 23 metros.

El centro del DD LAN03 ubicado en el borde oriental del relleno sanitario, se encuentra alrededor de 2,27 metros más bajo que los perfiles LAN01 y LAN02 y con una diferencia de nivel entre sus extremos de 1 m aproximadamente, siendo la parte más alta la ubicada al SE (Fig. 1b). En este perfil se tuvo en cuenta la topografía para invertir los datos y obtener el modelo (Fig. 2b). El mismo presenta una capa conductora de 4 ohm-m a una profundidad entre 5 m y 10 m con un espesor variable alrededor de 5 metros. La resistividad por encima y por debajo de esta capa es de alrededor de 20 ohm-m. En este caso no se presenta la capa resistiva superficial (> 100 ohm-m) observada en LAN01, LAN02 y LAN04 debido a la ausencia de residuos.

En el límite norte donde se efectuaron los perfiles DD LAN05, LAN06 y LAN07 existe un desnivel de 2 m aproximadamente por debajo de los DD LAN01 y DD LAN02 (Fig. 1b).

Los modelos obtenidos en estos perfiles muestran una resistividad superficial entre 3 ohm-m y 5 ohm-m. La resistividad obtenida coincide con la determinada en la segunda capa del relleno sanitario. Por debajo se halla una capa más resistiva (~15 ohm-m) y se observan cuerpos resistivos (~100 ohm-m) a una profundidad alrededor de los 10 metros. El modelo obtenido para el DD LAN06 se muestra en la Figura 2c, donde se observa que la capa superficial más conductora tiene un espesor entre 2 m y 5 m y el cuerpo resistivo se encuentra en la parte central del perfil a 10 m de profundidad aproximadamente.

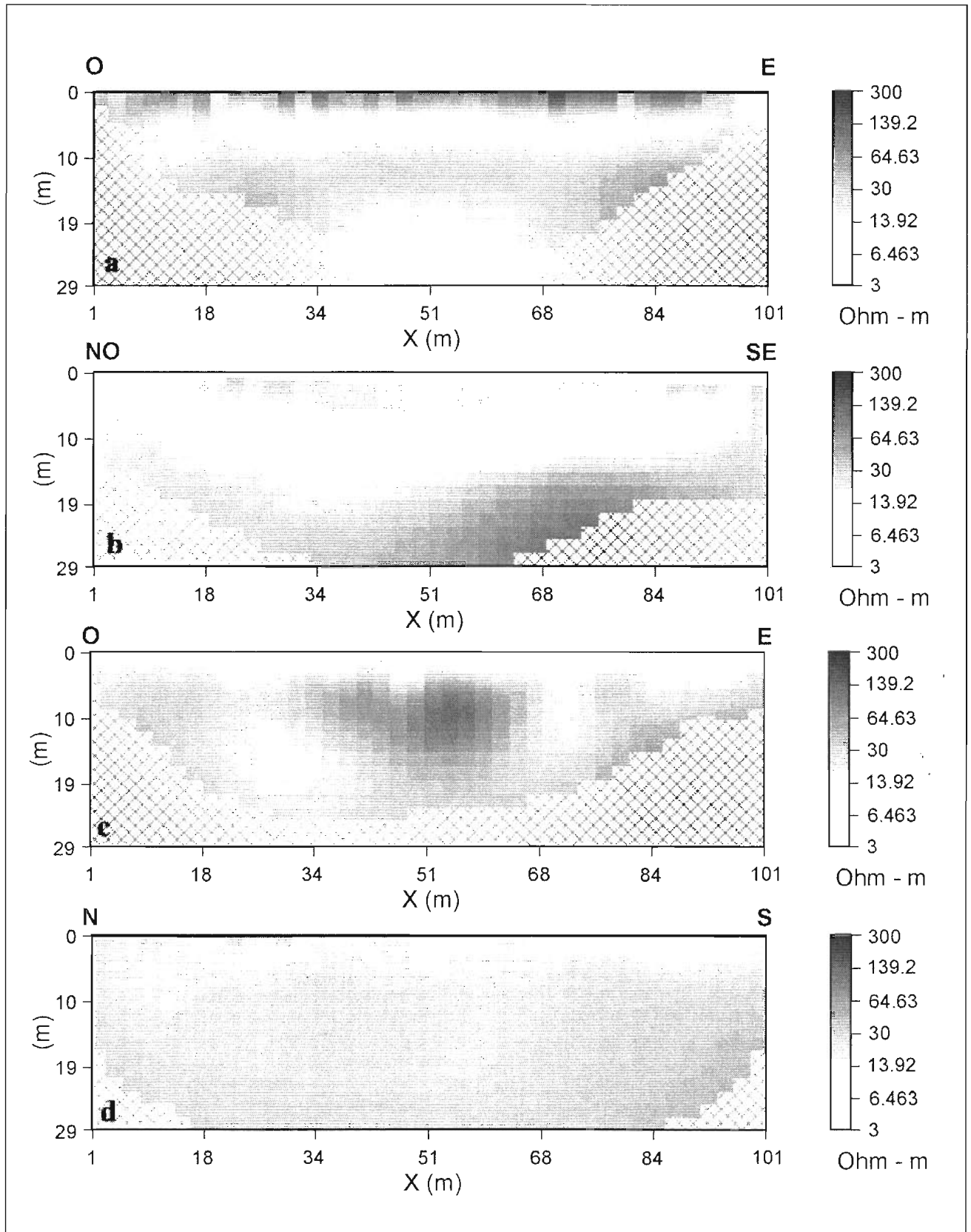
El modelo 2D coincide en su parte central con el modelo 1D que se obtuvo en el SEV2. Los resultados son comparables ya que este modelo muestra una primera capa con un espesor de 2 m y resistividad de 4 ohm-m y otra capa de 20 m de espesor y resistividad de 14 ohm-m. Por consiguiente, si se considera que la capa conductora detectada es explicada por la presencia de fluidos salinos típicos de lixiviados y no a la presencia de arcillas, la contaminación está restringida solamente a la capa más superficial (< 5 metros).

En el DD LAN08, usado de referencia fuera del predio del basurero, se obtuvo un modelo que no presenta cuerpos conductores siendo su resistividad promedio de 20 ohm-m (Fig. 2d). El SEV1 realizado en el mismo lugar dio resultados coincidentes a los obtenidos en el perfil 2D del LAN08.

Los perfiles GPR realizados con antena de 150 MHz y orientación aproximadamente N-S cubren toda la extensión del relleno sanitario y las zonas exteriores próximas (Fig. 1b). Se analizó el sector que coincide con el DD LAN02 y en la Figura 3a se muestra el perfil equivalente de GPR usando la antena 150 MHz. Se puede ver que los reflectores aparecen en las profundidades donde se encuentra los residuos y a continuación se atenúa notablemente la señal. En este caso, se observan zonas de atenuación en los mismos lugares donde se detectan cuerpos conductores en el modelo 2D del DD LAN02. La alta conductividad de los materiales se atribuye a fluidos ricos en sales, los cuales atenúan las ondas de radar no permitiendo que las mismas alcancen grandes profundidades.

FIGURA 2. MODELOS BIDIMENSIONALES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA LOS PERFILES

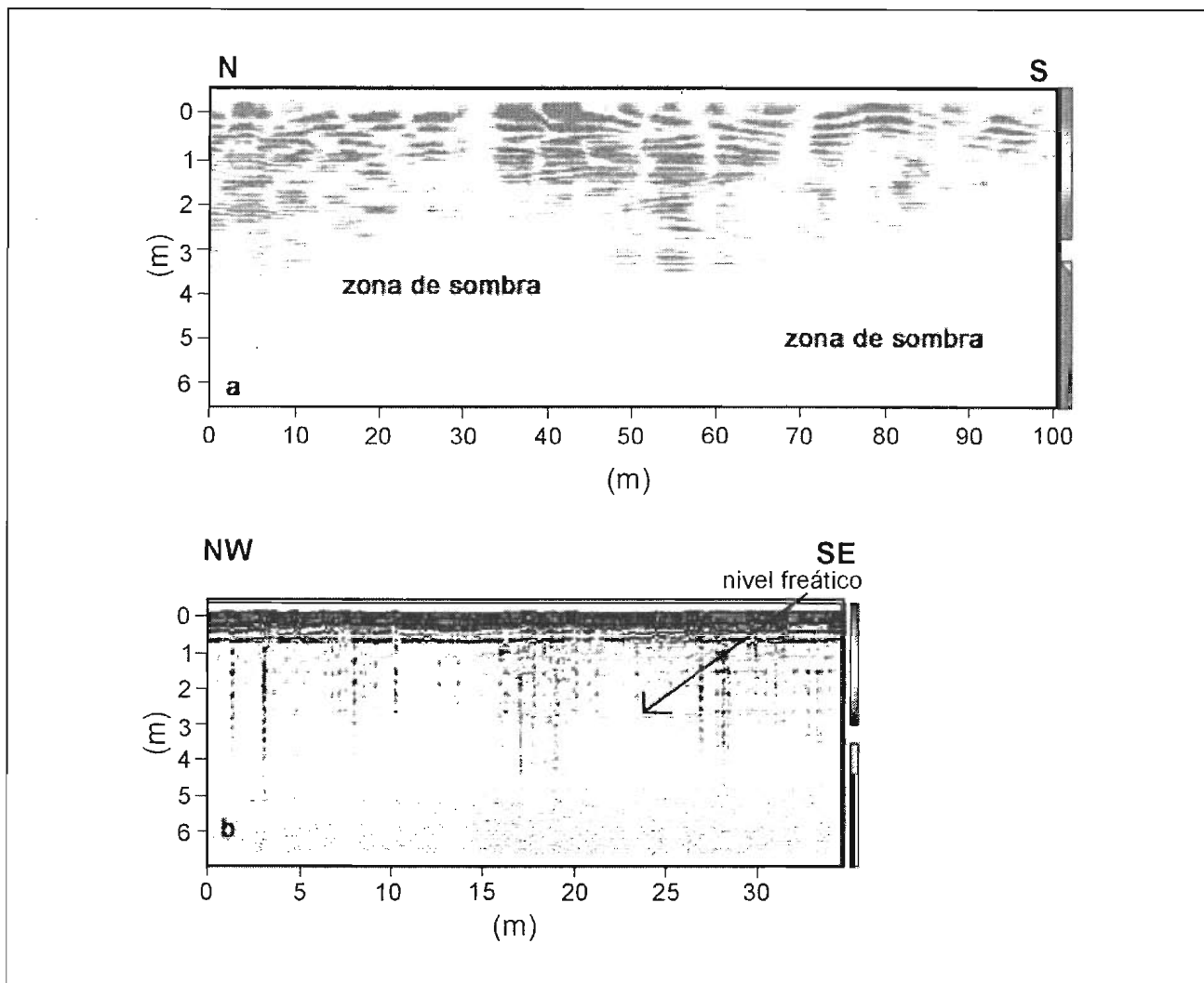
a) DD LAN01; b) DD LAN03 y d) DD LAN08



A partir de los resultados de las mediciones de GPR con antenas de 500 MHz se obtuvo la ubicación del nivel freático para un sitio fuera del basural (GPR1) que al momento de realizar este trabajo estaba a una profundidad aproximada de 2 m a 3 metros (Fig. 3b). Cabe destacar que el nivel freático

fluctúa estacionalmente. Además, en los perfiles realizados con antena de 150 MHz se observa una zona con ausencia de reflectores y la existencia de señales muy débiles a una profundidad variable pero alrededor de los 10 m en coincidencia con el modelo 2D del DD LAN03.

FIGURA 3. a) Perfil GPR con antena de 150 MHz coincidente con DD LAN02; b) Perfil GPR con antena 500 MHz



### Conclusiones

A partir de los estudios realizados se han detectado valores altos de conductividad por debajo del relleno sanitario que alcanzarían los 10 m de profundidad, posiblemente debidos a los lixiviados alojados en los sedimentos del Grupo Punta Gorda.

Las zonas aledañas también presentan superficialmente zonas muy conductoras que pueden deberse a la migración de los lixiviados a través del flujo subterráneo o a la litología de los depósitos. En el límite norte del relleno se detectó una capa superficial eléctricamente conductora y se midieron valores relativamente altos de conductividad eléctrica en los pozos. También se han encontrado cuerpos resistentes (~100 ohm-m) en un medio de resistividad del orden de los ~15 ohm-m. Estas anomalías se han interpretado como variaciones litológicas del Grupo Punta Gorda. En el límite este se encuentra una zona conductora localizada a la misma profundidad que la determinada debajo del relleno sanitario y además, se observa otra zona muy conductora por debajo de los 12,5 metros. Hasta el momento, esta

última anomalía no se ha podido interpretar y se necesitan nuevas investigaciones geofísicas y datos de perforaciones.

Los resultados obtenidos con GPR han permitido definir el nivel freático para el borde noroeste del basural cuando se utilizó la antena de 500 MHz, y al momento de realizar el trabajo, se encontró a una profundidad aproximada de 2 m a 3 metros. Con la antena de 150 MHz se ha podido detectar el límite superior de la pluma de contaminación por debajo del basural. La misma se define por la ausencia de reflectores o por la existencia de señales muy débiles. En esas zonas los modelos de resistividad muestran materiales con alta conductividad que no permiten que las ondas de radar alcancen grandes profundidades.

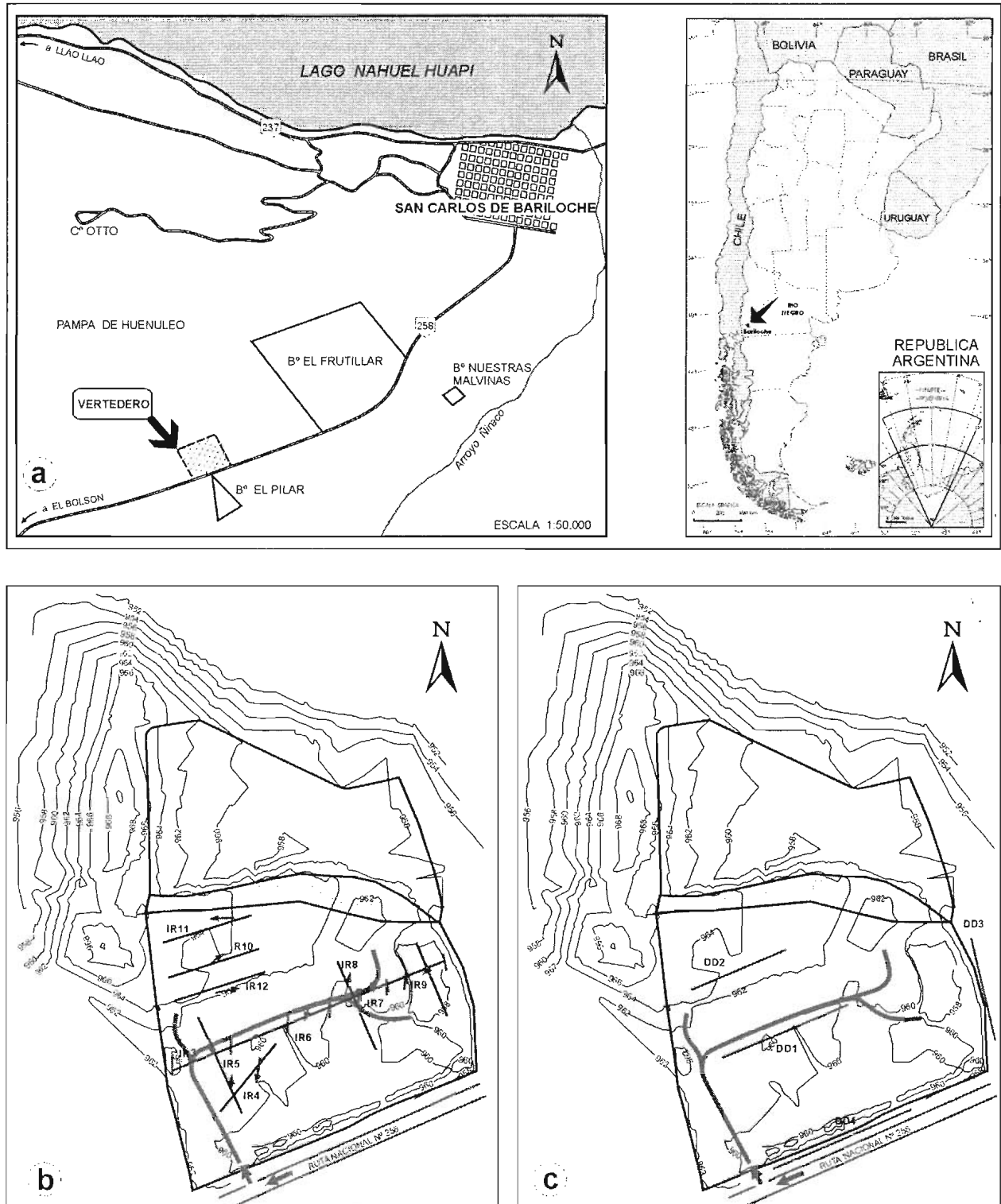
### 4. CASO II BASURERO DE BARILOCHE

El vertedero de residuos de la ciudad de San Carlos de Bariloche se encuentra ubicado sobre la Ruta Nacional 258, aproximadamente 8 km al SO del casco urbano. El sitio se utilizó inicialmente como lugar de extracción de materiales para

la pavimentación de la mencionada ruta (Fig. 4a). Como resultado de estas tareas se generó una depresión que se destinó para la disposición final de residuos. Se trata de un vertedero a cielo abierto de aproximadamente 10 has de superficie y de 8 m a 10 m de profundidad, que comenzó a operar a principios de la década del 80.

El sustrato del depósito está formado por depósitos de origen glaciario, muy permeables y de baja selección, compuestos por bloques, gravas y arenas. Como consecuencia de estas características texturales, los lixiviados tienen altas posibilidades de alcanzar los acuíferos y contaminarlos. El agua subterránea constituye una de las fuentes de agua de consumo para las zonas urbanas aledañas al repositorio.

**FIGURA 4.** a) Sitio de ubicación del vertedero y la provincia de Río Negro; b) Mapa esquemático mostrando la ubicación de los perfiles con GPR; c) Ubicación de los perfiles geoelectrónicos: DD1, DD2, DD3 y DD4



### Características geológicas e hidrogeología locales

Los afloramientos presentes en el área corresponden a las unidades geológicas que integran el Grupo Nahuel Huapi del Terciario Inferior y el Complejo sedimentario post-Plioceno-Cuaternario y que fueron descritas por *González Bonorino y González Bonorino 1978*.

El Grupo Nahuel Huapi (*González Bonorino 1973*) está constituido por las Formaciones Ventana y Ñirihuau, con un pasaje gradual entre una y otra y con un espesor total de aproximadamente 6 000 metros.

#### Formación Ventana

(*González Bonorino 1973*) se apoya sobre el basamento cristalino con contacto erosivo. Se trata de un complejo volcánico-sedimentario compuesto por lavas, brechas, tobas y wackes. Los componentes lávicos predominantes son andesitas acompañadas de dacitas, basaltos y basandesitas. Sobre estas lavas aparecen gruesos estratos de brechas volcánicas que alternan con tobas brechosas, tobas, wackes y bancos de ignimbritas.

#### Formación Ñirihuau

(*González Bonorino 1973*) está integrada principalmente por wackes feldespáticas, tufitas y tobas estratificadas y en menor proporción presenta brechas volcánicas con conglomerados, calizas oolíticas y de ostrácodos e ignimbritas.

Desde el punto de vista hidrogeológico estas unidades solo presentan algunas secciones acuíferas localizadas en rocas con porosidad fisural o intersticial y muy baja permeabilidad (*Román y Sisul 1984*).

El Complejo sedimentario post-Plioceno-Cuaternario está formado por depósitos glaciares y glacioluviales relacionados con glaciares de valle de la última glaciación. Desde el punto de vista hidrogeológico se los considera de porosidad intersticial y permeabilidad de moderada a alta (*Román y Sisul 1984*). El basurero se encuentra ubicado sobre estos sedimentos, que además conforman una divisoria de aguas y forman parte de la zona de recarga de por lo menos tres sistemas acuíferos importantes. Estos sistemas acuíferos y los cauces relacionados proveen de agua para consumo a las zonas urbanas aledañas.

#### Trabajo de campo

En el área de estudio se realizaron más de 30 perfiles con GPR (Fig. 4b), abarcando profundidades entre 10 m y 40 metros.

Se realizaron cuatro perfiles de mediciones geoléctricas con geometría DD de 100 metros de longitud y espaciamiento entre electrodos de 5 metros. Los perfiles DD1 y DD2 son dentro del vertedero y los DD3 y DD4 fuera del mismo. Los perfiles DD1, DD2 y DD4 están orientados en la misma dirección y sentido, mientras que el DD3 es casi perpendicular a ellos (Fig. 4c).

#### Resultado y discusión

El valor más bajo de resistividad eléctrica obtenida en los diferentes modelos es de alrededor de 1 ohm-m, mientras que el más alto es cercano a los 1 000 ohm-m. Estos cuatro órdenes de magnitud han permitido diferenciar zonas de relleno, zonas de contaminación subterránea por lixiviados y la resistividad promedio del terreno fuera del vertedero determinando la dirección del flujo de los lixiviados.

A partir del modelado de los datos analizaremos a continuación, la distribución en profundidad de la resistividad eléctrica del suelo y sus posibles causas para cada caso.

Los modelos de los perfiles DD1 y DD2 (Figs. 5a, b) muestran variaciones en la resistividad eléctrica del suelo entre 1 ohm-m y 1 000 ohm-m. En ambos casos los primeros 3-4 metros evidencian heterogeneidades típicas del relleno con zonas de alta resistividad por mayor contenido de aire, mientras que por debajo se hallan resistividades de 20-60 ohm-m hasta profundidades entre 7 m y 12 metros. Esta zona podría ser el límite máximo del relleno, mientras que las zonas más conductoras, debido a la presencia de los se profundizan hasta alrededor de los 20 m, especialmente en los extremos de los dos perfiles. La presencia de esta capa conductora representativa de lixiviados puede estar determinada, en el caso del perfil DD2, por los hábitos de descarga de desperdicios fluidos sin contralor.

En los modelos de los perfiles DD3 y el DD4 (Figs. 5c, d) se observa que la resistividad de la capa más superficial para ambos es del orden de 2000-5000 ohm-m, pero en la parte más profunda hay resistividades mínimas de 200 ohm-m (no contaminadas) para el DD3 mientras que en el DD4 alcanzan los 10 ohm-m. Este comportamiento sugiere que los lixiviados podrían estar migrando hacia esta zona (Ruta Nacional 258), con un flujo hacia el perfil DD4 y no hacia el perfil DD3. Esta es una importante conclusión, porque es coincidente con la idea general sobre las direcciones de flujo aportadas por trabajos previos.

El análisis de los perfiles con GPR ha mostrado las características del relleno, el cual es irregular en espesores, disposición y compactación. En la Figura 6 se presenta la imagen de radar que muestra la estructura del relleno hasta una profundidad de 3 m y se distingue la presencia de un objeto enterrado a poca profundidad.

#### Conclusiones

En síntesis, el estudio DD refleja la existencia de un relleno irregular con profundidades variables entre 5 m y 7 metros, con un máximo estimado en 12 metros. La presencia de lixiviados, reconocibles hasta profundidades del orden de los 20-25 metros, sugiere que no existen niveles impermeables que impidan la migración de los mismos hacia el subsuelo. La pluma de contaminación avanza en principio hacia la Ruta Nacional 258, no registrándose evidencias de su desplazamiento en sentido NE.

Los modelos de resistividad eléctrica obtenidos son característicos de rellenos sanitarios con grandes contrastes de resistividad debido a la presencia de fluidos muy conductores y a los residuos que generalmente son resistivos. Estos resultados se han podido correlacionar con las imágenes obtenidas con GPR. Por otro lado, se ha detectado la presencia de objetos enterrados de tamaño considerable, asociable a chatarra metálica como tambores entre otros.

#### 5. CONCLUSIONES FINALES

En los dos casos estudiados, los métodos geofísicos empleados han revelado que los sondeos eléctricos y las imágenes obtenidas con GPR son técnicas eficaces para identificar plumas de contaminación producidas por sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y caracterizadas por su elevada salinidad.

Estos métodos no invasivos permiten detectar con éxito variaciones físico-químicas asociadas a la presencia de contaminación sin tener que perforar en estos sitios con una alta

FIGURA 5. a) Modelos bidimensionales de resistividad eléctrica para los perfiles: a) DD1; b) DD2; c) DD3 y d) DD4

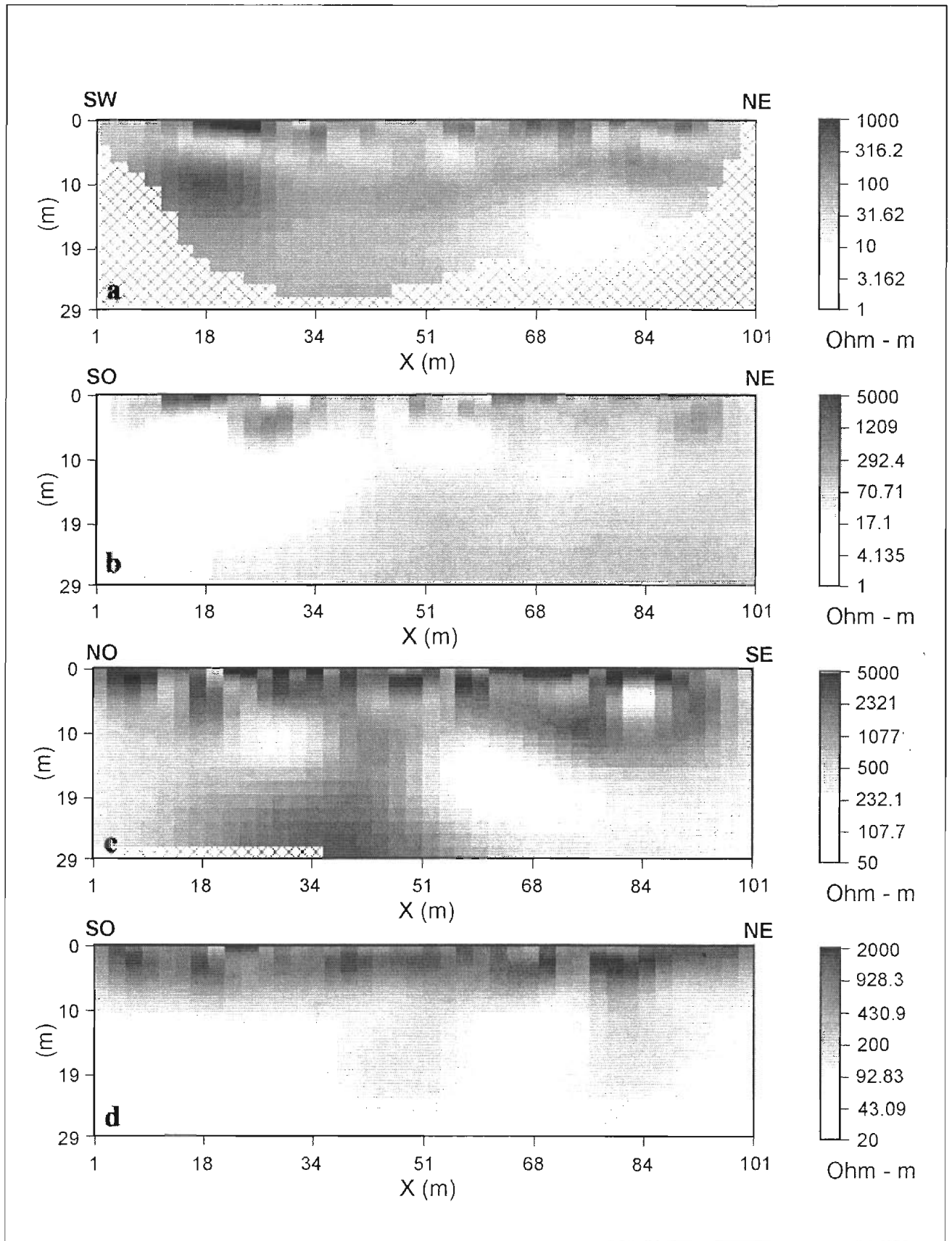
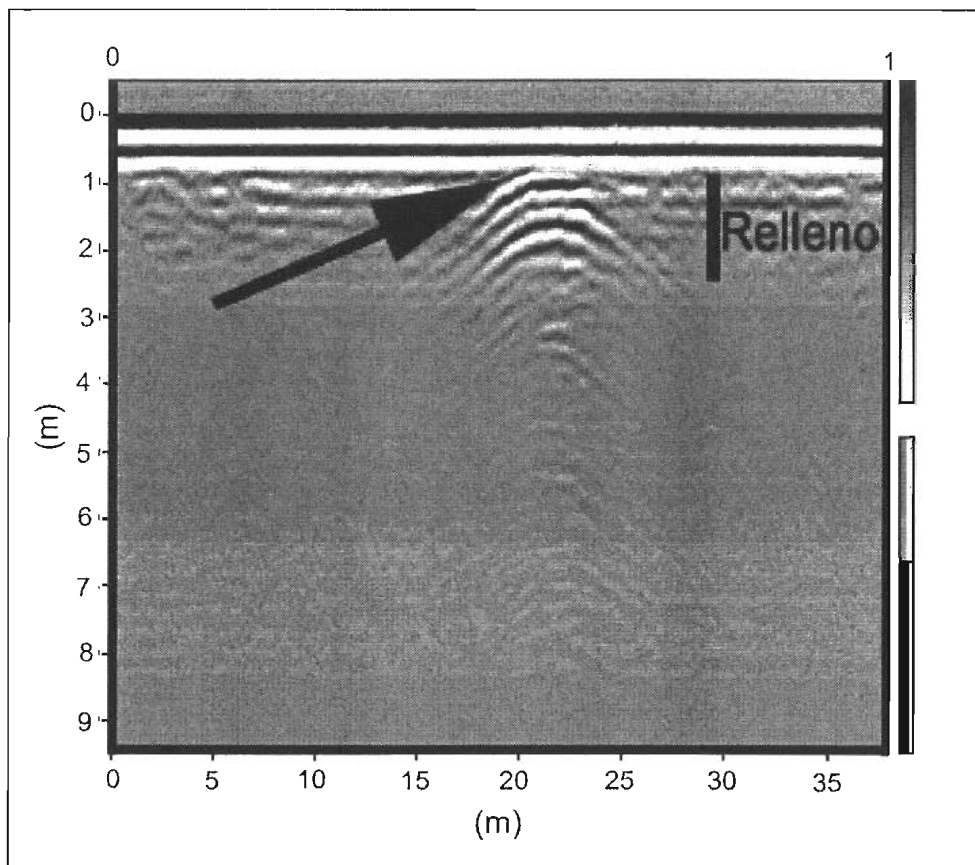




FIGURA 6. IMAGEN DE RADAR PARA EL RELLENO HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 3m



potencialidad de aumentar la contaminación en el agua superficial y subterránea. Asimismo, se destaca la necesidad de contar con datos geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos en puntos representativos para comparar e interpretar correctamente la información geofísica obtenida. La adopción de esta metodología es prometedora en las evaluaciones de impacto ambiental producidas en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Eduardo Llambías y Gabriel Giordanengo por su asistencia técnica y al Lic. Fernando Stöckli por su colaboración. Este trabajo de investigación fue realizado con fondos de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica en el marco del proyecto PICT 2002, N°12243.

## 7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BOBACHEV, A., MODIN, I.N. y SHEVNIN V., 1990-2000.  
Software. Department of Geophysics.  
*Geological Faculty. Moscow State University y Geoscan-M. Ltd.*
- FILI, M., TUJCHNEIDER, O., PEREZ, M. y PARIS, M., 1994.  
Investigaciones geohidrológicas en la provincia de Entre Ríos.  
*En: Temas actuales de la Hidrología subterránea. Bocanegra y Rajaccini (Ed.). Consejo Federal de Inversiones y Universidad Nacional de Mar del Plata. p. 299-313. Mar del Plata.*
- FILI, M., 2001.  
Síntesis geológica e hidrogeológica del noroeste de la provincia de Entre Ríos - República Argentina.  
*Boletín Geológico y Minero, V112, Número especial: 25-36. ISSN 0366-0176. Madrid.*
- GUIDA, N.G. y GONZÁLEZ, M.A., 1984.  
Evidencias paleoestuarías en el sudeste de Entre Ríos. Su evolución con niveles marinos relativamente elevados del Pleistoceno superior y Holoceno.  
*En IX Congreso Geológico Argentino. Actas III: 577-594.*
- IRIONDO, M.M., 1980.  
El Cuaternario de Entre Ríos de Ciencias Naturales del Litoral.  
*Revista N° 11: 125-141. Santa Fé. Argentina.*

- GONZÁLEZ BONORINO, F., 1973.  
Geología del área entre San Carlos de Bariloche y Llao Llao, provincia de Río Negro.  
*Departamento Recursos Naturales y Energía, Fundación Bariloche. Publicación 16: 53p.*
- GONZÁLEZ BONORINO, F. Y GONZÁLEZ BONORINO, G., 1978.  
Geología de la región de San Carlos de Bariloche: Un estudio de las Formaciones Terciarias del Grupo Nahuel Huapi.  
Asociación Geológica Argentina,  
*Revista XXXIII (3): 175-210.*
- OLDENBURG, D. W. Y LI, Y., 1994.  
Inversion of induced polarization data. *Geophysics V59: 1327-1341.*  
*Radar System, Inc. Software Prism. 2004. <http://www.radsys.lv>.*
- REIG, O. 1956.  
Sobre la posición sistemática de "Zygolestes paranensis" Amegh. y de "Zygolestes entrerrianus" Amegh.  
*Centro de Estudiantes del Doctorado en Ciencias Naturales de Buenos Aires. Revista Holmbergia 5 (12-13): 209-226. Buenos Aires.*
- RIMOLDI, H., 1963.  
Aprovechamiento del río Uruguay en la zona de Salto Grande.  
*En: Tercer Jornadas Geológicas Argentinas, Anales 2: 287-310.*
- ROMÁN, A.M. Y SISUL, A. 1984.  
Recursos Hídricos Subterráneos. En: Geología y Recursos Naturales de la provincia de Río Negro.  
*En: IX Congreso Geológico Argentino, Relatorio III (1): 565-582.*
- RUSSO, A., FERELLO, R.E. Y CHEBLI, G., 1979.  
Cuenca Chaco Pampeana.  
*En: Geología Regional Argentina, II Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Vol. I (4): 139-183. Córdoba.*





# Consideraciones sobre el saneamiento del sumidero del río San Antonio de los Baños

## Primera parte

Flores Valdés, Ernesto<sup>1</sup> - Flores Valdés, Leonardo - Feito Olivera, Rafael - Piñero Morales, Néstor

### Resumen

*Se presenta un resumen de las labores realizadas en una parte del sistema de cavernas asociadas al "Sumidero San Antonio de los Baños", con el propósito de limpiar, sanear y evitar las reiteradas inundaciones en el pueblo.*

*Se realizaron diferentes trabajos: limpieza de cauce del río aguas arriba del sumidero; evaluar los espesores de sedimentos que rellenan las cavernas del sumidero "San Antonio de los Baños" y "Eustaquio"; la caracterización del drenaje local y lejano de las aguas subterráneas y el estudio de la posible solución de los residuales sólidos extraídos de las cuevas. Para cumplimentar estas tareas se realizaron los trabajos siguientes: levantamiento cartográfico del cauce del río y del sistema de cavernas, perforaciones de investigación geológica y sondeos geofísicos. Se realizó la limpieza de dos de las cuevas principales, las que más influían en la inundación del pueblo, agilizándose éstas mediante avenidas controladas provenientes de la apertura de la represa "Compuerta de Muñiz".*

*En este artículo se exponen algunos de los resultados de estos trabajos.*

**Palabras Claves:** Carso, Geofísica, Saneamiento, Inundaciones

### Abstract

*A summary of the works is presented carried out in a part of the system of caverns associated to the drain "San Antonio de los Baños", with the purpose of cleaning, to clean up and to avoid the reiterated floods in the town.*

*They were carried out different works: cleaning of it causes of the river upstream of the drain; to evaluate the thickness of silts that stuff the caverns of the drain "San Antonio de los Baños" and "Eustaquio"; the characterization of the local and distant drainage of the underground waters and the study of the possible solution of the residual extracted solids of the caverns. To execute these tasks they were carried out the following works: cartographic rising of the causes of the river and of the system of caverns, perforations of geologic investigation and geophysical polls. It was carried out the cleaning of two of the main caves, those that more influenced in the flood of the town, being speeded up these by means of controlled avenues coming from the opening of it dams "Compuerta de Muñiz."*

*In this article some of the results of these works are exposed.*

**Keywords:** karst, Geophysics, cleanup, floodings

## 1. INTRODUCCIÓN

El río "Ariguanabo" o "San Antonio" drena las aguas de la "Laguna de Ariguanabo" y de una serie de manantiales de origen cársico que lo alimenta, siendo ésta una de las vías de descarga natural del acuífero subterráneo "Ariguanabo". Este río se pierde en una depresión cársica por el nombrado "Sumidero San Antonio de los Baños". Dicho sumidero es conocido desde la fundación del pueblo "San Antonio de los Baños", lugar donde los habaneros del siglo XVIII tomaban descanso y se daban baños de recreo, lo que motivó el crecimiento de la localidad.

En la primera mitad del siglo XX se construye una fábrica de levadura en las inmediaciones del sumidero y para dotarla de electricidad se realiza la construcción de una planta hidroeléctrica en la entrada de éste aprovechando las aguas del río en la generación de energía y evacuando las mismas al sumidero; por lo que se acometen trabajos de rectificación del cauce original, creando muros que encausan las aguas. A la par, la población va creciendo ocupando las diferentes terrazas fluviales y los paleo cauces que, naciendo de las elevaciones que limitan al pueblo por el norte, colectaban las aguas pluviales y descargaban en el valle de "San Antonio".

Durante décadas, y mientras funcionó la planta hidroeléctrica, el cauce de río era limpiado periódicamente, pero con el paso del tiempo se abandonó esta práctica y la población vertía todo tipo de desechos tanto a la entrada del sumidero, como al cauce del río; lo que provocó su colmatación por sedimentos antrópicos (Fig.1).

En reiteradas ocasiones, intensas lluvias, motivadas por ciclones u otras perturbaciones atmosféricas, ocasionan inundaciones de gran magnitud en las inmediaciones del sumidero.

FIGURA 1. ESTADO DEL RELLENO DEL SUMIDERO DE "SAN ANTONIO DE LOS BAÑOS"



FIGURA 2. SECTOR DEL RÍO "SAN ANTONIO DE LOS BAÑOS", NÓTESE LAS LABORES DE LIMPIEZA



## 2. CONDICIONES ACTUALES

En la actualidad se realiza la limpieza del cauce rectificando del río, del sumidero y la cueva de "Eustaquio" o "Materia Prima" (Fig. 2).

La limpieza del sumidero debido a la gran cantidad y diversidad de materiales vertidos en él han provocado casi su sellado total (Fig. 3) y ha motivado una serie de interrogantes, tales como:

- conocer las dimensiones de la caverna,
- cantidad de sedimentos a extraer y la profundidad de los mismos,
- sentido del drenaje local y lejano de esta agua,
- así como de la disposición final de los residuales que hoy en día se vierten en las cavernas.

A varios meses de intensos trabajos de limpieza en las dos cavernas (el sumidero del río y la cueva de "Eustaquio") al parecer, solo se han excavado menos de la mitad del total de sedimentos de desechos sólidos que rellena el sistema de galerías del sumidero del río "San Antonio" (Fig. 4).

## 3. TAREAS REALIZADAS

En la entrada del sumidero se han excavado aproximadamente 6 m en sentido horizontal faltando alrededor de 1 m más antes de descubrir totalmente la entrada del sifón y unos 2 a 3 m de profundidad para llegar al fondo. En la década de los años 40 (Núñez Jiménez 1970) las dimensiones de la cueva del sumidero de San Antonio eran 9 m de altura, 25 m de ancho y de 6

a 7 m de longitud mientras que en la actualidad tan solo tiene 5,60 m de altura, cerca de 6 m de profundidad y casi 20 m de ancho. Actualmente no es posible determinar el total real de excavación en el sumidero ya que es probable que se presente una obstrucción parcial de las galerías y no sea necesario remover grandes volúmenes de materiales.

Otro elemento a tener en cuenta es que a este sumidero llegan los residuales domésticos de una gran parte del pueblo, lo que hace bastante engorroso el trabajo.

En la cueva de "Eustaquio" las excavaciones fueron de unas dimensiones mayores ya que en la misma se pudo trabajar con equipos mecanizados en un inicio, extrayendo más de 1 000 m<sup>3</sup> de todo tipo de residuo sólidos.

Entre los trabajos realizados se encuentran:

- Se realizó un primer reconocimiento del sumidero y la cueva de "Eustaquio", después de iniciada la limpieza.
- Se realizó un levantamiento cartográfico de la cueva con la realización de un plano de cueva de "Eustaquio" (Fig. 5) que recoge 95 m del sector, en el cual se aprecia un salón (Cavidad de morfología semicircular, que se originan por la unión de varias galerías) de medianas dimensiones (45 m de largo, 19 m ancho y 5,40 m en su punto más alto), con una galería de 50 m de largo y entre 1,6 a 2 m de ancho, con altura entre 0,90 m a 1,70 m. La galería presenta grandes acumulaciones de desecho (latas de bebidas, pomos plásticos, papel, etc.) que pueden tener un espesor cercano a 1,50 m. En las paredes y techo de la galería se encuentran incrustados a distintos niveles todo tipo de

FIGURA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS ANTRÓPICOS



FIGURA 4. TRABAJO DE EXTRACCIÓN DE LOS SEDIMENTOS EN EL SUMIDERO



materiales, lo que evidencia que las aguas ocupan todo el conducto. Por sus dimensiones es de esperar que esto ocurra cada vez que se produzcan intensas lluvias; unido a lo anterior, por el interior de la caverna corren las aguas albañales que se introducen al sistema por el sumidero. Esta cueva tiene una salida en dirección Oeste a uno 100 m, la llamada "Cueva del Matadero", por donde también se vertieron desechos y residuales.

Se definió la necesidad de realizar un estudio geofísico entre las dos cavernas (Fig. 6) con vista a conocer qué profundidad y potencia tiene el relleno de las mismas y que dimensiones presenta la cavidad, empleando el método de tomografía eléctrica; por lo cual se planificaron las perforaciones de tres calas de 15 m de profundidad, para realizar dos perfiles (Fig. 6).

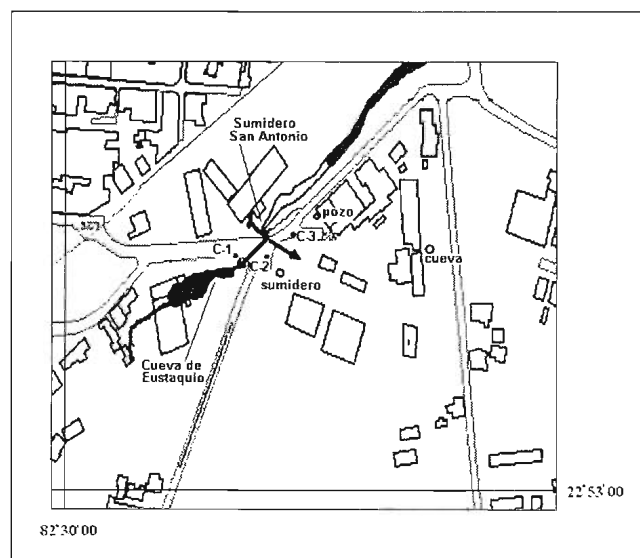
Se realizaron las tres calas (perforación para exploración geológica de diámetro entre 100 a 120 m) de 15 m de profundidad, con una disposición tal que entre ellas quedarán la posible unión de las cuevas, (Fig. 5), La separación entre si son:

de la cala C-1 a la C-2 de 15m y entre la C-2 y la C-3 de 21 m,

en todas se produjo caídas de barrena y fuga del líquido de perforación a los -9,20 m de profundidad,

-el nivel de las aguas subterráneas en las calas es de -7,30 m de profundidad.

FIGURA 5. ESQUEMA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Para los perfiles de tomografía eléctrica (obtención de imágenes de resistividad eléctrica de los sedimentos mediante la técnica de perfiles de imágenes) se realizaron un total 1 352 mediciones, con una red de puntos de 13 x 13. Para cada perfil 676 mediciones, (Fig. 7, 8, 9, 10, 11).

FIGURA 6. TRABAJOS DE SONDEOS GEOFISICOS



Los resultados de la tomografía fueron más de los esperados:

- Se reconocieron valores de resistividad eléctrica de materiales no consolidados entre 17 y 44  $\Omega$  - m, característicos de zonas de materiales no consolidados y saturados de agua, con lo que se realizó el esquema de la sección transversal de las galerías.
- Se determinó que los valores de resistividad medios en los perfiles (entre 17- 44  $\Omega$  - m) se interpretan como zonas cavernas rellenas por sedimentos no consolidados o inundadas. Con estos valores se definieron al menos dos sectores de galerías, que parten del sifón en sentido opuesto y que se encuentran una de ella colmatada por sedimentos con dirección Este- Sureste y estando parcialmente rellena la otra, que continúa hacia la cueva de "Eustaquio".
- La imagen sugiere que al parecer existen dos niveles de cavernas, uno que va de 1 m por debajo de la superficie del terreno y llega a 6 m más bajo y otro que partiendo de esta sobrepasa los 14 m de profundidad.

La profundidad medida del nivel del agua en las tres calas fue, como promedio, de -7,30 m. En el sumidero y la cueva se encuentra el nivel de las aguas a -5,40 m de profundidad, lo que sugiere la presencia de un cuerpo de agua colgado con relación al nivel de las aguas del acuífero, con una diferencia de 2 m que debe estar motivado por la colmatación de un tramo del sifón en su porción media.

En la actualidad ya se logró excavar hasta el inicio del techo del sifón en las dos cavernas y se continúan los trabajos de excavación.

Se detectaron paralelas al cauce del río tres formas cársticas (un pozo o chimenea de equilibrio natural de 9 m de profundidad por donde se ve correr la aguas, una pequeña depresión que funcionó como sumidero cuando las inundaciones de ciclón "Freddy" el cual fue sellado con escombros y un salón parecido a la cueva de "Eustaquio" donde se vertían los residuales de la fábrica de levadura; todos ellos dentro del área de la fábrica).

Para agilizar la limpieza del sifón del sumidero de "San Antonio" se proyectó la realización de cuatro golpes de agua, provocado por avenidas provenientes de la apertura de la "Compuerta de Muñiz" (Fig. 12) para que la misma, con su volumen y velocidad, removiera los sedimentos que colmatan la caverna, como vía de ganar tiempo y esfuerzo. Tales golpes se materializaron el sábado 6 de septiembre, en una primera ocasión, realizándose con posterioridad tres golpes más en los días del 7 al 9 del propio mes.

Al momento de realizarse la primera inyección el sumidero se encontraba desobstruido en su entrada presentando un gasto de 200 l / s y la cueva de "Eustaquio", con una limpieza total de su salón pero no así de sus galerías.



FIGURA 7. GRÁFICO DE MALLA CON LA DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE RESISTIVIDAD, ENTRE LAS CALAS C-2 Y C-3

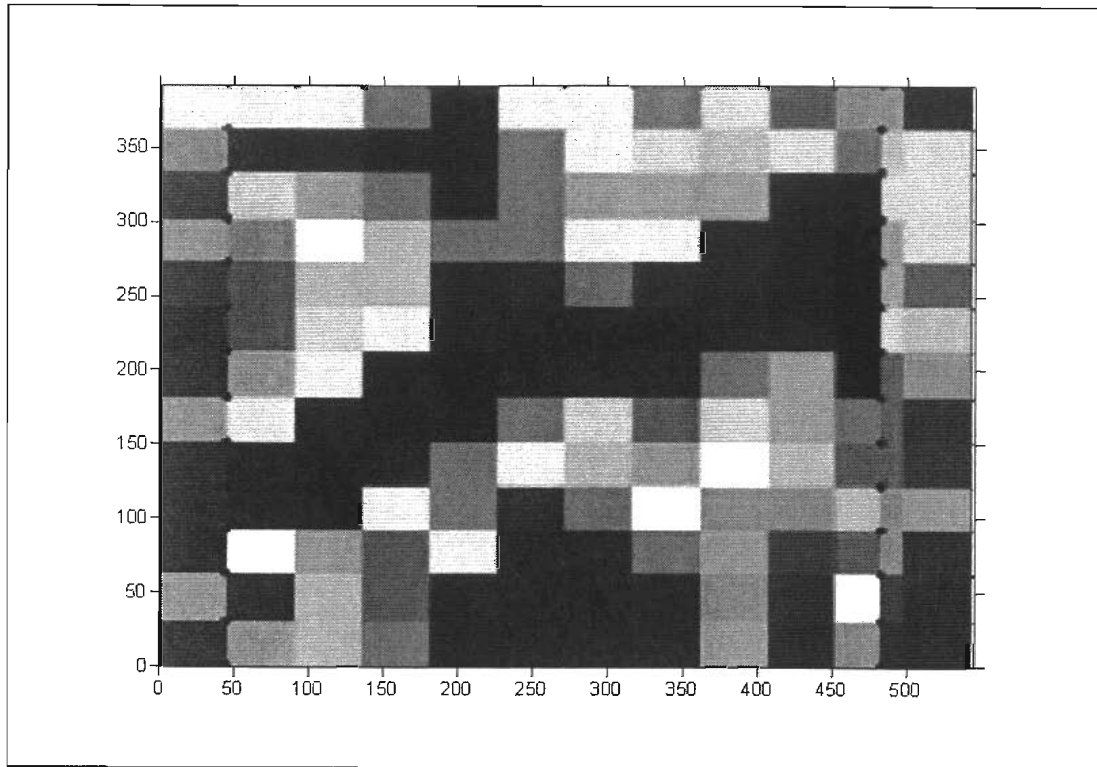


FIGURA 8. PERFIL DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA ENTRE LAS CALAS C-2 Y C-3

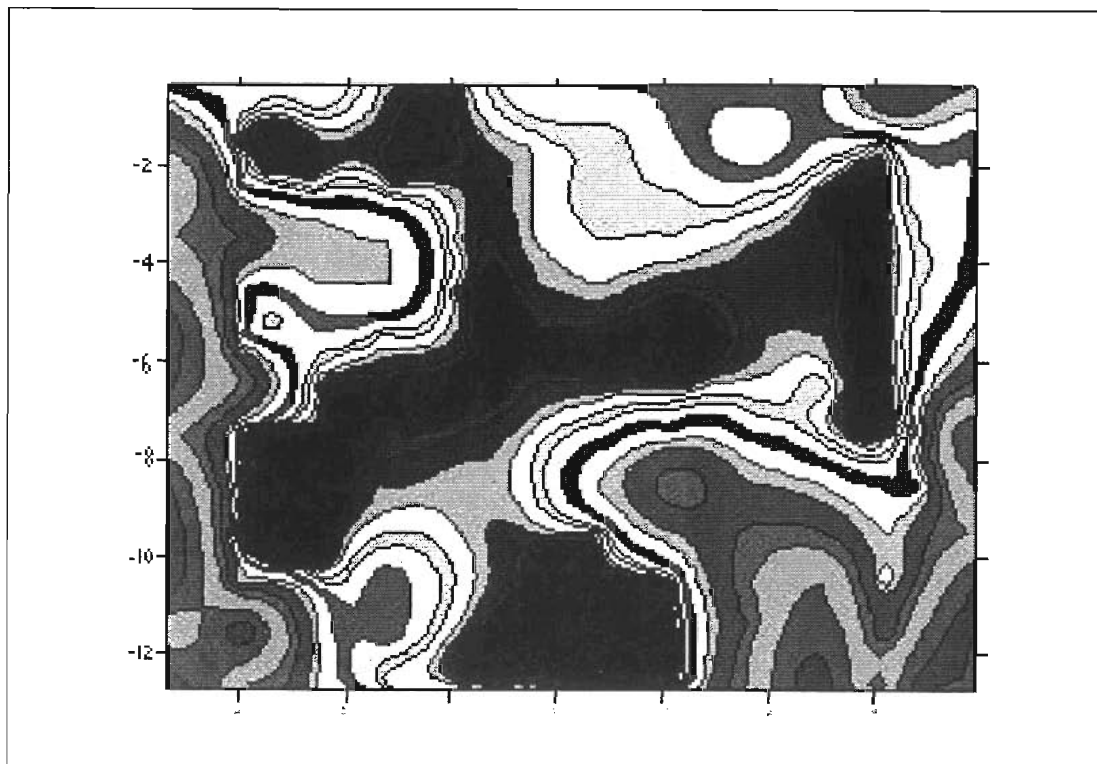


FIGURA 9. GRÁFICO DE MALLA, CON LA DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE RESISTIVIDAD, ENTRE LAS CALAS C-1 Y C-2

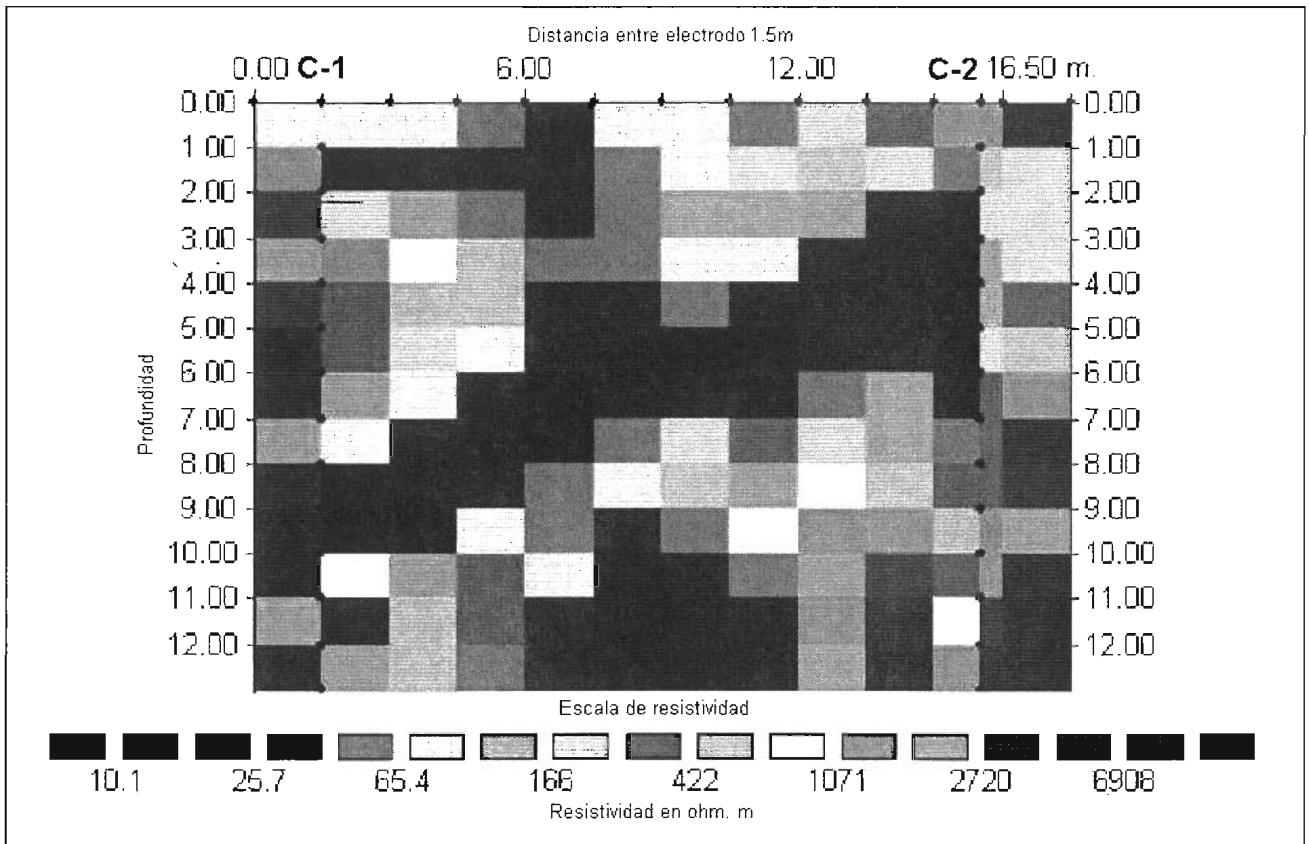


FIGURA 10. PERFIL DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA ENTRE LAS CALAS C-1 Y C-2

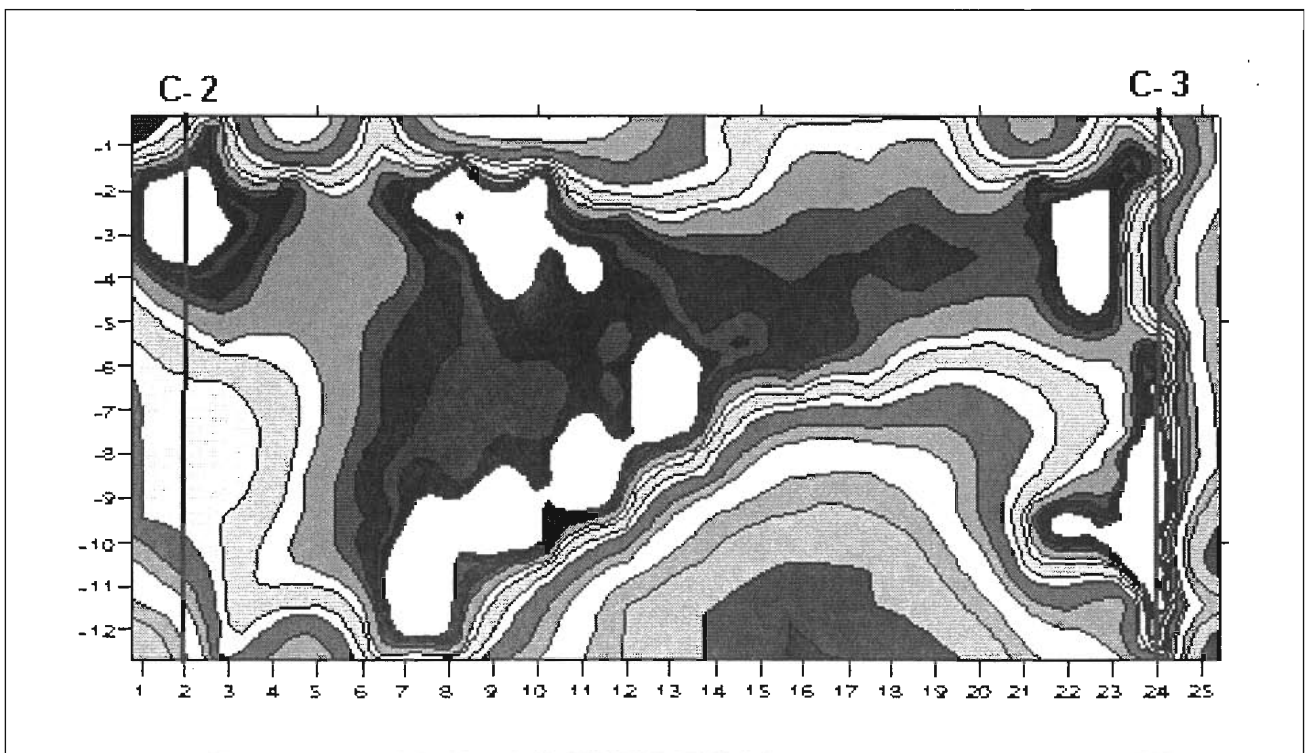


FIGURA 11. PERFIL ESQUEMÁTICO COMBINADO ENTRE LAS CALAS C-1, C-2 Y C-3

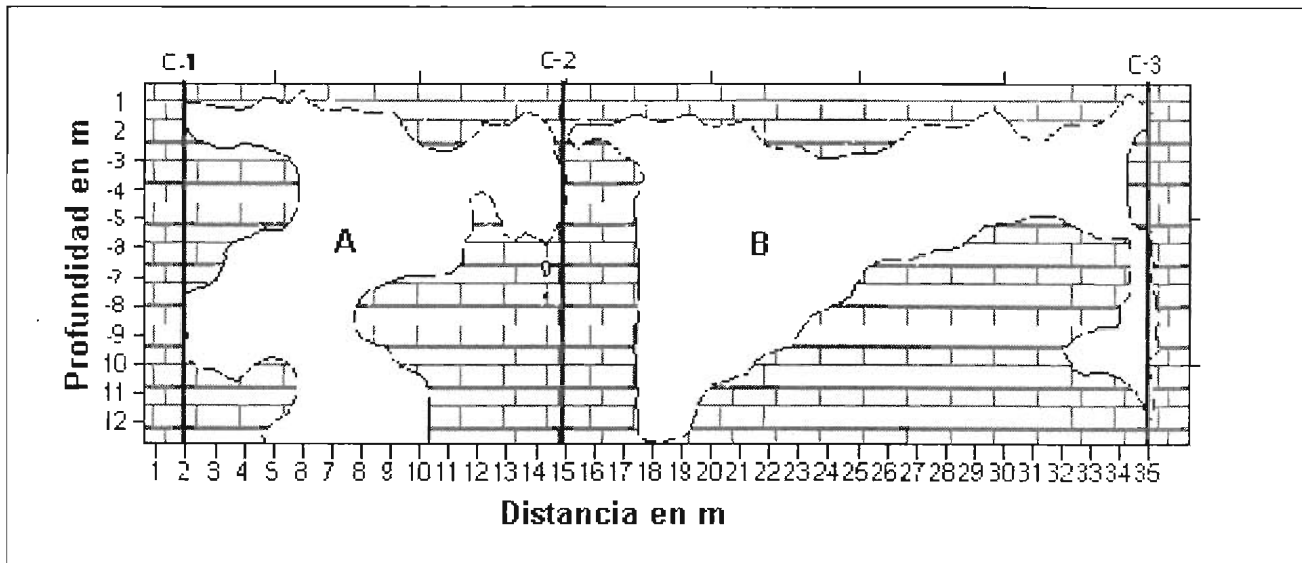


FIGURA 12. APERTURA DE LA "COMPUERTA DE MUÑIZ"



Las avenidas fueron lanzadas directamente contra el sumidero, el cual asimiló una parte de la misma en los primeros minutos (~10 minutos). Pasado este tiempo se produjo el esperado remanso de las aguas, efecto que se prolongó durante 1 hora, hasta alcanzar el límite superior del cauce del río, lo que motivó una inundación por remanso de 290 m de longitud en el cauce canalizado. El cauce presenta un ancho promedio de 15 m en esta sección, con profundidades del cañón que van de 6,50 m en la entrada del sumidero de 3 m en la cola del remanso.

Esta primera inyección retuvo en el cauce un volumen de agua equivalente a 9 000 m<sup>3</sup>, que fue drenado en 1 hora al cerrar la compuerta de Muñiz. Las sucesivas avenidas tuvieron distinto tiempo de llenado y vaciado, según datos ofrecidos por el delegado del CITMA municipal (ver Tabla 1).

**TABLA 1. TIEMPO DE LLENADO Y VACIADO DEL CAUCE**

Día / septiembre	Tiempo de llenado en hora	Tiempo de vaciado en hora
Sábado 6	1,00	1,00
Domingo 7	1,20	1,20
Lunes 8	1,30	1,45
Martes 9	1,50	2,00

En ninguna de las cuatro ocasiones se pudo conocer el volumen de agua vertido al cauce ni la velocidad del mismo, cálculos que están por realizarse. No obstante se realizaron algunos cálculos con el volumen de agua remansado contra el tiempo de vaciado (Fig. 13).

Durante la avenida del lunes 8 se realizaron las mediciones de los niveles de las calas, el pozo de la fábrica, la cueva de "Eustaquio" y el sifón en el sumidero, tanto al inicio de la inyección como en el punto máximo de la inundación, ver Tabla 2.

Se calcularon los gastos teóricos (Q) para drenar cada una de las avenidas, al cierre de la compuerta.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

$$V = L * A * \Delta H \quad (2)$$

Q = gasto teórico

V = volumen de agua remansada (m<sup>3</sup>)

t = tiempo de vaciado del remanso en el cauce (seg.)

L = longitud de la inundación en el cauce = 290 m

A = Ancho promedio del cauce = 15 m

$\Delta H$  = Altura de la inundación = 2.06 m

$$Q = \frac{9\,000\,m^3}{3\,600\,seg}$$

$$Q = \frac{2,5\,m^3}{seg}$$

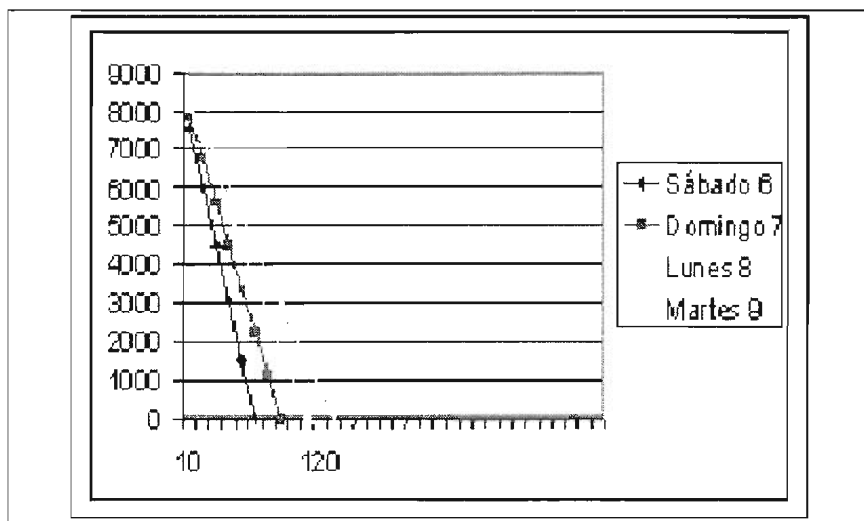
**TABLA 3. GASTOS TEÓRICOS CALCULADOS**

Día / septiembre	Gasto teórico en m <sup>3</sup> /seg.
Sábado 6	2,5
Domingo 7	1,8
Lunes 8	1,5
Martes 9	1,2

**TABLA 2. MEDICIONES REALIZADAS EN DIFERENTES PUNTOS**

Punto	Nivel inicial el día 8 (m)	Nivel alcanzado el día 8 (m)	Velocidad de ascenso del nivel de las aguas	Nivel del día 11 (m)
C-1	Tupido	Tupido	Tupido	Tupido
C-2	6,2	1,72	1,24 mm / seg.	6,65
C-3	6,2	1,23	1,38 mm / seg.	6,40
Pozo de la Fábrica	6,5	1,92	1,16 mm / seg.	6,65
Cueva de Eustaquio	6,1	1,00	1,41 mm / seg.	5,50
Sumidero	6,1	1,00	1,41 mm / seg.	6,30

**FIGURA 13. GRÁFICO DE TENDENCIA DE VACIADO DEL REMANSO DE LAS AGUAS EN EL CAUCE DE RÍO.**  
(Volumen & Tiempo)



De estas avenidas inyectadas al sumidero se pudo determinar que:

- El sifón del sumidero de "San Antonio" fue limpiado parcialmente, logrando que el mismo volviera a funcionar con una capacidad de drenaje superior a los 200 l / seg.
- Al realizarse la primera inyección se movieron parte de los sedimentos sueltos que aún quedaban en el sumidero hacia conductos parcialmente colmatados, como la galería final de la cueva de "Eustaquio" que comunica al resolladero del "Matadero".
- Que una parte de las aguas inyectadas drenó superficialmente por el paleo-cauce del resolladero del "Matadero", con un volumen equivalente a la mitad del agua vertida.
- Al compararse los tiempos de desagüe y los gastos teóricos necesario para drenar las aguas almacenadas, se nota que entre las avenida primera y la cuarta ocurre un incremento de tiempo con un decrecimiento de los gastos del orden de 1.30 m<sup>3</sup>/seg.

La limpieza en el sumidero "San Antonio", aunque es una tarea ardua y de imperiosa necesidad su realización, para evitar inundaciones, es de una prioridad mayor desde el punto de vista del saneamiento de sus aguas.

En la actualidad se procede a la ejecución de proyectos de revitalización de la red de drenaje pluvial, la construcción de

dos sectores de una red de alcantarillado con una estación de tratamiento en una localidad fuera de la zona urbana. La disposición de los sedimentos que se extraen de la limpieza de las cuevas son depositados en el vertedero municipal.

#### 4. COMENTARIOS

Todavía sin terminar la limpieza total del sumidero se puede tener algunas conclusiones tales como:

- En la cueva del "Sumidero del Río San Antonio" los conductos cársticos fueron colmatados totalmente de sedimentos de diversa índole, tanto por sedimentos naturales como los vertidos por la población, lo que lo corrobora los dos sondeos geofísicos realizados.
- Durante los trabajos de limpieza, los golpes de agua que se planificaron provocaron que se movieran parte de los sedimentos sueltos por la limpieza hacia conductos parcialmente colmatados.
- Una parte de las aguas inyectadas drenó superficialmente por el paleo cauce del resolladero del "Matadero" (200 l/seg.), gasto que no tenía antes de los trabajos de limpieza.
- Se debe realizar y se realiza la continuación de la limpieza y el proyecto del tratamiento de las aguas del río.

#### 5. TRABAJOS CITADOS

CUSTODIO, E. Y M. R. LLAMAS 1976,

"Hidrología Subterránea".

2 tomos. Barcelona, España.

FLORES VALDÉS, E. 2002,

"Estudio para el drenaje pluvial parcial de Jagüey Grande, Matanzas".

CENHICA. Ciudad Habana.

FEITÓ, R. Y R. SANTANDER 2003,

"Estudio hidrogeológico de factibilidad para la limpieza, saneamiento y reparación de las márgenes del río, en el pueblo de San Antonio de los Baños",

archivo del INRH

- FEITÓ, R. Y E. FLORES 2004,  
"Alerta Sumidero",  
*archivo del INRH*
- FLORES VALDÉS, E., O. BARROS MOURIÑO Y OTROS 1999,  
"Mapa Hidrogeológico de Cuba Esc. 1: 250 000".  
*INRH. La Habana.*
- FLORES, E. Y FLORES L. 2004,  
"Estudio hidrogeológico para el saneamiento del río en el pueblo de San Antonio de los Baños",  
*archivo del INRH.*
- FLORES, E., N. PIÑERO Y FLORES L. 2004,  
"Estudio geofísico para el saneamiento del río en el pueblo de San Antonio de los Baños",  
*archivo del INRH.*
- GARCÍA, J. A. 2004,  
"Estudio hidrológico para el saneamiento del río en el pueblo de San Antonio de los Baños",  
*archivo del INRH.*
- LÓPEZ INFANTE, E. 1992,  
"Esquema Regional para el aprovechamiento integral de los Recursos Hídricos y Agrarios de las provincias La Habana y Ciudad de La Habana".  
*Tomo de Hidrogeología de los Recursos de las aguas subterráneas, Ciudad de La Habana.*
- MOLERIO LEÓN L. 1984  
"Patrones y regímenes de flujo en cavidades directas del sur de la provincia de Matanzas",  
*Revista "Voluntad Hidráulica" No. 63, INRH, Ciudad Habana.*
- MOLERIO LEÓN L., E. FLORES VALDÉS Y GUERRA OLIVA M. 1996,  
"Esquema de circulación subterránea del río San Antonio de Los Baños, Habana",  
*CENHICA. Curso Regional para el estudio de Interacción de aguas superficiales y subterráneas con Técnicas Nucleares". de la OIEA, Santiago de Chile.*
- MOLERIO LEÓN L., R. FEITÓ OLIVERA Y OTROS 1974,  
"Mapa de isopacas del Neógeno Esc. 1: 1 000000".  
*Grupo Hidráulico Nacional del DAP, La Habana.*
- NÚÑEZ JIMÉNEZ, A. 1970  
"Clasificación genética de las cuevas de Cuba".  
*Editorial ACC, La Habana.*
- S. E. C. 1984,  
"Cuevas y Carso".  
*La Habana, Editorial Militar.*





Actividad Auspiciada por ASAGAI

## Primer Simposio Latinoamericano sobre Disposición de Residuos Urbanos y su Implicancia en las Aguas Subterráneas

Fresina, Mirta

El evento tuvo lugar entre el 24 y el 28 de julio de 2006, en la Sede de Colegiales de Universidad Católica Argentina. El mismo contó con los auspicios de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI) y de la Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo, (ALHSUD).

Al evento asistieron participantes de 6 países. México, Colombia, Cuba, Venezuela, Paraguay y Argentina. Al Curso asistieron 43 participantes, al Simposio asistieron 78 profesionales, y se presentaron 29 trabajos.

A su vez, en el marco del mismo se desarrolló el IIº Curso Latinoamericano "Comprensión de las Tecnologías, en el Manejo de los Residuos Sólidos". El dictado del mismo estuvo a cargo del Ingeniero Geólogo Humberto González Acevedo, Especialista en Tecnologías de Rellenos Sanitarios, de México, como profesor invitado, a cargo del tema "Comprensión de las Tecnologías, en el Manejo de los Residuos Sólidos", la Lic. Nora Nievas a cargo de los temas legales, el Dr. Adrián Silva Busso y la autora de esta nota, a cargo de los conceptos sobre agua subterránea y la implicancia de la ubicación de residuos descontrolados, en los recursos hídricos.

El objetivo de este curso se focalizó en los progresos más recientes de la ciencia y la tecnología, contemplando una visión integral y moderna de la gestión de los Residuos Urbanos, atendiendo las tendencias y la legislación ambiental vigente, con la finalidad de brindar capacitación a quienes directa o indirectamente desarrollan actividades de Gestión Integral de Residuos Urbanos.

Con respecto a la presentación de los trabajos en el Simposio, cuyo objetivo fue difundir los últimos métodos y avances tecnológicos disponibles a dichos fines y con ello promover el cuidado de los recursos naturales ofreciendo soluciones específicas y concretas a cada actividad desempeñada por el hombre, los mismos se dividieron en dos módulos: Proyectos en Elaboración y Proyectos en Ejecución.

Las temáticas que se desarrollaron fueron: Gestión ambiental, Planes de manejo, Saneamiento, Remediación, Disposición final de los residuos, Caracterización de los efluentes, Tratamientos biológicos de los efluentes, Acuíferos afectados por basurales no controlados, Protección de los recursos hídricos, Legislación, Situación nacional de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos, Panorama internacional sobre tratamiento de residuos y Educación y capacitación continua.

Asimismo cabe mencionar que el día 27 de Julio se llevó a cabo una reunión de Organismos Oficiales cuyo objetivo fue profundizar en los escenarios de ayer y de hoy, en lo que hace al manejo de los residuos sólidos hacia la búsqueda de nuevos escenarios. Se realizaron exposiciones de diferentes aspectos políticos, legales, técnicos y sociales respecto a la disposición de residuos, a fin de multiplicar esfuerzos en la adopción y aprobación de nuevas "Políticas Públicas Nacionales y Provinciales para el tratamiento de los Residuos Sólidos"

Finalizadas todas las exposiciones se realizó una mesa redonda para generar el debate abierto entre los participantes, pretendiendo con ello sellar conclusiones y definir lineamientos futuros para el manejo de residuos contaminantes a nivel preventivo.





---

A los fines de la impresión del presente volumen se ha recibido  
apoyo económico de las siguientes empresas y asociados:

LIC. JORGE WEXLER

MINERA TEA

Copyright 2008 by Editorial ASAGAI  
Maipú 645 - 1<sup>er</sup> piso - 1006 Buenos Aires  
Printed in Argentina

Se terminó de imprimir en Mayo de 2008  
Córdoba - Argentina

