

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Evaluación de impacto ambiental mediante cartografía temática: un estudio de caso	<i>Argüello, L. - Palacios, A. Herrero, S. - Pierotto, M. López Villagra, G. - Bartó, C.</i>	1
Materiales plásticos aptos para ser utilizados como base en sistemas de deposición de residuos en zonas urbanas. Entre Ríos. Argentina	<i>Bertolini, Juan Carlos</i>	18
Análisis del subsuelo de Bahía Blanca, en relación a unidades ambientales homogéneas, tipología edilicia y fundaciones	<i>Caló, Jorge E. - Fernández, Elba M. Marcos, Angel O. - Aldacour, Héctor E.</i>	28
Determinación del riesgo por colapso de una zona de la ciudad de Río Cuarto. Córdoba, Argentina	<i>Campanella, Osvaldo - Origlia, H. Daniel - Gomez, M. Laura Felizzia, Juan - Borgna, Jorge</i>	36
Geología aplicada a la ingeniería, planificación ambiental y ordenamiento del territorio	<i>Di Salvo, Carlos Alberto</i>	45
Curso de campo "fenómenos naturales - espacios antropizados - áreas degradadas" Alto Valle del Río Negro y Valle Inferior de los Ríos Limay y Neuquén	<i>Engelland, Silvia - Arroyo, Luisa Castaño, Elsa</i>	54
Consideraciones Geotécnicas e Hidrológicas para la Selección del sitio de emplazamiento de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de San Juan	<i>Fiore, Juan Manuel - Castro, Adolfo Turcuman, María Hortencia</i>	60
Mapeo de plumas contaminantes en sistemas geológicos mediante georadar	<i>Francisca, Franco Matías Rinaldi, Víctor Alejandro</i>	68
Caracterización hidrogeomorfológica y análisis de crecidas de la cuenca del cañadón de La Quinta. Comodoro Rivadavia. Chubut	<i>Hirtz, Néstor - Blachakis, Andrés</i>	79
Cartografía temática para la obtención de indicadores e índices de calidad ambiental	<i>Hurtado, M. A. - Giménez, J.E. Cabral, M. - Martínez, O. Gutiérrez, M. - Sánchez, C.</i>	91
Mineralogía y usos industriales de sedimentos arcillosos de la provincia de La Rioja	<i>Karlsson, Alicia - Ayala, Rosa Mansilla, Lylían</i>	101
Procesamiento de imágenes digitales: una aplicación para análisis de curvas de nivel y cálculo de volúmenes	<i>Minkoff, Darío - Fernández, Sandra</i>	106
Modelado digital de la depresión de las lagunas encadenadas del oeste aplicado a la gestión ambiental Buenos Aires	<i>Navarro, E.- González Uriarte, M.</i>	116
Zonificación de áreas afectadas por salinización para el estudio de la peligrosidad geológica en la hoja Mendoza	<i>Regairaz; Maria Cecilia Gonzalez, Maria Alejandra</i>	124
Mapa de emisividad calculado a partir de una imagen Landsat TM sobre un sector de la Cuenca del Azul	<i>Rivas, Raúl - Caselles, Vicente Valor, Enric - Entraigas, Ilda</i>	134
Los programas de geología ingenieril, ingeniería geológica e ingeniería geotécnica para el nuevo milenio	<i>Rocca, Ricardo José</i>	141
Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca Su comportamiento frente a la RAS	<i>Marfil, S. A. - Maiza, P. J. Salomón, R.C.J.</i>	146
Caracterización geomecánica de taludes en Potrero de los Funes Provincia de San Luis	<i>Sales, Daniel A. - Gardini, Carlos Origlia, Daniel</i>	153

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



Publicación Oficial de la

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 16 ■ 2001

ISSN 0326-1921

COMISIÓN DIRECTIVA

PRESIDENTE	<i>Dr. Horacio V. Rimoldi</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Geól. Juan Carlos Bertolini</i>
SECRETARIO	<i>Geól. Norberto Jorge Bejerman</i>
PROSECRETARIA	<i>Lic. María Alejandra González</i>
TESORERO	<i>Dr. Armando Massabie</i>
PROTESORERO	<i>Dr. Walter Sander</i>
VOCAL TITULAR	<i>Ing. José F. Speziale</i>
VOCAL TITULAR	<i>Lic. Roberto Kokot</i>
VOCAL TITULAR	<i>Lic. Rubén O. Cuesta</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Lic. Martín Guichón</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Lic. María Carolina del Valle</i>
REVISORES DE CUENTAS	<i>Dr. Jorge J.C. Colombo</i> <i>Dr. Carlos Gentili</i> <i>Dr. Jorge Pisetta</i>

COMITÉ EDITORIAL

DIRECTOR:	<i>Dr. Horacio V. Rimoldi</i>
EDITOR ASOCIADO:	<i>Geól. Norberto Jorge Bejerman</i>
COMITÉ EDITORIAL:	<i>Dr. Jorge O. Codignotto</i> <i>Geól. Juan Carlos Malecki</i> <i>Dr. Jorge Médici</i> <i>Dr. Ricardo Mon</i> <i>Dr. Jorge Santa Cruz</i> <i>Ing. José Speziale</i> <i>Ing. Oscar Vardé</i> <i>Dr. Bernardo Zakalik</i>

DELEGADOS REGIONALES (1999-2001)

REGIÓN NOROESTE	Titular: <i>Felipe Rivelli</i> Suplente: <i>Carlos Mir</i>
REGIÓN CENTRO NORTE	Titular: <i>Eliseo Popolizio</i> Suplente: <i>Roberto Torra</i>
REGIÓN MESOPOTAMIA	Titular: <i>Luis Muñoz</i> Suplente: <i>José L. Portaneri</i>
REGIÓN LITORAL	Titular: <i>Mario Fili</i> Suplente: <i>Oscar Albert</i>
REGIÓN CUYO	Titular: <i>Bernardo Zakalik</i> Suplente: <i>Rodolfo Cantarelli</i>
REGIÓN CENTRO	Titular: <i>Juan Carlos Malecki</i> Suplente: <i>Alberto E. Ruscullada</i>
REGIÓN PATAGONIA NORTE	Titular: <i>Eloy Depiante</i> Suplente: <i>Carlos Yema</i>
REGIÓN PATAGONIA SUR	Titular: <i>Nestor Hirtz</i> Suplente: <i>Mario Grizinik</i>
REGIÓN OESTE	Titular: <i>Jorge Romero</i>



EDITORIAL

En un momento en el que el país se encuentra postrado como nunca antes, donde las sociedades científicas, como la nuestra, se ven impedidas de desarrollarse y poder brindar a los asociados el cúmulo de conocimientos para las que fueron creadas, nos llena de orgullo la respuesta a la convocatoria al VII Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente y Cuarta Reunión sobre Preparación y Uso de Mapas Temáticos.

En una Época en que la Asociación se ve en dificultades financieras propias del momento, es que gracias al aporte de todos aquellos que cotidianamente luchan por un futuro mejor podemos brindarles una publicación que conjuga el desarrollo de metodologías innovadoras con la aplicación de conceptos ya existentes y el modelado de áreas de nuestro país. Así, nuestra apuesta en contra del desinterés que existe en tantos sectores de la vida cotidiana la vamos ganando gracias al notorio predominio de quienes se van superando y nos acompañan en esta postura.

Acciones tales como el pago de las cuotas societarias en fecha y el envío de artículos para su publicación al margen de la realización de simposios, congresos o reuniones, son las que impulsan la vida societaria y permiten que nuestros asociados, destinatarios de todo el esfuerzo, puedan acceder al estado actual del conocimiento en una diversidad de temas.

Hagamos de la Asociación un foco de saber que permita divulgar nuevas teorías, que las modernas tecnologías están creando, y la aplicación de las existentes, que nos permitirá marchar a la vanguardia del saber en el campo del conocimiento en el que estamos involucrados.

Es por ello que gracias a la invitación del Comité Organizador del VII Simposio, numerosos profesionales han respondido enviando resúmenes a partir de los cuales se edita este número de la Revista. Dicha respuesta permite vislumbrar un bábito de esperanza en nuestro devenir futuro que nos llena de orgullo y nos posibilita vislumbrar una luz de futuro en todo nuestro quehacer, de hoy en más.

El Director

Las opiniones vertidas en los trabajos son de exclusiva responsabilidad de los autores.

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 de 3,5" editados en **Microsoft Word para Windows, DOS o Macintosh; Wordperfect para Windows, DOS o Macintosh**, indicando que versión se utilizó.
- Los trabajos deberán tener una extensión máxima de 20 carillas.
- 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.
- Se deberá incluir el resumen del trabajo como primera sección del mismo.
- 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.
- 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 deberán identificarse, evitando ambigüedades. Las ecuaciones deberán numerarse consecutivamente, colocándose el número correspondiente entre paréntesis y a la derecha de cada ecuación. 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, DWG o EPS.
- 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. No se aceptarán fotografías en color. 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.
- La cita de otros trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: Caminos (1975). En caso de ser más de dos 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, ejemplo: Caminos (1956, 1978). En las citas totalmente entre paréntesis no se usará coma para separar el autor del año (Caminos 1956); en 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.
- Los trabajos citados en el texto serán incluidos bajo el título de TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO. Los mismos deberán estar ordenados alfabéticamente.
- 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 1:1 0,000 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.
- En el caso que los autores incluyan mapas y/o gráficos con un tamaño mayor al indicado en el punto anterior, que requieran ser plegables para el tamaño de la revista, los costos derivados de su impresión correrán por cuenta de él o los autores.

El Director y el Editor Asociado no se harán responsables por ilustraciones, tanto figuras como fotografías, que no se ajusten a estas normas o cuya calidad sea deficiente.



Evaluación de impacto ambiental mediante cartografía temática: un estudio de caso

Argüello, L. ¹ - Palacios, A. - Herrero, S. - Pierotto, M. - López Villagra, G. - Bartó, C.

Resumen

La ciudad de Córdoba es uno de los polos de producción y consumo más importante de Argentina, con una tendencia creciente a la comercialización en grandes centros. La envergadura de estos proyectos puede transformar la estructura y el funcionamiento ambiental del sector involucrado en la obra ya que puede potenciar los impactos ya existentes, ocasionar nuevos y provocar efectos sinérgicos y cambios de umbrales que colapsen los sistemas actuales.

Se presenta el diagnóstico ambiental de la cabecera de cuenca del Arroyo del Infiernillo, sector ubicado al oeste de la ciudad de Córdoba, a los efectos de valorar el estado del ambiente y el impacto de los procesos de uso y urbanización previos y los ocasionados por la instalación de una obra de infraestructura de gran envergadura como un centro comercial. La evaluación de impacto ambiental buscó identificar, interpretar, prevenir y minimizar las consecuencias negativas y potenciar las positivas sobre el ambiente, analizar las alternativas o acciones de mitigación y brindar recomendaciones adecuadas a este caso en particular.

Se realizó un relevamiento del ambiente natural y social que se expresó en cartas temáticas analíticas y sintéticas que permitieron detectar las características del ambiente natural y social (relieve, drenaje, vegetación, distribución de la población) y la intensidad y magnitud de tala, quema, erosión hídrica, roturación, sustitución y depósito de residuos. La superposición de mapas permitió elaborar una carta de impacto ambiental que expresa la intensidad y magnitud del impacto en el área estudiada. A partir de la misma se elaboró una carta de áreas críticas donde se evidencian las áreas con elevado valor natural (biodiversidad, cuencas, etc.) y el riesgo de pérdida de ambientes por erosión, avance de la urbanización, etc.

Esta zonificación permitió detectar las principales variables del ambiente natural y social, analizar su funcionamiento sin la obra, detectar el principal efecto negativo y a partir de ello brindar soluciones técnicas.

1. INTRODUCCIÓN

El ambiente es el resultado de complejas interacciones en el espacio y en el tiempo entre los seres vivos y el medio físico. Interacciones que devienen en adaptaciones

entre los distintos componentes, lo cual permite un funcionamiento de los sistemas cada vez más ajustados al medio (Gallopín, 1986).

Las profundas modificaciones producidas por el desarrollo tecnológico de las sociedades humanas han conducido a desfasajes entre el medio natural y el medio social que han interrumpido estos procesos adaptativos.

Morello (1988) señala la existencia en América Latina de una población humana excesivamente concentrada en asentamientos urbanos y rurales. Este hecho ha generado

Entregado: 14 de setiembre de 2001 ■ Aceptado: 01 de octubre de 2001.

1. CERNAR. Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables
Av. Vélez Sarsfield 299. 5000 Córdoba
e-mail: lilar@topmail.com.ar

grandes diferencias entre las demandas de la población, los modos de producción y el ambiente natural y ha conducido a un estilo de desarrollo donde el consumo y los desechos se incrementan y concentran cada vez más.

La ciudad de Córdoba es uno de estos centros de producción y consumo, con una tendencia creciente de comercialización y consumo en grandes centros comerciales. Evaluar el impacto ambiental de Proyectos Comerciales, cuya envergadura puede transformar el funcionamiento de un amplio sector de la ciudad de Córdoba, posibilita identificar, interpretar, prevenir y corregir las consecuencias negativas y potenciar las positivas. A su vez, permite identificar efectos y acciones que se pueden sumar a impactos ya existentes y ocasionar efectos sinérgicos y cambios de umbrales, llevando a colapsar en el tiempo los sistemas existentes.

La evaluación del impacto del Centro de Compras de Wal-Mart Argentina S.A. situado en la parte alta de la cuenca del arroyo El Infiernillo, sector Oeste de la ciudad de Córdoba, se presenta en una primera instancia a través de un diagnóstico ambiental previo a la obra y en un segundo momento a partir del análisis de los efectos de la obra en el ambiente.

2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL ÁREA PREVIO A LA INSTALACIÓN DE LA OBRA

Se realizó un diagnóstico ambiental a los efectos de valorar el estado del ambiente y el impacto de los procesos de uso y urbanización previos a la instalación del Proyecto en el área de cabecera de la cuenca del Arroyo El Infiernillo. Este hace hincapié en las comunidades vegetales dado su valor diagnóstico y en la dinámica hídrica del sector en función de las características del Proyecto.

Se analizaron fotografías aéreas a escala aproximada 1:20.000 y 1:5.000 de distintos períodos (1960, 1965, 1970, 1979, 1984, 1989 y 1995) y se realizó el relevamiento ambiental del sector. En base al mismo se confeccionaron mapas temáticos (geología y geomorfología, comunidades vegetales y de los tipos de uso del suelo) a escala 1:5.000. Se utilizó como base la carta catastral de la ciudad de Córdoba a escala 1:20.000 ampliada a 1:5.000, del año 1967 confeccionada por el Instituto Geográfico Militar.

Las unidades de vegetación detectadas en las fotografías aéreas de 1996 y actualizadas a 1997 se caracterizaron según la metodología propuesta por Long (1974), que contempla la distribución de la estructura vertical y horizontal y las especies vegetales dominantes en cada estrato y el tipo e intensidad de impacto antrópico (observado a campo y registrado en las fotografías aéreas) valorado mediante un escalar de grados de artificialización. Se confeccionaron cartas temáticas por tipo de impacto que posibilitaron

detectar procesos de deterioro tales como tipo, magnitud e intensidad de tala, quema, erosión hídrica, urbanización, roturación, sustitución y áreas donde la acumulación de residuos ha originado nuevos materiales parentales que modificaron las formas del relieve y los tipos de suelos preexistentes.

A partir de estos mapas se confeccionaron cartas de impacto ambiental y sintética de ocupación de la tierra que indican el estado de la vegetación respecto de la intensidad y magnitud del impacto ambiental en toda el área de cabecera previo a la obra.

Finalmente se elaboró una carta de áreas críticas, según el tipo e intensidad de los impactos, biodiversidad, posibilidades de pérdida de suelo por erosión, etc.

2.1. Ubicación Geográfica

El área de estudio que abarca aproximadamente 35,3 has, se encuentra ubicada a los 456 msm, entre los 65° 26' de latitud Sur y los 43° 83' de longitud Oeste, en el sector occidental del departamento Capital. Está limitada al Norte por los barrios Residencial del Chateau (calle Chaqui) y COVICO (calle Humberto 1°), al Sur por la Avenida Don Bosco, al Este por la calle Pasco y Río Bamba, al Sudeste por la Avenida Colón y al Oeste por la Avenida Cárcano. El predio donde se desarrollará el Proyecto se encuentra ubicado en área de cabecera porción Sudoeste, su vértice Noreste lo constituyen las calles Pasco y Avenida Colón.

2.2. Régimen Climático

Las características climáticas de la zona no difieren significativamente de las predominantes en la ciudad de Córdoba y sus inmediaciones. En el contexto de las características climáticas de la provincia, *Capitanelli (1979)* ubica a la zona dentro del dominio Semiseco con tendencia al Semihúmedo. Las temperaturas promedio son de 17 °C, y los vientos predominantes soplan del cuadrante Noreste. Las precipitaciones alcanzan un promedio anual de 746 mm, y no se distribuyen uniformemente a lo largo del año. El período con mayor frecuencia de precipitaciones es de Octubre a Marzo (periodo estival) con un promedio mensual de 140 mm, mientras que en la primavera descienden a 52 mm. Durante el periodo estival es común que las precipitaciones excedan los 100 mm mensuales, mientras que, en los meses de Abril a Septiembre las precipitaciones se reducen al mínimo (invierno 26 mm y otoño 58 mm). En esos meses existe déficit de agua. Recién en el mes de Octubre se alcanzan a cubrir las necesidades de evapotranspiración y de Diciembre a Enero las precipitaciones exceden las necesidades locales de agua. Se advierte que la mayor parte del año el balance hídrico acusa valores desfavorables,

dado que las precipitaciones pocas veces satisfacen las necesidades de la vegetación.

2.3. Características Geológicas y Geomorfológicas

El bosquejo geomorfológico realizado por *Capitane - Ili (1979)* para la provincia de Córdoba ubica al área de estudio en un ambiente transicional entre la Depresión Periférica y la Plataforma Basculada, sobre el pedemonte oriental de la Sierra Chica, conformado por un sistema de bloques tectónicos con fallas con dirección N-S, NO-SE, NE-SO y E-O. Estos lineamientos condicionaron la orientación de determinados tramos del Río Primero, la disposición de arroyos, cárcavas y escurrimientos superficiales.

El área forma parte de una extensa planicie aluvial de pedemonte constituida por sedimentitas rojizas (Fm. Saldán) y depósitos conglomerádicos (Fm. Estancia Belgrano), los cuales constituyen los dos ciclos de agradación vinculados posiblemente al ascenso principal de la Sierra Chica (Plio-Pleistoceno?). Un ciclo erosivo posterior (Pleistoceno medio?) degradó las acumulaciones anteriores depositándolas como materiales fluviales (Fm. Río Primero) que formaron las barrancas ubicadas a ambos lados del Río Primero. Al finalizar este ciclo y posiblemente en forma sincrónica se depositó el loes (Fm. General Paz) configurando una extensa planicie eólica, en la actualidad intensamente erosionada. La secuencia sedimentaria simplificada presentada por *Santa Cruz (1972)* para el Valle del Río Primero, culmina con sedimentos fluviales modernos depositados por el propio río o retransportados por el mismo.

Considerando los criterios de fracturación enunciados anteriormente según *Giambastiani (1990)* el área de interés está ubicada en el bloque tectónico Alto Alberdi. El área presenta evidencias de fracturaciones importantes que se manifiestan en el diseño rectangular y angular del arroyo del Infiernillo y cárcavas menores que tienen rumbo predominantemente N-NO y E-NE y el Río Suquía con rumbo NE y NO. Las fallas sobre el Río presentan un resalto de aproximadamente 50 m .

El terreno se caracteriza por la presencia superficial de sedimentos loésicos friables, los mismos apoyan discordantemente sobre arenas y conglomerados fluviales consolidados. Estos depósitos loésicos están constituidos principalmente por limos y arenas finas, materiales transportados en general por el viento. Las particularidades físicas y químicas de estos depósitos son uniformes espacialmente y le confieren características geotécnicas particulares. Son suelos muy cohesivos debido a la presencia de un ligante arcilloso y/o calcáreo, lo que hace que sus propiedades geotécnicas varíen en presencia del agua.

El sector presenta loes primarios, ya que se encuentran en la posición en la que fueron depositados originalmente, conservando sus características físicas y químicas

iniciales. Una característica física muy importante es su estructura abierta lo que los convierte en suelos colapsables por hidratación. Su estructura es por lo tanto muy liviana, pero tienen alta cambien las condiciones de humedad. Además, tienen una alta permeabilidad en sentido estabilidad mientras no vertical. Por lo tanto, son muy estables mientras permanecen secos, o con bajos contenidos de humedad. Si la humedad sobrepasa cierto límite, aún sin llegar a saturar el terreno, la estructura del suelo cede rápidamente, ocasionando daños significativos sobre las estructuras que sobre él se asientan. Es importante aclarar que la filtración del agua tiene preferencia en sentido vertical por lo que la afectación del terreno generalmente es puntual, mientras que el resto conserva las características originales.

Los procesos de formación de suelos no han sido suficientemente prolongados como para dar lugar a la formación de suelos bien desarrollados. Además los procesos de erosión hídrica se han activado con mayor intensidad, por el mal manejo del recurso en las últimas décadas. La ocurrencia de estos dos fenómenos ha determinado los suelos pobres que predominan en el sector. En este ambiente los suelos según *Sanabria et al. (1990)* presentan un horizonte superficial de aproximadamente 20 cm de espesor, con estructura débil a moderada, de textura franco-limosa, moderadamente provisto de materia orgánica. Continúa un horizonte de transición AC de poco espesor, con estructura débil a masiva, con escaso contenido de carbonato de calcio. Por debajo se encuentra el horizonte CK, masivo, limoso, con altos contenidos de carbonato de calcio diseminado en la masa, el mismo tiene una profundidad promedio de 35 cm. Estos suelos son algo excesivamente drenados y se clasifican tentativamente como *Haplustoles énticos*. En las áreas de cárcavas los suelos presentan mayor desarrollo, con presencia de horizontes cámbicos y el carbonato de calcio se encuentra a mayor profundidad.

La zona no presenta características topográficas uniformes en su extensión, la pendiente media es aproximadamente del 10%. Se encuentra en un área de abanicos aluviales cubiertos y posteriormente disectados por líneas de escurrimiento, en una zona de ladera convexa, sobre un relieve de lomas con pendientes suaves trabajadas por el modelado fluvial, típicas de este sector pedemontano caracterizado por lomas onduladas. Estas, de materiales eólicos y formas convexas, presentan orientación general hacia el Arroyo El Infiernillo y están disectadas por bajos alargados bien manifiestos con la misma orientación. Las pendientes tienen una inclinación promedio de 2° a 4°. El proceso erosivo dominante es la arrollada difusa y en los bajos se producen fenómenos de acumulación con algo de erosión. Dadas las características antes citadas sobre el diseño de los cauces este tipo de paisaje en el lenguaje científico se denominan "tierras malas" o "bad lands" (Fig. 1).

FIGURA 1: HIDROGEOMORFOLOGÍA DE LA QUEBRADA DEL INFIERNILLO



2.4. Dinámica y diseño de cauces

Las líneas de drenaje que se desarrollaron en el terreno, forman parte de la zona de aporte de la cuenca alta de la Quebrada del Infiernillo con orientación SO-NE. Dos líneas de drenaje principales se encargan de escurrir toda el agua producto de las precipitaciones atmosféricas. Presentan un diseño de cauces planos y anchos, sin presentar una línea de escurrimiento principal, lo que surge de la particularidad de que los flujos causantes de este tipo de cauces son los flujos en manto. Los mismos acarrearán gran cantidad de sedimentos cuando se produce la activación del canal fluvial, lo que sucede en los periodos de lluvias intensas, durante los meses de Octubre a Marzo, mientras que el resto el año podría permanecer inactiva, salvo casos de lluvias excepcionales. La dinámica fluvial desarrollada en estos tipos litológicos (loes) se caracteriza por presentar gran celeridad de las cabeceras, con rápidos retrocesos de sus canales fluviales. Es importante destacar que los procesos erosivos están acelerados en el sector de implantación del proyecto, a causa de la intensa deforestación que sufriera esta zona en los últimos años. Si estos procesos formaran parte de la dinámica fluvial deberían observarse similares características en el diseño del cauce aguas abajo. Las fotografías aéreas de 1960 indican la casi total ausencia de procesos erosivos en el sector, a excepción del colector Oeste activado por los trasvasamientos periódicos de aguas del Canal Maestro Sur. Desde 1996 a la actualidad esta situación se ha agravado formándose cárcavas en este brazo colector.

La vertiente del Arroyo El Infiernillo o La Salada surge en la porción media del sector relevado a la altura de las calles Pasco y Deán Funes, desde el colector principal.

El colector del área del Proyecto drena en la margen Norte de la intersección de las calles Pasco y Avenida Colón, se canaliza por las calles Pasco y 27 de Abril, atraviesa en diagonal la manzana emergiendo nuevamente en la calle Deán Funes hacia la calle Río Bamba para unirse al cauce principal en la intersección de ésta calle con el arroyo a la altura de la calle 9 de Julio. En la manzana limitada por las calles 27 de Abril, Río Bamba, Deán Funes y Calutti existe una laguna de retención que ocupa la mitad del predio detrás de la escuela y de la cancha de fútbol (Fig.1).

2.5. Característica de las Comunidades Vegetales

Las unidades de vegetación detectadas en las fotografías aéreas de 1996 y actualizadas a campo se caracterizaron utilizando como parámetros la estructura vertical, los dominantes fisonómicos y el tipo e intensidad de impacto según un escalar de grados de artificialización (Etienne 1982). Ello, permitió confeccionar una carta sintética de ocupación de la tierra (Fig.2). Esta presenta dieciocho unidades vegetales, además de las unidades de doméstico y

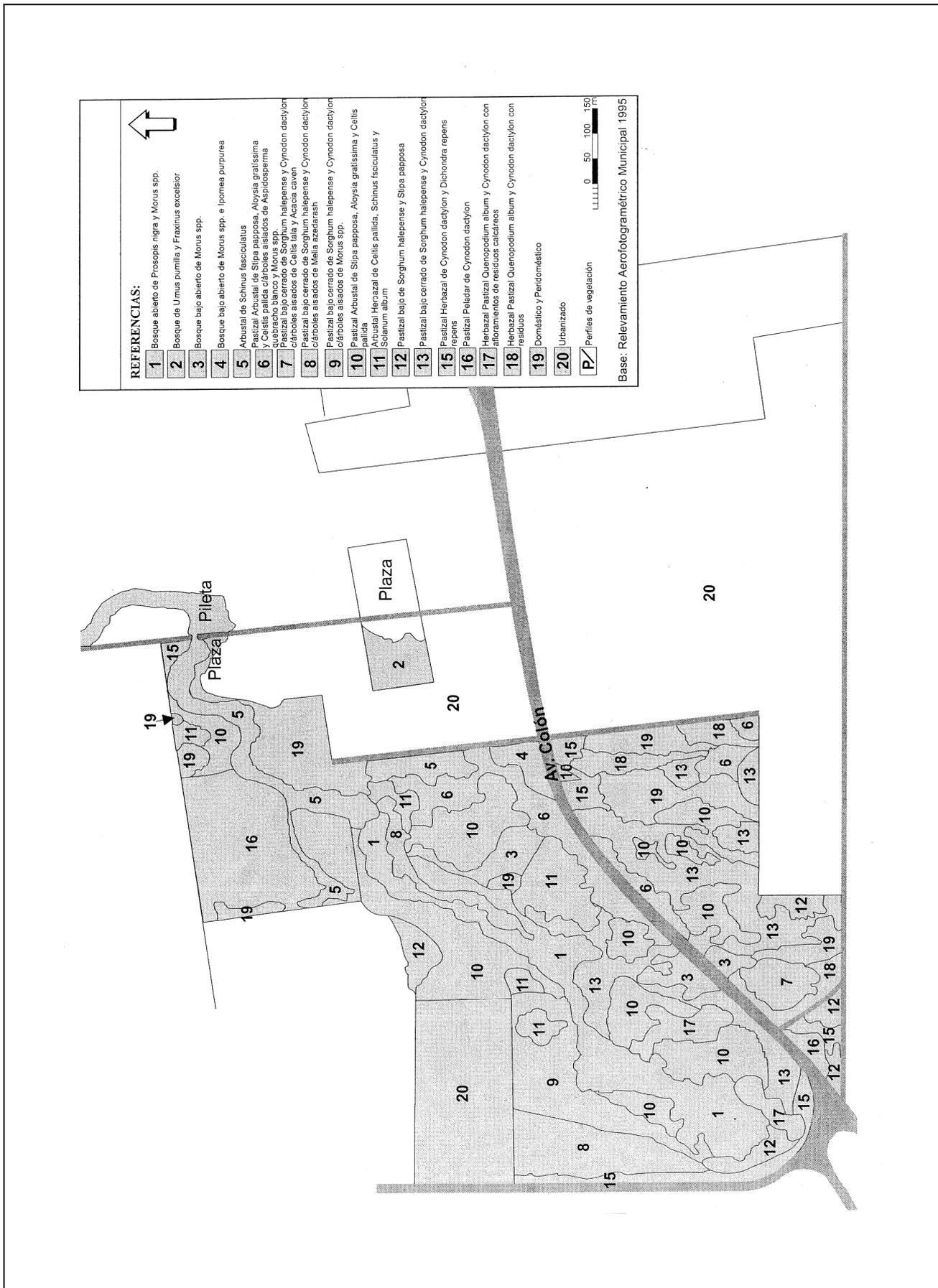
peridoméstico y urbanizado, que se detallan a continuación ordenadas por el grado de artificialización:

1. Bosque Abierto de *Prosopis nigra* y *Morus* spp.
2. Bosque de *Ulmus pumilla* y *Fraxinus excelsior*
3. Bosque Bajo Abierto de *Morus* spp.
4. Bosque de *Morus* spp. e *Ipomoea purpúrea*
5. Arbustal de *Schinus fasciculatus*
6. Pastizal-Arbustal de *Stipa papposa*, *Aloysia gratissima* y *Celtis pallida* con árboles aislados de *Aspidosperma quebracho blanco* y *Morus* spp.
7. Pastizal Bajo Cerrado de *Sorghum halepense* y *Cynodon dactylon* con árboles aislados de *Celtis tala* y *Aca-cia caven*
8. Pastizal Bajo Cerrado de *Sorghum halepense* y *Cynodon dactylon* con árboles aislados de *Melia azedarach*
9. Pastizal Bajo Cerrado de *Sorghum halepense* y *Cynodon dactylon* con árboles aislados de *Morus* spp.
10. Pastizal-Arbustal de *Stipa papposa*, *Aloysia gratissima* y *Celtis pallida*
11. Arbustal-Herbazal de *Celtis pallida*, *Schinus fasciculatus* y *Solanum album*
12. Pastizal Bajo de *Sorghum halepense* y *Stipa papposa*
13. Pastizal Bajo de *Sorghum halepense* y *Cynodon dactylon*
14. Pastizal-Herbazal de *Sorghum halepense* y *Dichondra repens repens* con residuos
15. Pastizal-Herbazal de *Cynodon dactylon* y *Dichondra repens repens*
16. Pastizal-Peladar de *Cynodon dactylon*
17. Herbazal-Pastizal de *Chenopodium album* y *Cynodon dactylon* con residuos calcáreos
18. Herbazal-Pastizal de *Chenopodium album* y *Cynodon dactylon* con residuos
19. Doméstico y peridoméstico
20. Urbanizado

Estudios anteriores realizados por Argüello et al. (1997) indican la presencia de 17 comunidades vegetales en el sector, la mitad de ellas dominadas por árboles y arbustos nativos o introducidos. Estas difieren de las detectadas en el presente estudio tanto por los dominantes como por la reducción de los manchones.

Los procesos de simplificación estructural y de invasión por especies cosmopolitas o utilizadas frecuentemente en el arbolado público se manifiesta en el total de las unidades encontradas. Solo una unidad está dominada por especies arbóreas nativas (Unidad 1) el resto de los remanentes boscosos están dominados por especies introducidas.

FIGURA 2: OCUPACIÓN DE LA TIERRA



Esta unidad por su parte, es la única unidad que queda con la estructura del antiguo bosque que cubría el sector. Tal como es posible observar en las fotografías aéreas de 1960 y como lo detalla el trabajo de *Larghi y Alaimo (1965)* toda el área estaba cubierta por bosques o estados sucesionales de los mismos. Estos bosques han desaparecido como tales y solo queda este remanente alterado por la presencia de numerosas especies introducidas de rápido crecimiento (*Morus spp.*, *Melia azedarach*).

Se destaca también la reducción en el número de especies presentes y la homogeneidad en la dominancia de las unidades relevadas (Unidades 7 a la 18). Los sectores que han logrado resguardarse de los incendios frecuentes son los que presentan unidades de vegetación con más variedad y mejor cobertura horizontal y vertical. Tal es el caso de las unidades de los bajíos y del cauce o colectores principales (Unidades 1, 2, 3, 4, 5 y 11) o escasos remanentes arbustivos (Unidad 10).

La desaparición de la vegetación de porte ha dejado al descubierto las unidades cubiertas por residuos inorgánicos calcáreos, escombros o plásticos (Unidades 17 y 18),

activando los procesos erosivos en las cabeceras de los colectores (Unidades 12, 14, 13, 6).

Las unidades doméstico y peridoméstico, dominadas por *Prosopis nigra*, ya estaban ocupadas por pobladores en las fotos de 1960 y han sido sitio de antiguos cascos de estancia o asentamientos espontáneos clandestinos.

Se destaca entre las unidades boscosas dominadas por especies introducidas como el Bosque de *Ulmus pumilla* y *Fraxinus excelsior* (Unidad 2), aparentemente plantado con fines recreativos y de contención hídrica, que se ha asilvestrado.

El proceso de simplificación estructural es generalizado, son escasas las comunidades con más de dos estratos y en las cuales el estrato arbustivo supere el metro y medio de altura. Mientras que en el área del Proyecto el bosque en 1960 cubría 3,3 ha hoy solo cubre 0,5 ha las unidades arbustivas cubrían 0,9 ha en 1996 y hoy solo cubren 0,3 ha. Las unidades arbustivas y arbóreas han cedido paso a distintos tipos de comunidades de pastizales y herbazales que han incrementado su superficie en 3,4 ha (Tabla 1).

TABLA 1: COMUNIDADES VEGETALES EN 1965 Y EN 1997 DEL SECTOR DONDE SE INSTALARÁ EL PROYECTO

1960		1997	
Comunidades Vegetales	%	Comunidades Vegetales	%
Bosque Alto	41.5	Pastizal arbustal	5.02
		Pastizal bajo	7.90
		Pastizal herbazal	2.47
		Doméstico y peridoméstico	47.63
		Pastizal herbazal	6.84
		Peladar	1.63
Bosque Alto Abierto	20.75	Pastizal arbustal	3.36
		Pastizal bajo	17.39
Cultivo	7.55	Pastizal bajo	5.34
		Pastizal y árboles	2.21
Arbustal cerrado	15.1	Pastizal arbustal	9.62
		Herbazal pastizal	5.48
Doméstico y Peridoméstico	15.1	Pastizal arbustal con árboles aislados	0.40
		Herbazal pastizal	4.00
		Doméstico peridoméstico	7.13
		Pastizal arbustal	3.57

El sector del Proyecto presentaba escasos ejemplares arbóreos que eran utilizados como refugio por parte de la población asentada espontáneamente. Esta unidad de 1,03 ha. Corresponde a 17,63 % de la superficie en el área de instalación del Proyecto.

Otro efecto visible al comparar el estado de la vegetación en ambos tiempos es la aparición de comunidades con elevado porcentaje de residuos, también vinculadas a los asentamientos espontáneos (Unidad 18). El sector Sudeste es el más afectado por este tipo de depósitos dado que se aprovechó la profundidad de la cárcava, abierta a fines del sesenta por desbordes del Canal Maestro Sur (11,13 % de la superficie).

La pérdida de la cubierta vegetal se visualiza también en los elevados porcentajes de suelo expuesto, superior al 30% en casi toda la extensión del área. Ello, determina que todo el borde de la cuenca presente una elevada susceptibilidad a procesos erosivos dado el tipo de soporte.

2.6. Fauna

Si bien no existen estudios en detalle sobre la fauna del lugar, este sector se caracterizaba por la presencia de numerosas especies de aves y mamíferos al igual que otras áreas aledañas como la Reserva Ecológica del Suquia, perteneciente a la provincia biogeográfica chaqueña. La caza indiscriminada y la drástica reducción de los lugares de vivienda y nidificación, ha llevado a la paulatina reducción de la misma, en especial de la avifauna.

La lista de aves confeccionada ad-hoc por Baldo, J. evidencia que no es bajo el número de aves en el sector a lo largo del año (63 especies). Sin embargo, sólo 32 especies son residentes todo el año, el resto son residentes estivales (2 especies), ocasionales (19 especies), ocasionales estivales (5 especies) y visitantes invernales (5 especies).

Las familias más representadas son la Tyrannidae que agrupa a monjitas, benteveos, piojitos, etc. y la Familia Emberizidae que comprende a cardenales, corbatitas, jilgueros, etc.

Esta área al igual que otras del sector Oeste de la ciudad operan como refugios invernales, tal como lo manifiestan la presencia de picaflor cometa (*Sappho sparganura*), zorzal blanco (*Turdus amourocalinus*) y calandria real (*Mimus triurus*).

A pesar de ello, las especies que se observan en mayor medida, tanto en aves como en otros grupos, son especies resistentes capaces de tolerar disturbios intensos como liebres (*Lepus europea*), comadreja (*Didelphis albiventris*) y pirinchos (*Guira guira*).

2.7. Historia del Uso del Suelo

Coincidente con lo expuesto para todo el sector las áreas de lomadas se utilizaron para cultivo de secano

(sector Oeste, sobre Avenida Cárcano) y cultivos intensivos (Sector Sur sobre Avenida Don Bosco). Estos cultivos continuaron hasta mediados de la década del setenta.

En el sector del Proyecto la denudación provocada por los cultivos, sumada a los desborde periódicos provocados del Canal Maestro Sur, activaron procesos erosivos intensos y comenzaron a formar una cárcava en el colector Este cercano a la calle Pasco.

En 1960 un extenso bosque cubría el sector y ya se evidenciaban áreas con asentamientos humanos (cascos y asentamientos espontáneos), siendo el sector Sur el más afectado por este tipo de uso del suelo.

Durante la primera parte de ésta década se abre la Avenida Colón y la Avenida Cárcano, sobre caminos de comunicación preexistentes, ya en 1965 el área presenta el actual diseño de las vías de comunicación. Es también en ese tiempo que se producen talas rasas alrededor de los distintos cascos amosaicando el bosque original.

En el setenta se construyó la Escuela y la laguna de retención detrás de la misma. A finales de ésta década se producen talas intensas para urbanización y se transforman progresivamente las áreas de cultivo intensivos en áreas de asentamiento con elevada proporción de verde. También en esos momentos estaba instalada en la cabecera, el sector Sudoeste, una fábrica que arrojó sus residuos calcáreos en la parte superior del colector principal (Unidad 17, Fig. 2) hasta que se desmanteló a inicios del ochenta.

Los problemas económicos y períodos hiperinflacionarios obligaron al consumo de la leña del lugar, así en distintos momentos se redujeron las comunidades boscosas y comenzaron a aparecer los pastizales como dominantes.

En la década del ochenta se consolidó la trama urbana y se construyó el Barrio COVICO. Se concentró el escurrimiento en las calles sin pavimentar como 27 de Abril o pavimentadas como la Avenida Colón y la calle Río Bamba que desde ese tiempo se han constituido en colectoras principales.

Durante las dos últimas décadas se han erradicado el 90% de los asentamientos espontáneos del sector quedando solamente los de la intersección de las calles Pasco y Deán Funes. Sin embargo, los sitios ocupados por estos asentamientos aún hoy presentan abundante basura producto de las actividades de cirujeo.

Por otra parte, desde mediados de la década del ochenta se practica la quema como herramienta para eliminar pastizales y herbazales, principalmente en el sector del colector principal que linda con la Avenida Colón.

2.8. Uso Actual

El área tiene un uso urbano consolidado con una baja ocupación de lotes. Existen asentamientos espontáneos

dispersos en el colector principal. El resto del área no tiene un uso definido ni siquiera en el sector de la vertiente del arroyo del Infiernillo.

La erradicación de los asentamientos espontáneos ha reducido el volumen de los residuos dispersos, sin embargo han quedado estos lugares cubiertos por suelos antropogénicos (potisoles) que detienen la recuperación del ambiente.

El cauce del arroyo en la intersección con la calle Río Bamba es utilizado desde mediados de los cincuenta con fines recreativos, así como las plazas y plazoletas.

Por otra parte, vinculados a las distintas arterias se han formado peladares relacionados con el intenso tránsito y basurales de residuos domésticos producto de la desaprocesión de la población en tránsito.

2.9. Impacto Ambiental y Áreas Críticas

La carta de ocupación de la tierra (Fig. 2) de este sector evidencia el estado actual de la vegetación en relación a los impactos. En ella es posible observar la presencia de una sola unidad con vegetación poco modificada, con tala y pastoreo livianos en el pasado (Unidad 2.13) que corresponde al Bosque nativo remanente (0,1 ha) tal como lo evidencia la Tabla 1. Gran parte del sector (5,2 ha) presenta vegetación muy modificada por acciones como talas moderadas y depósitos de residuos (Unidades 3.1, 3.5, 3.8), tala intensa e invasión (Unidad 3.24) y por el fuego (Unidad 3.25). Plazoletas y plazas (Unidades 8.2.1 y 8.2.2) ocupan espacios reducidos (dos manzanas).

La artificialización más grande la produce el proceso de urbanización. Si bien los barrios presentan en su mayoría entre 80-50 % de verde incorporado éste es de especies introducidas. Llama la atención la aparición de áreas recientemente urbanizadas con 10 a 5 % y menos del 5 % de arbolado en vereda y sin verde interno (Unidades 9.3.4 y 9.3.5). en un sector con otro estilo de ocupación de la tierra.

Tal como lo manifiesta la carta de ocupación de la tierra que sintetiza la historia del uso y el uso actual, son múltiples los impactos que han afectado este sector. Los impactos más antiguos son los ocasionados por las talas rasas seguidas de roturación o de edificación éstas afectaron puntualmente todo el borde colector y activaron procesos erosivos haciendo aparecer y avanzar las cabeceras de cárcava en todos los colectores. Esta práctica afectó profundamente el sistema dado que se cambió la estructura del suelo por erosión o por remoción y erosión y con ello, provocó la invasión con especies exóticas como *Morus* spp. y *Ulmus* spp. Esta práctica se sigue realizando en el sector Norte donde se ha desmontado totalmente el sector para ampliar el Barrio COVICO y que, en cierta medida, se contraponen a las Ordenanzas en vigencia.

El fuego es y ha sido también un impacto muy importante. La intensidad y frecuencia de los mismos ha eliminado totalmente las especies leñosas en gran parte del área sin edificar, quedando especies rizomatosas de rebrote rápido (*Sorghum halepense*, *Cynodon dactylon*). Se han establecido comunidades particulares que dada su bioforma favorecen la aparición de nuevos incendios. Las comunidades vegetales entran así en un proceso de transformación hacia la simplificación estructural y específica.

Siguen en intensidad los impactos provocados por residuos calcáreos y por residuos domésticos y comerciales, en estos casos el impacto es más restringido, sin embargo el cambio del tipo de suelo a Potisoles lleva a la aparición de comunidades más rústicas dominadas por especies anuales o de escasa cobertura (*Chenopodium album*). Se ligan a estos espacios la invasión de especies introducidas, sobre todo en las áreas de antiguos asentamientos espontáneos.

La urbanización sin una evaluación del impacto ambiental y sin control, sin embargo, es el principal motor de impactos al ambiente natural, del modo de diseño de la trama surgen los procesos erosivos que se visualizan en distintos sectores, inclusive sobre la infraestructura vial y de servicios.

El mapa de impacto ambiental (Fig. 3) señala las áreas y su grado de afectación. El origen de algunos de estos impactos son fácilmente detectables tales como la tala rasa para construcción, otros como los incendios o la eliminación de residuos son de orígenes múltiples y diversos.

En función de lo anteriormente expuesto se detectaron áreas críticas (Fig. 4) dada la posibilidad de pérdida de biodiversidad (porción superior del cauce de la Quebrada del Infiernillo), por pérdida de biodiversidad y activación de procesos erosivos (áreas de los colectores que atraviesan la calle Colón y la comunidad ubicada en Calutti y 27 de Abril, Unidad 2). También se indican como áreas críticas las actualmente afectadas por procesos erosivos incipientes o moderados como la cumbre colector Sur, el sector Norte de Barrio COVICO, el área de contacto del colector de Avenida Don Bosco con el cauce principal (Río Bamba y 9 de Julio), la vertiente del arroyo del Infiernillo dada su importancia natural y social y sectores donde están en riesgo la infraestructura como el predio de la escuela provincial ubicada en 27 de Abril y Río Bamba que linda con la laguna de retención en su parte posterior, la estación de servicio ubicada en Pasco y Avenida Colón y las calles que operan actualmente como colectores (Pasco, 27 de Abril, Talpa, Río Bamba).

Merece especial mención el área crítica de depósito de residuos ubicada en la cabecera del colector principal (sector Sur) dada las posibilidades de contaminación que la misma implica.

FIGURA 3: IMPACTO AMBIENTAL

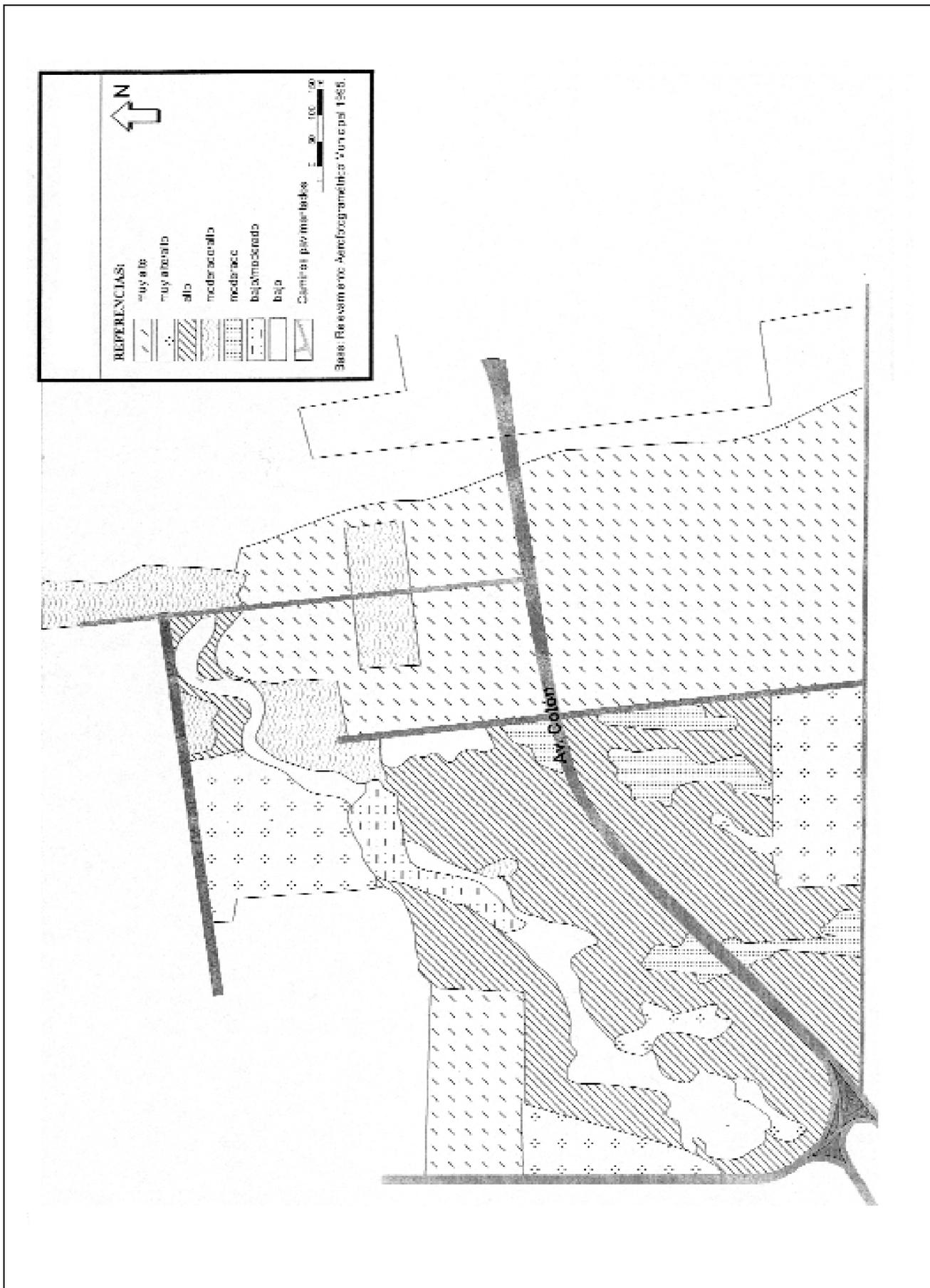
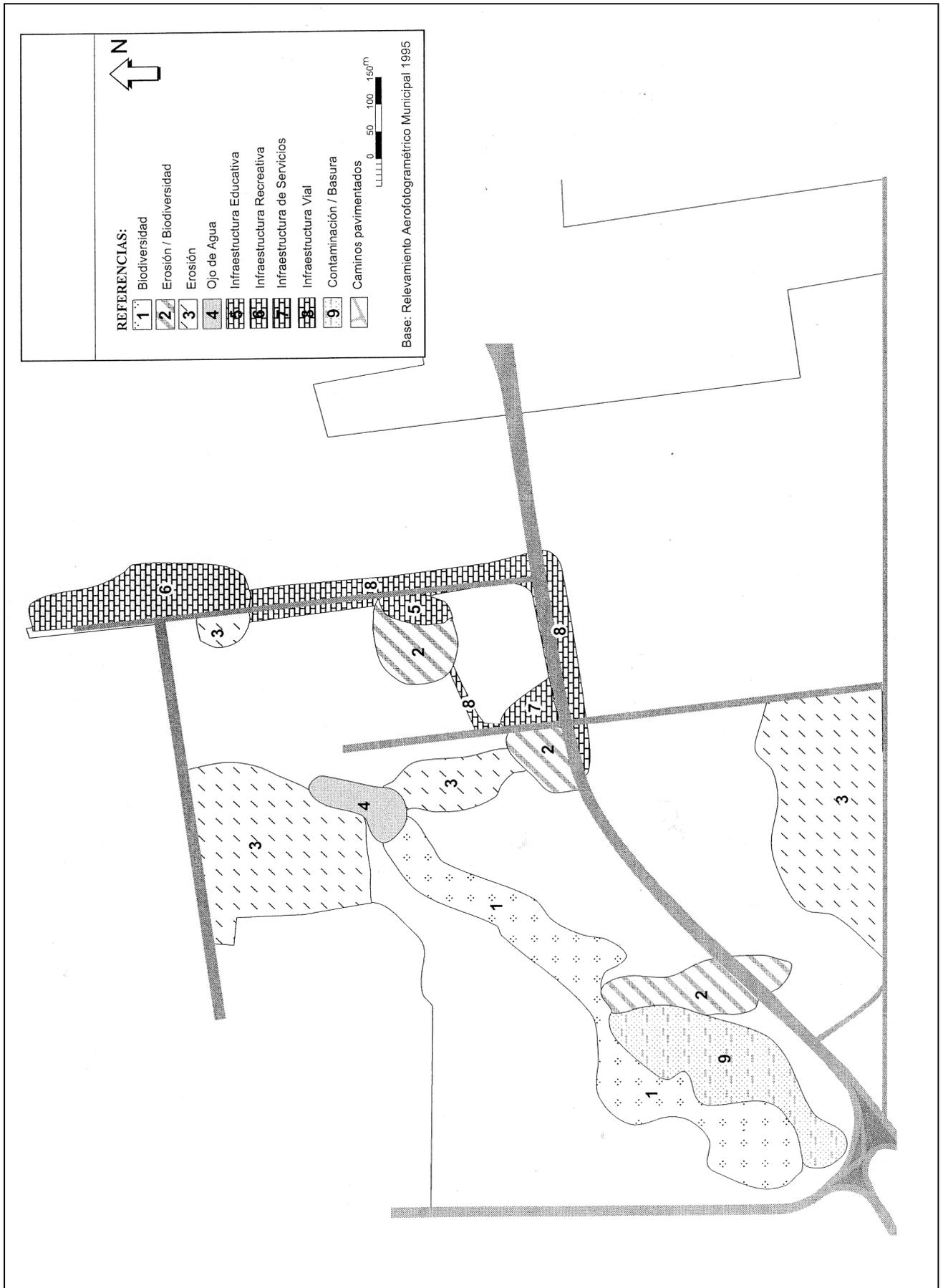


FIGURA 4: ÁREAS CRÍTICAS



3. IMPACTO DEL PROYECTO EN EL AMBIENTE

3.1. Ubicación del Proyecto

El Proyecto se ubica en el predio delimitado por las calles Pasco al Este, Avenida Colón al Norte, la parte posterior del barrio Don Bosco en la porción Sur y la divisoria de aguas entre los dos colectores de la cabecera del Arroyo del Infiernillo al Oeste.

3.2. Impacto de la Obra sobre el Medio Físico

El Proyecto se asienta sobre un área con un medio físico ya deteriorado tal como lo evidencian el punto anterior.

El primer impacto es la remoción, desplazamientos de tierra, aplanamiento y construcción en el sector colector, que trae aparejado cambios en las formas o el relieve, el diseño de drenaje, los suelos y en la dinámica hídrica.

La *morfología* y el *diseño* del drenaje sufren modificaciones de importancia dadas las características de conformación de la red, el movimiento de tierra realizado para la construcción y el allanamiento de las dos cárcavas ubicadas en los dos brazos de este colector. Los procesos que se verán alterados son la erosión, la sedimentación, los deslizamientos de tierra y el drenaje. Las modificaciones se producen básicamente en la estructuración de la red. La capacidad de respuesta del sitio frente a estas acciones dependerá de los controles que se realicen sobre el soporte para evitar

aumentos de escorrentía, cambios en la capacidad natural de esta subcuenca y hundimientos por colapso.

El impacto sobre los *suelos* se visualiza en dos aspectos esenciales: el suelo como soporte de infraestructura y el suelo por su condición de sustento de la vegetación. Se pierden estas superficies como soporte de los sistemas naturales y de producción, aunque se ganan como áreas de servicio urbano. De este cambio en el uso del suelo resulta de la alteración lógica producida por el Proyecto (desmonte, excavación, compactación, recarga y edificación). Si se toman los recaudos necesarios y se atiende a las medidas de mitigación como estos efectos pueden ser remediados, no resultando la obra perjudicial ambientalmente.

La evaluación de los efectos del Proyecto sobre las *características del escurrimiento* se realizó tomando en cuenta tres momentos: el estado inicial del sistema (1960), el sistema en 1997 sin la Obra y los efectos hidrológicos que el Proyecto provocaría (1997-1998).

El área bajo estudio presenta alteraciones severas en su condición preexistente al Proyecto Wal-Mart. Las fotografías aéreas de 1960 evidencian diversos impactos de las actividades humanas incrementándose hasta el presente, como lo demuestran las fotografías aéreas de 1995 y la Tabla 1. Tal situación de deterioro se vio reflejada inicialmente en la vegetación y el suelo, para finalmente impactar en la hidrología y dinámica hídrica en general de la subcuenca.

Además, con el propósito de documentar este deterioro a partir del diagnóstico previo, se procedió a la

FIGURA 5: CAUDAL-INTENSIDAD DE PRECIPITACIONES (PERÍODO 1960/1997)

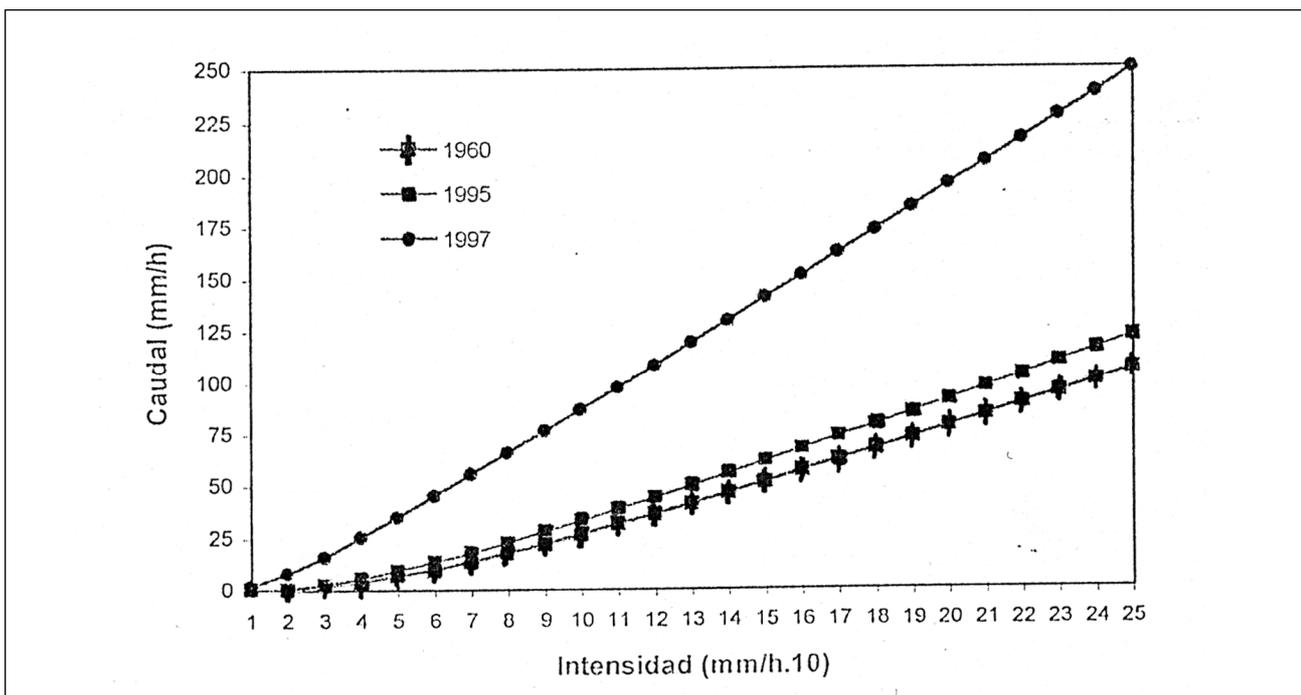
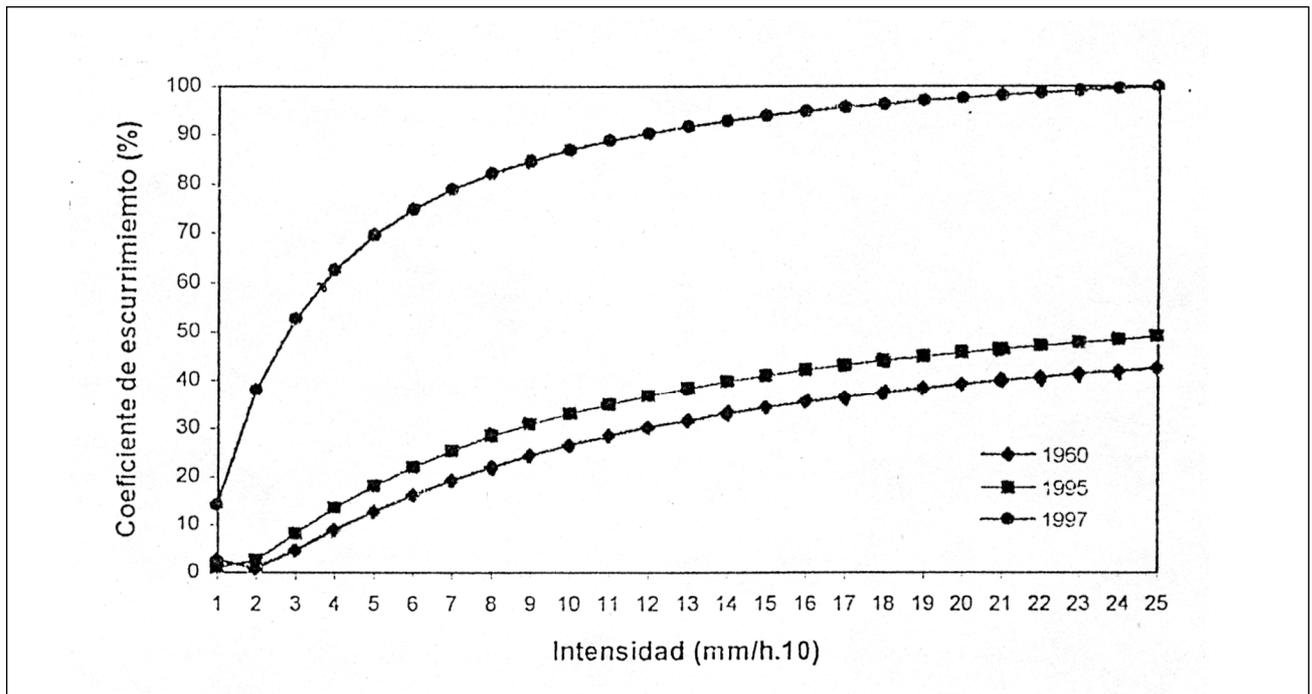


FIGURA 6: COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO-INTENSIDAD (PERÍODO 1960/1997)



cualificación de las unidades de vegetación y de uso del suelo a través de sus "Números Hidrológicos", según un método del Soil Conservation Service (*U.S.D.A.*) (*MOPU, 1984*). A partir de estos números se calculó el caudal esperado para un rango de precipitaciones horarias desde 10 mm. hasta 250 mm, tomados de diez en diez. Luego se analizó el comportamiento de las curvas en estas situaciones, a fin de conocer el funcionamiento hídrico sin la Obra (1960 y 1995) y luego de la misma, expresado en curvas de caudales (*Q*) (Fig. 5).

Posteriormente, se calcularon los Coeficientes de Escurrimiento (C.E.) para cada tormenta del rango elegido (Fig. 6), los incrementos relativos (I-R) en las situaciones 1960-1995 para las variables *Q* y C.E. y los valores medios para cada variable (Tabla 2, Figs. 7 y 8).

El área estimada de captación de agua previa al proyecto es de 64.300 m² y con el proyecto de 69.213 m². Ello, señala un incremento en el área de captación en 7,64 % respecto a la condición inicial.

El Tiempo de Concentración (T.C.) se calculó tomando como longitud máxima del escurrimiento (*Dirección General de Aguas 1978*) la existente entre la cota 13.98 sobre margen Sur del Proyecto hasta cota 0.64 en la boca de entrada a la alcantarilla que cruza la Avenida Colón, que resultó 363,64 m. Este se obtuvo mediante la ecuación de Kirpich (Hudson 1982) modificada según Bertoni (1996):

$$T.C = 0,02 \times (L)^{0,77} \times (S)^{-0,385} + T \quad (1)$$

donde:

L = longitud máxima del cauce (m)

S = pendiente (m/m)

T = tiempo necesario para que el escurrimiento laminar llegue al cauce colector.

Este parámetro último parámetro se determinó a partir de estudios realizados por *Palacios y Zamar (1986)* y de *Palacios (1988)* respecto de procesos erosivos de montaña y escurrimiento superficial no encauzado en la provincia de Córdoba. El Tiempo de Concentración (T.C.) fue de 31.667 min.

Por otra parte, la velocidad de escurrimiento se obtuvo según la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad de Escurrimiento} = \frac{L}{T.C} \quad (2)$$

La Velocidad del Escurrimiento (*Ve*) es de 10,43 m/min o 0,17 m/seg.

Además, se determinó el Coeficiente de Escurrimiento (C.E.) para calcular el caudal, para la intensidad correspondiente al Tiempo de Concentración (T.C.) calculado, según la curva de la figura 5. Luego se calculó el Tiempo de Concentración para la situación previa según la fórmula:

$$T.C = 31,667 \text{ min.} \times 1,10 \text{ (Coef. de Seguridad)} = 34,834 \text{ min.}$$

El valor obtenido (34,84 min.) se llevó a una Tabla de Recurrencia y se determinó que corresponde a una Intensidad (I) de 100 mm/h.; por lo que el caudal queda dado por:

$$Q = \frac{100 \text{ mm/h} \times 64300 \text{ m}^2 \times 0.32}{3600000} = 0.57 \text{ m}^3/\text{seg} \quad (3)$$

Los Coeficientes de Escurrimiento son de 0.32 para la condición previa y de 0.87 para el Proyecto.

De esta manera, se desprende de los datos obtenidos que:

1. La tendencia a una desregulación y aceleración de la dinámica hídrica es anterior al Proyecto Wal-Mart, tal como lo muestran las figuras 5 y 6 donde se observa que las mayores diferencias en valores absolutos (mm) corresponde a la mayor intensidad de las precipitaciones.
2. La pendiente de las curvas aumenta sensiblemente desde la condición inicial hasta el Proyecto Wal-Mart. La figura 9 evidencia que los Incrementos Relativos de los períodos 1960-1995 y 1995-1997, son marcadamente mayores en valores bajos de precipitación, lo que destaca también la importancia de estos eventos en cuanto a las manifestaciones de la degradación e impermeabilización de la cuenca. La consecuencia directa es que, para eventos de baja intensidad los escurrimientos aumentan marcadamente en su valor relativo, generándose aportes antes no existentes para ese nivel de intensidad. Esto puede interpretarse en un sentido como un efecto benéfico en una región con déficit hídricos prolongados, en especial para la vegetación xerofítica, riparia y otras próximas al cauce, aguas abajo del Proyecto. Esto ocurriría en desmedro de aquella más alejada del cauce que depende de la humedad edáfica proveniente de la cuenca alta, en este caso el área del proyecto Wal-Mart. Así, se podrían esperar, luego de la materialización del Proyecto, condiciones

favorables para la vegetación en torno al cauce que favorezcan su recuperación y otras desfavorables en las áreas más elevadas, con el consiguiente empobrecimiento de la vegetación en ellas.

3. Los promedios obtenidos muestran que el incremento relativo del escurrimiento 1960-1995 ha sido a una tasa de 0.74%/año entre los dos tiempos analizados; mientras que la tasa de incremento relativa 1995-97 fue de 75.23%/año; de allí la necesidad de previsión de estructuras de infiltración y retención del escurrimiento dentro del Proyecto, a los efectos de controlar el exceso hídrico superficial generado por la Obra.
 4. La velocidad de circulación del flujo presentada en el Proyecto para la condición previa es de 0.16 m/seg. Este es el límite para las erogaciones del Proyecto, que Wal-Mart debe fijar a fin de minimizar las alteraciones hidrológicas de la cuenca receptora de sus escorrentías.
- 3.3. Impacto de la Obra sobre las Comunidades Vegetales y el Paisaje

El sector previo a la obra estaba cubierto por estados sucesionales muy alterados de un bosque de *Aspidosperma quebracho blanco* y *Prosopis nigra*. Las escasas zonas arboladas estaban en los sitios de ocupación clandestina (remanente en un 17,63 % del Bosque Alto original) (Fig. 2 y Tabla 1). El resto del sector estaba cubierto por comunidades pastizales y pastizales-arbustales altamente disturbados, algunos de los cuales estaban cubiertos de residuos. La ubicación de la obra en este sitio lleva consigo la eliminación de estas comunidades (Unidades N° 6, 10, 13, 14, 15, 18, 19).

Por otra parte, la Obra implica la implantación de un nuevo tipo de vegetación. En un inicio la parquización proyectaba utilizar especies sensibles a contaminantes tales como *Albizzia julibrissim* y algunas con problemas de crecimiento en el ambiente de la ciudad de Córdoba como

TABLA 2: VALORES MEDIOS DE CAUDAL (mm/h), COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (C.E) E INCREMENTO RELATIVO (I-R) PARA LOS PERÍODOS 1960-1995 Y 1995-1997 EXPRESADOS EN PORCENTAJES

	1960	1995	1997	I-R 1960-95 (%)	I-R 1995-97 (%)	Precipitac. (mm)
Caudal (mm/h)	44,453	52,791	109,43	25,9	150,47	130
Coef. Esc. (C.E.) (%)	27,333	33,069	75,365			

FIGURA 7: VALORES MEDIOS DE CAUDAL PARA LAS CONDICIONES 1960, 1995 Y 1997

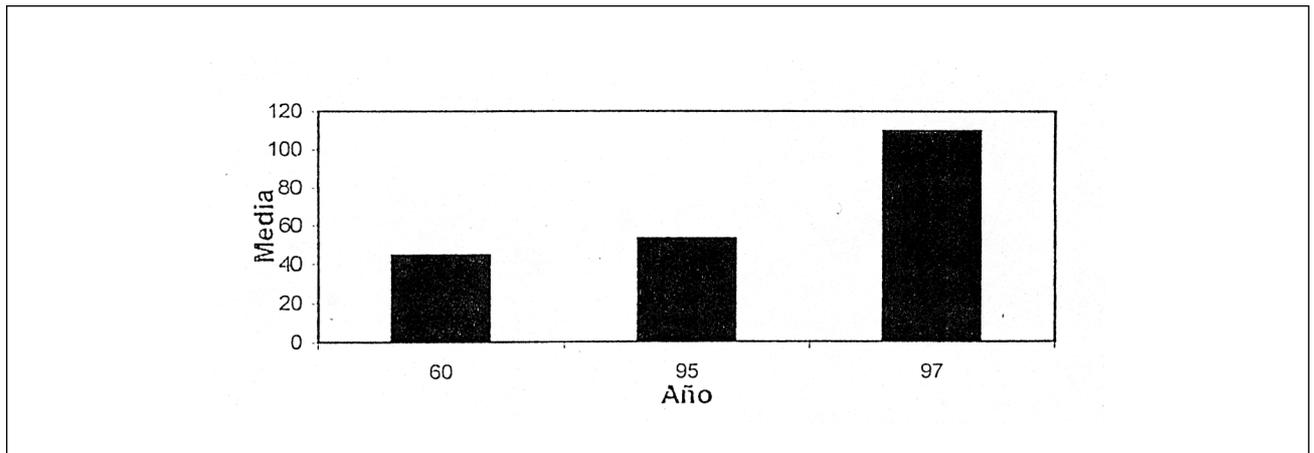


FIGURA 8: VALORES MEDIOS DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA LAS CONDICIONES 1960, 1995 Y 1997

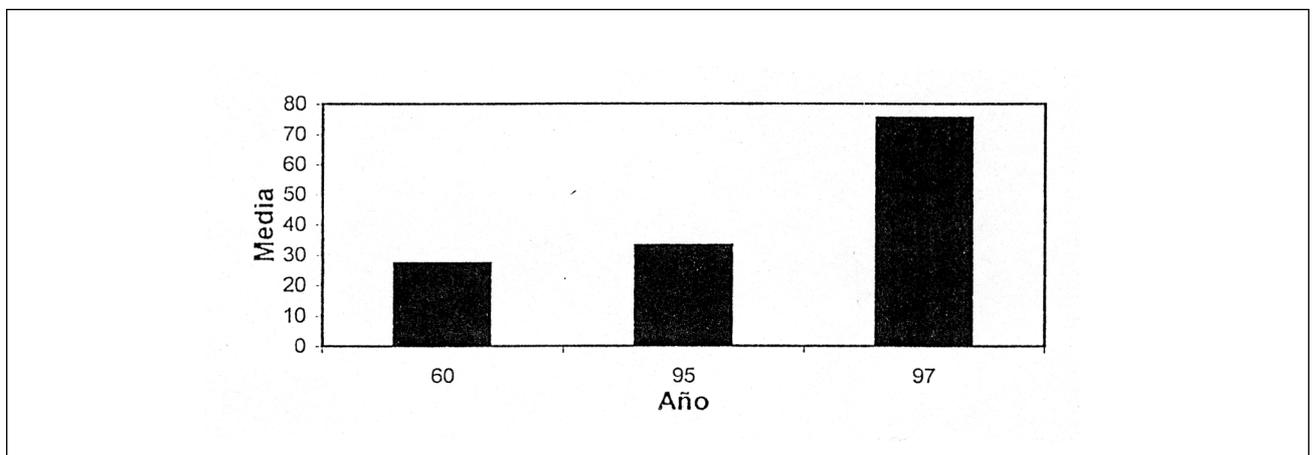
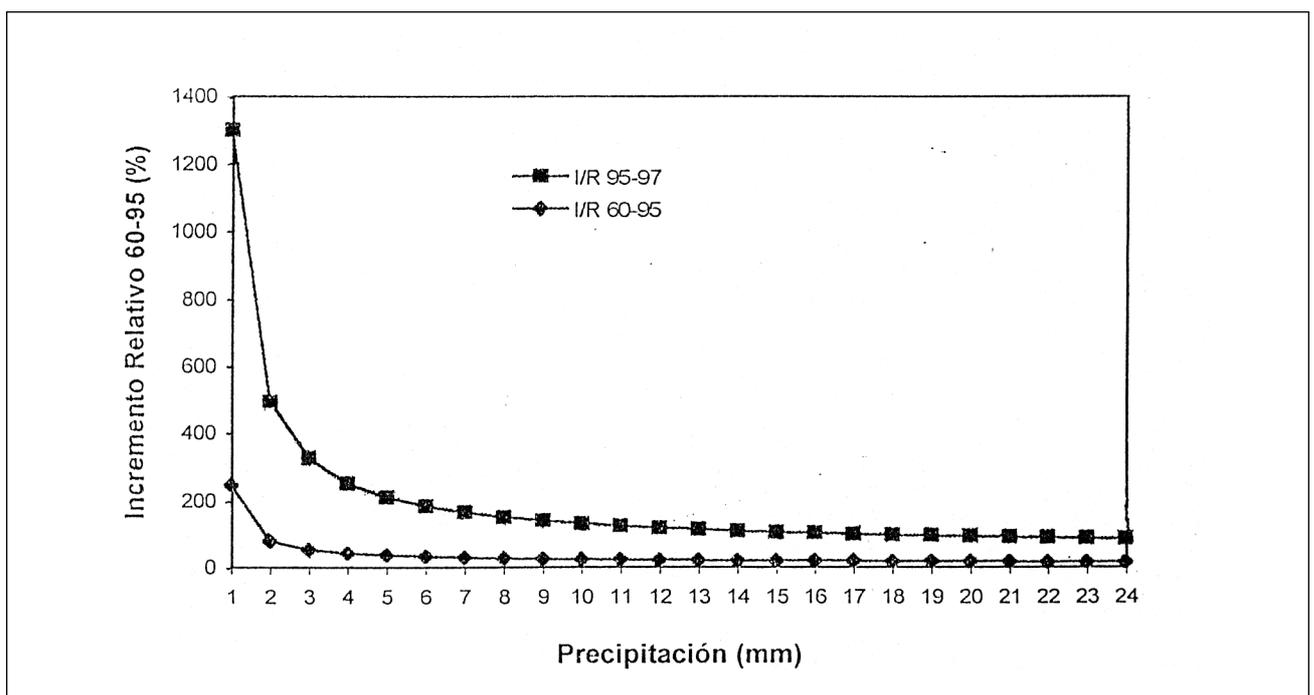


FIGURA 9: INCREMENTO RELATIVO (IR) EN LA DINÁMICA HÍDRICA DE LOS AÑOS 1960, 1995 Y 1997



Catalpa bignonioides, además de algunos arbustos de difícil obtención como *Viburnum tinus variegata*. Así, respecto de la *vegetación* se sugirió evitar en la parquización el uso de estas especies, dar continuidad a la vegetación nativa, reponer los ejemplares sacados por la obra y evitar procesos de invasión de especies exóticas en el área natural adyacente.

El *paisaje* es uno de los componentes sistémicos más vulnerables al impacto, ya que pierde completamente las características originales. En primera instancia por las modificaciones topográficas practicadas como consecuencia de la remoción del material, aplanamiento y posterior construcción de la plataforma, y en segundo lugar por el emplazamiento en el mismo de una obra de infraestructura de la magnitud de la aquí evaluada. En este último sentido se produce una alteración de las vistas desde todos los puntos de observación introduciendo en ellas un elemento artificial. Las formas resultan afectadas, principalmente, por variaciones micromorfológicas del relieve terrestre que modifican la topografía del ámbito estudiado. y con ello, las condiciones de visibilidad del entorno (incidencia visual) y el valor estético del área.

El paisaje se ve afectado a causa de la simplificación del relieve y la eliminación de la vegetación que le quitan visuales y heterogeneidad espacial y por el cambio de es-

pecies que brindarán una textura contrapuesta con la nativa original. Estos aspectos se deben incorporar en la parquización de modo de minimizar los efectos negativos en el paisaje.

3.4. Impacto sobre la Infraestructura

Otros componentes afectados por la construcción del Proyecto podrían ser las distintas áreas de infraestructura detalladas en el Mapa de Areas Críticas (Fig.3). El incremento de la escorrentía superficial afectaría todo el sistema del colector, la infraestructura vial y en especial el sector de la laguna de retención y por consiguiente la infraestructura educativa y de servicio existente en la manzana.

4. A MODO DE SÍNTESIS

El diagnóstico ambiental y la valuación de los efectos de la obra en el ambiente mediante mapas temáticos analíticos y sintéticos permitió obtener una evaluación de impacto ambiental de un modo expeditivo, detectar las principales áreas de conflicto e incorporar cálculos y análisis en detalle, a partir de los cuales se brindaron soluciones técnicas más detalladas. La cartografía de la tierra sumada a los mapas temáticos hidrogeomorfológico permitieron evaluar el estado del ambiente y detectar los puntos principales de conflicto, evitando abordar múltiples aspectos de la compleja problemática ambiental.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ARGÜELLO, L.M., SACCHI, G.A. Y A. PASQUINI. 1997.

Impacto de las Actividades Humanas en la Desembocadura de la Quebrada del Infiernillo y en la Cuenca del Chateau. Ciudad de Córdoba.

ACTAS Asoc. Arg. Geol. Apl. In. Vol. XI 7-20.

ALAIMO, I.M. Y M. LARGHI. 1965.

Ecología y Fitosociología de un Area Boscosa del Departamento Capital. Córdoba. *ined.*

BERTONI, J.C. 1996.

El Drenaje Urbano y la Planificación Urbana.

II Jornadas Nacionales de Saneamiento Pluvial Urbano, Córdoba, Argentina.

CAPITANELLI, R.. 1979.

Geomorfología.

En J.B. Vázquez, R.A. Miatello y M. E. Roqué (eds.) Geografía Física de la Provincia de Córdoba. Boldt. 213-296, Argentina.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 1978.

Estudio de los Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca.

Min. Agric. y Alim. Dir. Pres. y Cons. Subdir. de Manejo de Cuencas. Rep. Perú.

ETIENNE, M. 1982.

Descripción de la Vegetación mediante la Cartografía de Ocupación de Tierras.

Conceptos y manual de Uso Práctico. Fac. Cs. Agr. Veter. y Forestales. Chile.

HUDSON, N. 1982.

Conservación del Suelo.

Ed. Reverte SA 100-105 España.

- GALLOPIN, G. 1986.
Ecología y Ambiente.
En: Leff, E. (coord.) *Los Problemas del Conocimiento y la Perspectiva Ambiental del Desarrollo. Siglo Veintiuno Editores.* 126-173, México.
- GIAMBASTIANI, M. 1990.
Estudio de las deformaciones recientes en el sector occidental de la ciudad de Córdoba.
(Trabajo inédito), 33 pp. Córdoba.
- LONG, G. 1974.
Diagnostic Phyto-écologique et Aménagement du Territoire.
I. *Principes Généraux et Méthodes. Masson et Cie. France.*
- MOPU. 1984
Metodología para la Evaluación de la Erosión Hídrica.
109-113 pp. Madrid, España.
- MORELLO, J., M. DI PACE, R. BURKART, B. MARCHETTI Y C. MARTIN, 1988.
Temas de Conservación en América Latina.
Serie Contemporánea N° 11 UICN/Parque Nacionales. ARADE, Argentina.
- PALACIOS, A. Y J.L. ZAMAR, 1986.
Erosión Hídrica.
En: *Proyecto Regional Andino-Patagónico Pachón-Achala. Programa de Investigación Integrada y Entrenamiento en la Región Andina y Montañas Extradinas. UNESCO/MAB-PNUMA/CERNAR. 244-330 pp. Argentina.*
- PALACIOS, A. 1986
Cuencas de Montaña . Erosión Hídrica: Técnicas para su estudio.
Cuadernos de la Universidad Nacional de Córdoba. Agronomía. 19 pp. Argentina.
- QUINTANA SALVAT, F.; O. BARBEITO Y M. SANCHEZ, 1994.
Estudio geomorfológico e hidrodinámico para la prevención de inundaciones en la ciudad de Córdoba.
Actas de trabajos del Tercer Simposio Argentino de Teledetección. 60-73 pp. Argentina.
- SANABRIA, J.A.; A. MANZUR; G. ARGÜELLO Y A. BALBIS, 1990.
Procesos de erosión hídrica acelerada en un sector de la ciudad de Córdoba
(Informe inédito), 12 pp. Córdoba.
- SANTA CRUZ, J.N. 1972.
Geología al este de la Sierra Chica (Córdoba). Valle del Río Primero.
Tomo 1, N° 3-4: 102-110.
- SOIL SURVEY STAFF. 1994.
Keys to Soil Taxonomy.
United States Department of Agriculture. Washington D.C.
- TILLER, K.G. 1992.
Urban Soil Contamination in Australia.
Aust. J. Soil Res., 30: 937-957.



Materiales pelíticos aptos para ser utilizados como base en sistemas de deposición de residuos en zonas urbanas

Entre Ríos. Argentina

Bertolini, Juan Carlos

Resumen

Como respuesta a problemáticas ambientales actuales sobre sectores para depósitos de residuos urbanos en general, este trabajo pretende contribuir al conocimiento de materiales pelíticos que pueden ser usados como base de "arcillas" compactadas en la Provincia de Entre Ríos.

Los prospectos definidos fueron a través de diferentes ensayos químicos, físicos y mineralógicos principalmente en el territorio provincial, dando un esquema probable de adoptar.

1. INTRODUCCIÓN

En 1978 comenzaron los estudios de materiales pelíticos para diferentes usos y en especial para cerámicas rojas y arcillas expandidas (Bertolini, 1983) detectándose limos arcillosos y arcillas limosas con gran expansividad en la región sur y complejo deltaico (Bertolini y Tomás, 1980), cuenca del Arroyo Feliciano (Bertolini y Tomás, 1981), área norte de la cuenca del Río Gualeguay – Paso Sociedad - asociadas a vulcanoclastitas (Bertolini, 1985) si bien, se tenía el conocimiento de la existencia de vertisoles (Plan Mapa de Suelos INTA– Gobierno de Entre Ríos).

De muestras extraídas por la Dirección de Minería Provincial y el apoyo de análisis difractométricos de rayos X realizados, se pudieron determinar elevados porcentajes de montmorillonita sobre illita (Roellig 1983), luego se informa de existencias de bentonitas sin dar lugar preciso geográficamente de las muestras extraídas (Rossi 1983)

y por envíos de muestras posteriores sigue detectándose semejantes resultados (Roellig 1985).

A causa de la hiperinflación del país en 1989 se solicitó asistencia técnica gratuita al Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de la República Federal de Alemania (1992) quién dio un apoyo claro y preciso sobre el potencial observado (Lorenz 1994) continuándose con el relevamiento a los fines de redefinir áreas con desarrollo de usos.

Por lo tanto; se pretende coadyuvar al conocimiento de las pelitas en su uso, en este caso como barrera sustancial de futuros basurales y a generar líneas de investigación aplicada y también al cierre de canteras.

2. METODOLOGÍA

Recopilación de antecedentes, observaciones, descripciones de perfiles con extracción de muestras, estudios de laboratorio y gabinete.

Con la asistencia del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Hannover se precisaron más

Entregado: 04 de setiembre de 2001 ■ Aceptado: 28 de setiembre de 2001.

Dirección de Minería de Entre Ríos
Av. Larramendi 3108 - CP 3100 - Paraná

e-mail: bertolini49@hotmail.com

los usos y lugares propicios para ser explotados; posteriormente se determinaron zonas con características similares o iguales, tomando como punto focal, las muestras estudiadas por la Institución mencionada; agregándose nuevos muestreos y estudios de correlación geológica y edafológica - Plan Mapa de Suelos (INTA – Provincia de Entre Ríos), para la prospección y otros datos de interés económico.

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Entre Ríos está cubierta por depósitos de origen continental lacustre – palustre del Pleistoceno medio, Formación Hernandarias (Reig, 1956) con dos facies generales definidas de arcillas limosas y limos arcillosos, con fracción arcillas montmorillonita - illita y loessoides arenosos (Bertolini, 1995); loess del Pleistoceno superior de la Formación Tezanos Pintos (Iriando, 1980) y de origen marino estuarial como las ingresiones; del interstadial Wisconsin – Würm (+/-32.000 años a.p.) y del Flandriense (+/- 5.400 años a.p.) (Gonzalez y Guida, 1984), esta última, coincidiría con la Formación Isla Talavera (Gentili y Rimoldi, 1979).

Los suelos según el Orden que se desarrollan sobre las unidades mencionadas son: vertisoles, planosoles, molisoles, entisoles e inceptisoles.

Las Formaciones infrayacentes más antiguas aflorantes son: Formación Serra Geral (White 1908 en Soares, 1981) - Cretácico inferior, 127Ma (Turner et al., 1994), Formación Puerto Yerúa (De Alba y Serra, 1959) Cretácico superior, Formación Fray Bentos (Bossi, 1966) Oligoceno medio, Formación Paraná (Camacho, 1967) Mioceno superior – Plioceno inferior, Formación Ituzaingó (De Alba, 1953) Plioceno – Pleistoceno inferior.

La red hídrica regional de gran influencia en el modelado de las Formaciones, ha dado lugar a depósitos de terrazas, que no son Formaciones (Código Argentino de Estratigrafía, 1992, art.24.8), si bien en la literatura geológica de la región se las utiliza: Formación Salto Chico (Rimoldi, 1963), Formaciones La Picada y El Palmar (Iriando, 1980 y 1999).

4. UBICACIÓN DE LOS PROSPECTOS Y LAS MUESTRAS

(ver: Mapa de ubicación de los prospectos y de las muestras)

Prospecto 1B (Muestras Mer 06, 07, 08 y 09)

Ubicación: terrenos laterales al puente de la Ruta Nacional N°14 mojón Km 299, sobre ramal del ferrocarril cercano al arroyo Mandisoví Grande. Acceso: por Ruta Nacional N° 14 a 15 Km al Sur de la ciudad de Federación. Potencial minero: espesores de 3 a 5 m; 20 hectáreas observadas sin destape.

Prospecto 2 B (Muestra Mer 10)

Ubicación: 4 Km al sur de la localidad de Puerto Yerúa y a 2 Km pasando la entrada a canteras de basaltos de

Empresa Caminos del Río Uruguay S.A. Acceso: a Puerto Yerúa por camino consolidado (ripio) desde Ruta Nacional N° 14 y vía fluvial. Potencial Minero: no determinado, espesor de hasta 1,50 m por 3 m de ancho y longitud hasta 10 m medidos, lentes saltuarias entre arenas con escazo y sin destape.

Prospecto B 3 (Muestra Mer 18)

Ubicación: a 4 Km del puente del ferrocarril sobre el arroyo Urquiza, cercano al arroyo Casco y a 15 Km de la ciudad de Colón cabecera del Departamento Colón. Acceso: desde Ruta Nacional N° 14 por camino consolidado y de tierra. Potencial Minero: importante extensión areal sin destape 30 hectáreas, no más de 3,50 m.

Prospecto B 4 (Muestra Mer 21)

Ubicación: a ambos lados de la Ruta Provincial N° 39 mojón Km 136, a unos 6 Km al este de Caseros. Acceso: por ruta pavimentada mencionada. Potencial minero: importante extensión areal (mínimo 20 hectáreas), sin destape, espesor estudiado hasta 3,50 m. Prospecto B 5 (Muestra Mer 24)

Ubicación: mojón Km 71 de la Ruta Nacional N° 14, a 5 Km al norte del arroyo Gualayán y a 11 Km al norte de Gualaguaychú. Acceso: directo por pavimento. Potencial minero: extensión areal importante mínima 10 hectáreas, espesor no mayor a 3,50 m sin destape.

Prospecto B 6 (Muestra Mer 27)

Ubicación: mojón Km 54 a ambos lados de la Ruta Provincial N° 16, a 13 Km al oeste del cruce con la Ruta Nacional N° 14 y a 1 Km al Este del arroyo Correntino. Potencial minero: 40 hectáreas sin destape con espesor máximo conocido de 3m.

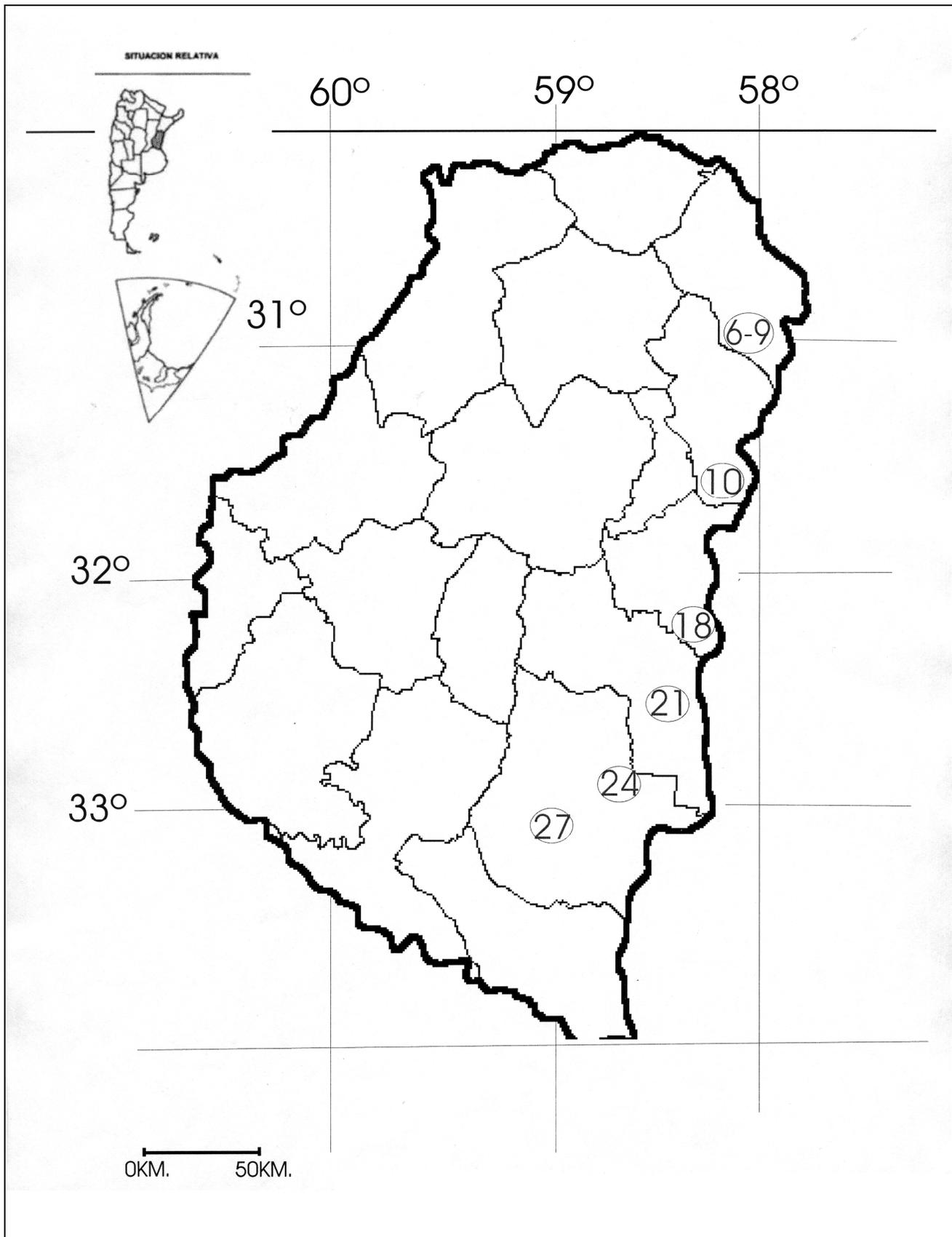
Los prospectos se encuentran de dominio de particulares y en áreas no inundables.

Breve hipótesis sobre el origen de las montmorillonitas cálcicas (Esmectitas) de Entre Ríos

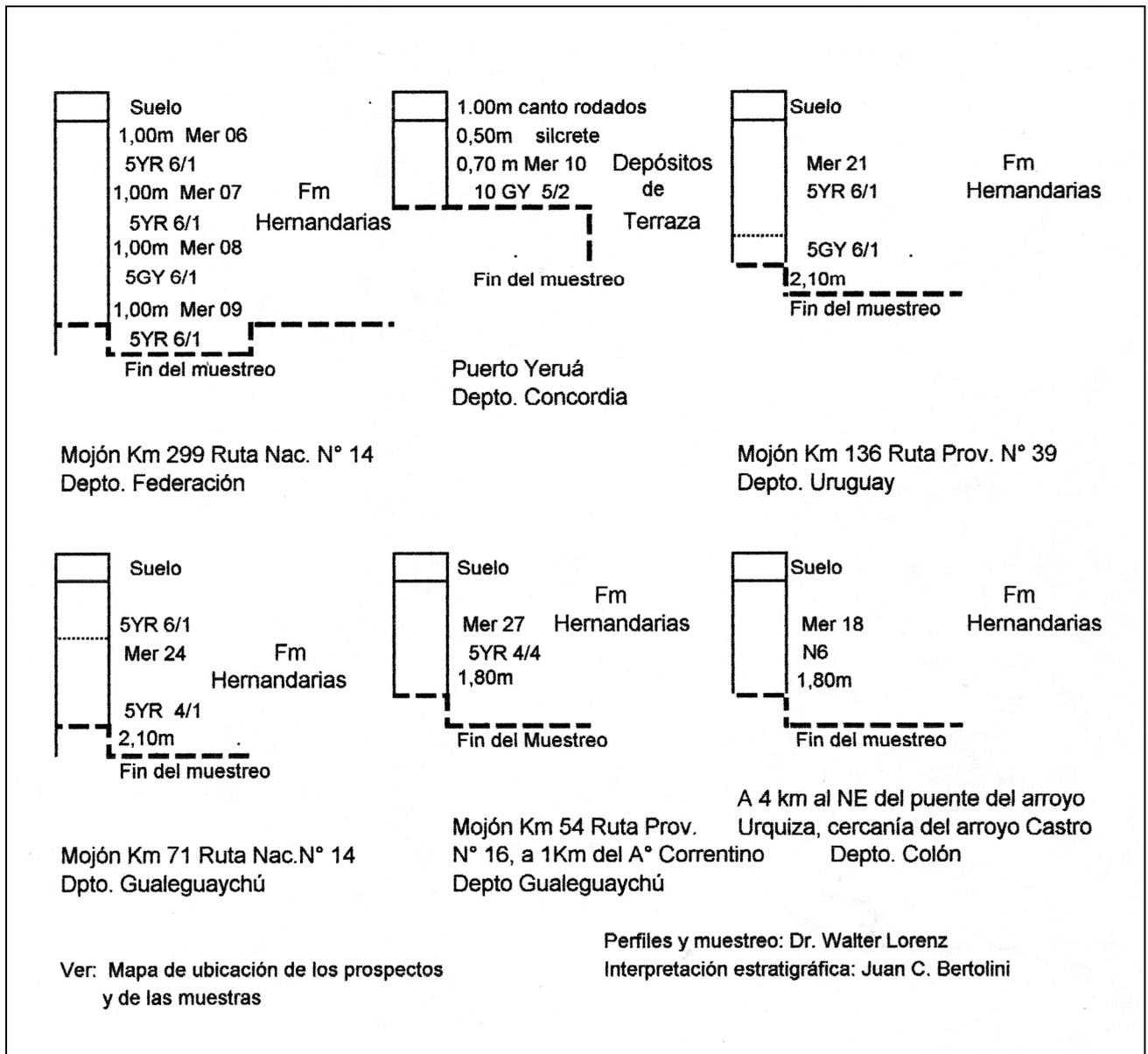
Bentonita: “Es una roca constituida esencialmente por un arcillomineral montmorillonítico (esmeclítico) formado por la desvitrificación y subsecuentemente alteración química de un material vítreo, de origen ígneo, usualmente una toba o ceniza volcánica, ácida preferentemente”. (Ross y Shannon 1926 en Souza Santos 1975), tomando este nombre comercial a arcillas con valores superiores al 50% de montmorillonitas sódicas o cálcicas que principalmente expanden.

“Las bentonitas de Entre Ríos no son puras (muchas veces llevan contenidos relativamente altos de óxido de hierro), ni ricas (contienen solamente hasta 50 – 75 %de montmorillonita) y no contiene de Na – sino de Ca – montmorillonita”. (Lorenz 1994).

UBICACIÓN DE LOS PROSPECTOS Y DE LAS MUESTRAS



PERFILES TIPO E INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA



De la recopilación de análisis difractométricos de arcos X, se destacan valores de más de 60 % y hasta 100% de montmorillonitas cálcicas lo que define aún más la existencia de bentonitas.

La relación vertisoles, arcillas limosas con interstratificación de cenizas volcánicas halladas en ciertos lugares (NO, Centro y Sur) de la Provincia y las comparaciones realizadas con arcillas limosas del sur del Brasil (illita – montmorillonita) y de la Formación Libertad (montmorillonita – illita) en Uruguay; interpretamos que las bentonitas se originaron por la alteración y transporte de materiales volcánicos y sedimentitas del Cretácico finamente molidos, retransportados y alterados en el nuevo lugar de depósito, con aporte de cenizas volcánicas sincrónicas con la depositación de limos y

arcillas en un ambiente lacustre - palustre estacional; Formación Hernandarias.

5. MODELOS DE BARRERAS SUSTANCIALES PARA BASURALES

(Ver figs. 1, 2 y sello combinado)

Partiendo de lo propuesto en el importante trabajo de Muñoz y Torrán (2000), consideramos imprescindible proponer un modelo alternativo quizás más económico y factible según las necesidades regionales (ver: fig. Sello basal combinado) para coadyudar a modelos de sellos mineralíticos en función de las características geológicas de Entre Ríos.

Además, sea más económico realizar cierres de tipo alemán (ver: fig. 1 y 2) importando de otras provincias

ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Muestras N°

Composición	Mer 06	Mer 07	Mer 08	Mer 09	Mer 10	Mer 18	Mer 21	Mer 24	Mer 27
Si O ₂ %	68,09	67,68	65,93	64,38	61,85	57,81	58,25	57,2	61
Ti O ₂ %	0,735	0,815	0,857	0,88	0,625	0,994	0,846	0,81	0,809
Al ₂ O ₃ %	9,03	11,4	12,04	12,69	11,22	10	13,36	13,62	13,86
Fe ₂ O ₃ %	3,17	3,93	4,21	4,5	8,46	4,79	4,83	4,79	4,75
Mn O %	0,143	0,167	0,178	0,18	0,055	0,074	0,095	0,117	0,126
Mg O %	1,02	1,29	1,28	1,29	1,69	1,19	1,41	1,51	1,48
Ca O %	4,5	1,31	1,36	1,26	1,03	7,76	4,1	4,38	2,43
Na ₂ O %	0,71	0,79	0,7	0,62	0,26	0,74	0,87	1,2	1,3
K ₂ O %	0,73	0,91	0,82	0,69	1,09	0,67	1,27	1,39	1,52
P ₂ O ₅ %	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,01	0,03	0,03	0,04	0,04
(SO ₄) %	0,09	0,07	0,18	0,11	0,05	0,18	0,1	0,11	0,1
LOI %	11,5	11,17	11,91	12,97	13,43	15,39	14,74	14,55	12,23
SUM %	99,74	99,55	99,49	99,59	99,76	99,63	99,9	99,72	99,65

CONTENIDO DE CARBONATOS % (MÉTODO DE SCHEIBLER)

Muestra N°	Mer 06	Mer 07	Mer 08	Mer 09	Mer 10	Mer 18	Mer 21	Mer 24	Mer 27
	6,1	0,4	0,3	0,2	0,4	12,2	6,9	4,9	1

GRANOMETRÍA (MÉTODO DE LA PIPETA SEGÚN ANDREASEN)

(Tratamiento ultrasónico para dispersión de las partículas finas)

Muestras N°	Clasificación	mg	dt	gc
Mer 06	Arcilla limosa	6,1	0,86	X
Mer 07	Arcilla limosa	3,5	0,68	X
Mer 08	Arcilla limosa	2,7	0,55	X
Mer 09	Arcilla limosa	2,2	0,47	X
Mer 10	Limo loessoide	12,3	0,86	X
Mer 18	Arcilla limosa	5,9	0,88	X
Mer 21	Arcilla limosa	2,6	0,68	X
Mer 24	Arcilla limosa	2,6	0,68	X
Mer 27	Arcilla limosa	3,2	0,67	X

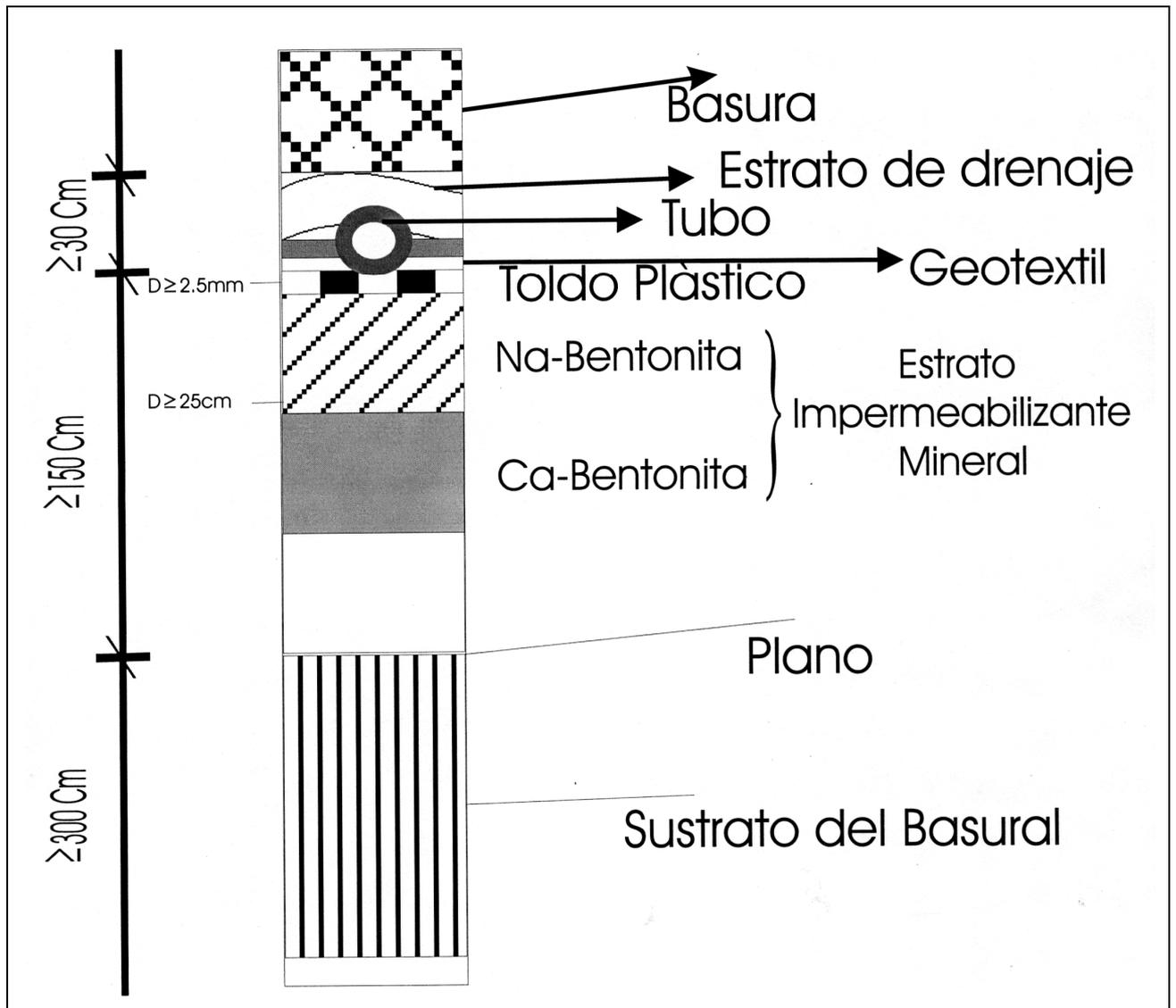
mg: media geométrica
 dt: desviación típica
 gc: grado de clasificación

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA POR DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS - X

Muestra N°	Mer 06	Mer 07	Mer 08	Mer 09	Mer 10	Mer 18	Mer 21	Mer 24	Mer 27
Componente principal	E - C	E - C	E - C	E - C	E - C	E - C	E	E	E
Comp. princ. secundario							M - I	C	
Componente secundario							C		M - I - C - F
Componente sec. trazas	F							M - I	
Componente trazas	Cal	F - D	F	F	F	F - Cal	Cal	Cal	Cal

Referencias: C = Cuarzo, ML = mixed layer, F= Feldespato, M= Muscovita, I=Illita, E=Esmectita, Cal=Calcita, D=Dolomita / Información base: BGR ver bibliografía

FIGURA 1: CONTRA AGUAS DE INFILTRACIÓN INORGÁNICAS (MOD. ALEMAN)



bentonitas sódicas y caolín o utilizando las cálcicas entre-rianas a usar geotextil en más de una capa.

El perfil de sello combinado según nuestras interpretaciones, debe ser realizado básicamente sin el acuífero muy cercano a la superficie utilizando, de ser posible, las canteras abandonadas que se encuentran sobre Formaciones como Serra Geral, Puerto Yerúa y Fray Bentos (calcrete basal) que son acuífugas en general y/o, según su altimetría, sobre Formación Hernandarias facie de arcillas limosas o limos arcillosos compactados previamente, preferentemente. En algunos lugares poseen un espesor promedio de 15 metros sobre el acuífero principal de Formación Ituzaingó.

En el trabajo presentado por Lorenz (1994) se aconseja el uso de las bentonitas cálcicas de Entre Ríos como sellador de base de basurales previo estudio del valor K de transmisividad que normalmente debe alcanzar hasta $< 10^{-10} \text{ m/s}$ y más como exigencias máxima.

6. CONCLUSIONES

La información geológica estratigráfica de la Provincia en general es deficiente por la falta de datos en calidad y cantidad, dando lugar a interpretaciones subjetivas y con escasas precisiones, no respetándose el Código Argentino de Estratigrafía.

Los métodos de determinación tecnológica han servido no sólo para identificar usos, sino también para definir unidades litoestratigráficas confusas o de multiplicidad sinónmica generando, otro apoyo de interpretación más concretas.

Los ensayos tecnológicos, con el apoyo de la Edafología en la prospección de zonas de escaso relieve y sin afloramiento; demostraron ser una herramienta útil, más aún cuando se trata de Series de suelos por la descripción físico-química más precisa.

Es imprescindible investigar con estudios pilotos la alternativa propuesta de sello, por cuanto la Fm Hernandarias ofrece naturalmente una destacada influencia en el control de líquidos por su baja permeabilidad.

La extracción de los materiales peléticos, debe realizarse con la mezcla de todo el perfil para aumentar la profundidad de la extracción, salvo en el caso de aumento de concreciones carbonáticas y/o cercanía a calcretes infrayacentes, por cuanto el aumento del tenor carbonático en la mezcla puede hacer disminuir las propiedades plásticas y de impermeabilidad de las arcillas limosas.

Es de suma importancia conservar el suelo edáfico para ser utilizado en el cierre de las áreas de extracción.

En todos los casos se pueden forestar las cavas que se originen hasta inclusive de Fm Ituzaingó; salvo en donde yacen sobre las Formaciones Puerto Yerúa y Serra Geral y calcretes muy compactos.

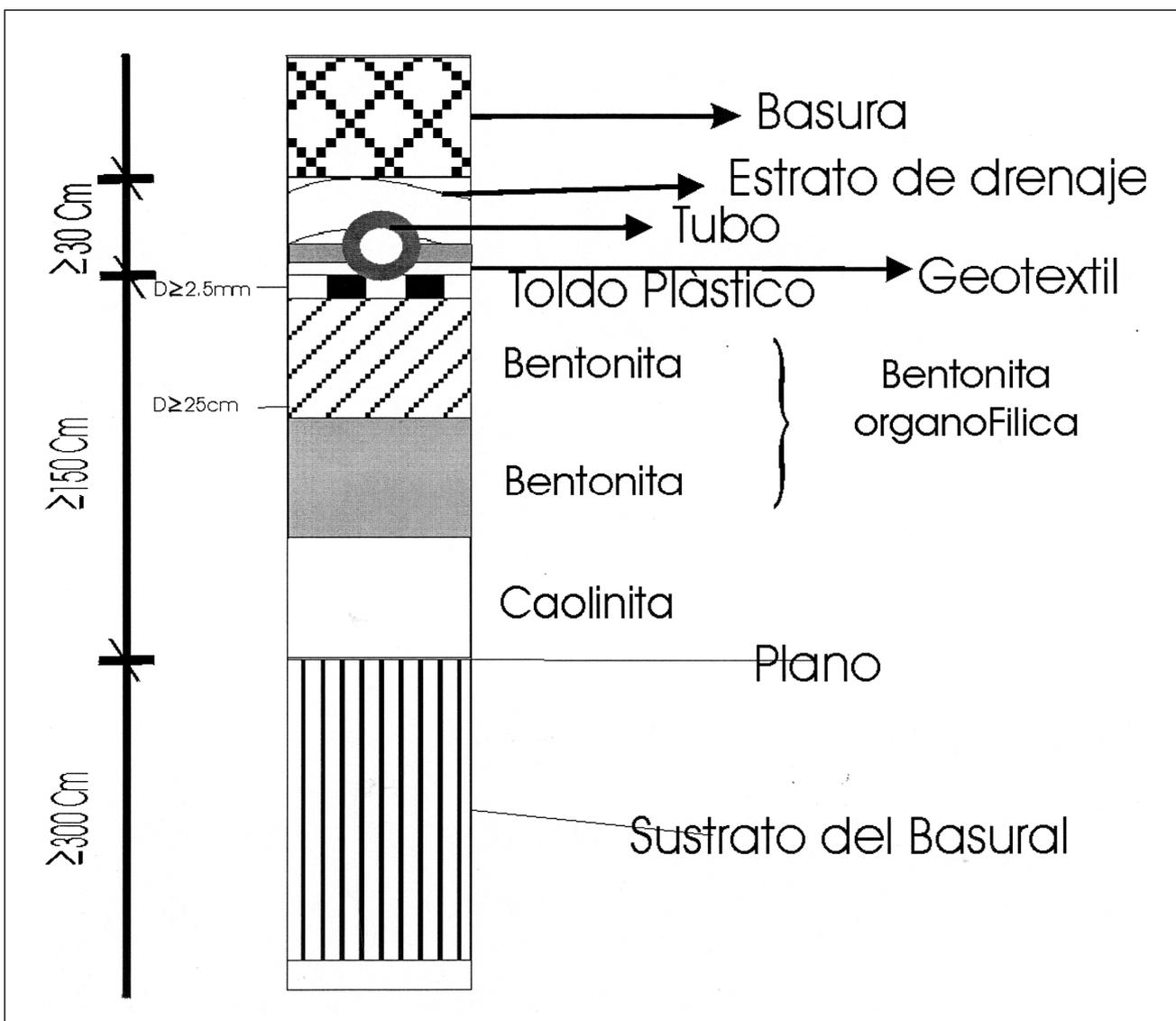
7. AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento al Doctor Walter Lorenz B. por las profundas enseñanzas y su amistad y al Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Hannover -BGR-.

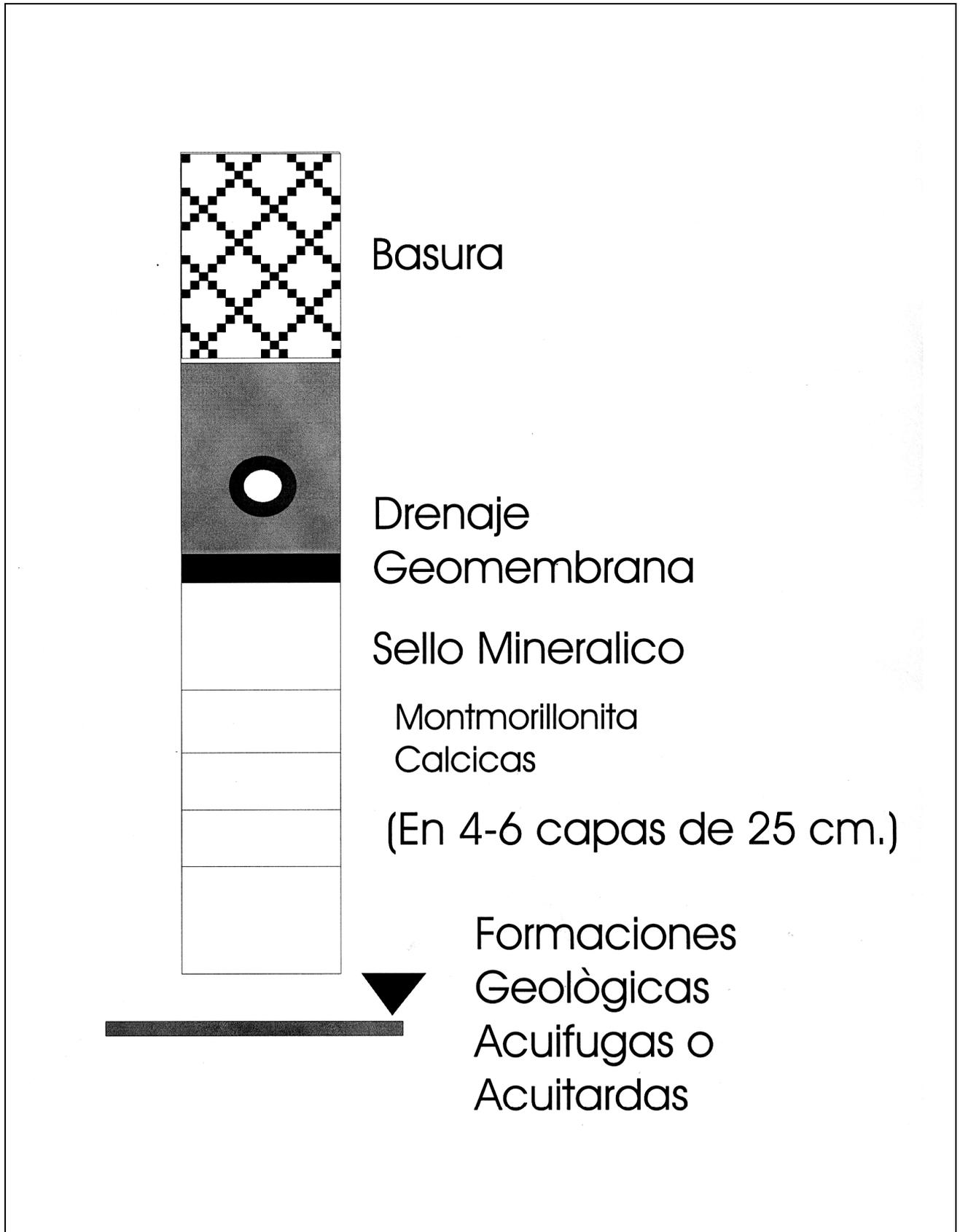
Al Geólogo Gustavo R. Vallejo quien determinó iniciar los estudios sobre arcillas en general, al recientemente fallecido colega Carlos J. Vesco por las enseñanzas de Edafología, a Leonardo Brambilla estudiante de Informática y al actual Director de Minería de la Provincia Geólogo José A. Sanguinetti por autorizar la publicación del trabajo.

También se agradece a la Estación Experimental Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y en especial al Dr. Horacio Rimoldi por el gran aporte que ha dado con sus trabajos de Geología aplicada a las grandes obras de ingeniería que se realizaron en la región oriental de mi provincia.

FIGURA 2: CONTRA AGUAS DE INFILTRACIÓN ORGÁNICAS (MOD. ALEMAN)



SELLO BASAL COMBINADO



8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BERTOLINI, J.C. Y M. TOMÁS, 1980.

Estudio regional de prospección geológico-económico-minero de yacimientos pelíticos para usos industriales (cerámicas rojas y arcillas expandidas) entre los paralelos 32° 10' y 34° de latitud Sur y Meridianos 60° 30' y 58° 30' de longitud Oeste, aproximadamente.

Provincia de Entre Ríos (inédito). Dirección de Minería de Entre Ríos. Paraná.

BERTOLINI, J.C. Y M. TOMÁS, 1981.

Geología regional para la prospección de sedimentos pelíticos en la cuenca del arroyo Feliciano.

Provincia de Entre Ríos (inédito). Dirección de Minería de Entre Ríos. Paraná.

BERTOLINI, J.C., 1983.

Estudio geomínero de materiales pelíticos para cerámicas rojas y arcillas expandidas en el delta del río Paraná.

Segundo Congreso Nacional de Geología Económica. 2: 653 – 667. San Juan.

BERTOLINI, J.C., 1985.

Acerca de las manifestaciones vulcanoclásticas, aflorantes en la margen derecha del río Gualeguay; Paso Sociedad, Departamento Federal y sus posibilidades de uso.

Provincia de Entre Ríos (inédito). Dirección de Minería de Entre Ríos. Paraná.

BERTOLINI, J. C., 1995.

Mapa Geológico de Entre Ríos.

Secretaría de Minería de la Nación. Dirección Nacional del Servicio Geológico y Dirección de Ciencia y Tecnología de Entre Ríos. Escala 1: 500.000. Buenos Aires.

COMITÉ ARGENTINO DE ESTRATIGRAFÍA, 1992.

Código Argentino de Estratigrafía.

Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria, 20: 1-64. Buenos Aires.

BOSSI, J., 1966.

Geología del Uruguay.

Universidad de la República. Departamento Publicaciones. 469 pp. Montevideo.

CAMACHO, H., 1967.

Las transgresiones del Cretácico superior y Terciario de la Argentina.

Revista de la Asociación Geológica Argentina. 22. (4): 253 - 280. Buenos Aires.

DE ALBA, E., 1953.

Geología del Alto Paraná en relación con los trabajos de derrocamiento entre Ituzaingó y Posadas.

Revista de la Asociación Geológica Argentina. 8 (3): 129 – 161. Buenos Aires.

DE ALBA, E Y SERRA, N. 1959.

Aprovechamiento del río Uruguay en la zona de Salto Grande. Informe sobre las condiciones y características geológicas.

Dirección Nacional de Geología. Anales 11: 35 pp. Buenos Aires.

GENTILI, C.A. Y RIMOLDI, H.V., 1979.

Mesopotamia.

Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. 1: 185- 223. Córdoba.

GONZALEZ, M.A. Y GUIDA N.G., 1984.

Evidencias paleoestuarías en el sudeste de Entre Ríos, su evolución con niveles marinos relativamente elevados del Pleistoceno Superior y Holoceno.

Actas Noveno Congreso Geológico Argentino. 3: 577 – 594. Bariloche.

- IRIONDO, M. H., 1980.
El Cuaternario de Entre Ríos.
Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral. 11: 125 – 141. Santa Fe.
- IRIONDO, M.H, 1999.
El Cuaternario del Chaco y Litoral.
En Caminos, R. (Ed.) SEGEMAR – IGRM. Subsecretaría de Minería de la Nación. Geología Argentina. Anales 29: 696-699, Buenos Aires.
- LORENZ B., W., 1994.
Evaluación del potencial minero no metalífero de la Provincia de Entre Ríos, República Argentina.
Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales. Cooperación Técnica República Federal de Alemania – Provincia de Entre Ríos. 1, 2 y 3: (Inédito) Hannover.
- MUÑOZ, L. Y TORRÁN, E., 2000.
Sitios de tratamientos y disposición final de residuos peligrosos.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. 15: 75-81. Buenos Aires.
- REIG, O.A., 1956.
Sobre la posición sistemática de *Zygolestes paranensis* Amegh. Y *Zygolestes entreerrianus* Amegh, con una consideración de la edad y correlación de “Mesopotamiense”
Revista Centro de Estudiante de Ciencias Naturales. Holmbergia 5: 209 – 226. Buenos Aires.
- RIMOLDI, H.V., 1963.
Aprovechamiento del río Uruguay en la zona de Salto Grande. Acerca de las condiciones geológicas del lugar de un emplazamiento de la presa de compensación proyectada en San Antonio (Salto Chico).
Boletín Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. 43: (2,3 y 4): 267 – 288. Córdoba.
- ROELLIG, F.R., 1983.
Estudio por difracción de rayos X de 35 muestras arcillosas procedentes de la Pcia. de Entre Ríos.
Solicitado por la Dra. Natalia Rossi del Servicio Minero Nacional (inédito). Secretaría de Minería de la Nación. Buenos Aires.
- ROELLIG, F.R., 1985.
Estudio por difracción de rayos X de 15 Muestras arcillosas procedentes de la cuenca del arroyo Feliciano y otras. Provincia de Entre Ríos.
Solicitado por la Dirección de Minería de esa Provincia. Servicio Minero Nacional (inédito). Secretaría de Minería de la Nación. Buenos Aires.
- ROSSI, N., 1983.
Hallazgo de Bentonitas en Entre Ríos.
Servicio Minero Nacional (inédito). Secretaría de Minería de la Nación. Buenos Aires.
- SOARES, P.C., 1981.
Estratigrafía das Formações Jurássico – Cretáceas na Bacia do Paraná – Brasil.
En Volkheimer, W. y Musacchio, E. A. (Eds.) Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur. Comité Sudamericano del Jurásico al 2º Congreso Latinoamericano de Paleontología 1: 272 – 304. Buenos Aires.
- SOUZA SANTOS DE, P., 1975.
Tecnología de argilas aplicada às argilas brasileiras. Fundamento – Aplicações.
Universidade de São Paulo. Editora Edgard Blucher Ltda, 1 – 2: 802 pp. São Paulo.
- THE ROCK – COLOR CHART COMMITTEE, 1991.
Rock Color Chart with genuine Munsell color chips.
The Geological Society of América. 7 th printing. Colorado.
- TURNER S., ROGELOUS, M., KELLEY, S., HAWKESWORTH, C. Y MANTOVANI, M., 1994.
Magmatism and continental break – up in the South Atlantic: high precision $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ geochronology.
Earth and Planetary Science Letters 121: 333 – 348.



Análisis del subsuelo de Bahía Blanca, en relación a unidades ambientales homogéneas, tipología edilicia y fundaciones

Caló, Jorge E. - Fernández, Elba M. - Marcos, Angel O. - Aldacour, Héctor E.

Resumen

La ciudad de Bahía Blanca ha sufrido una expansión demográfica significativa a partir del año 1978, lo que ocasionó un importante desarrollo edilicio. Este se ha realizado hacia distintos sectores a partir del centro de la ciudad, ocupando sitios que presentan diferentes características geológicas en cuanto a la capacidad soporte para las fundaciones. En determinados lugares se han registrado daños en las obras civiles, fundamentalmente fisuras y grietas en las viviendas unifamiliares y de tipo monoblocks.

La línea de trabajo del grupo de investigación desde hace algunos años tiende a aportar nuevos conocimientos sobre la geología de Bahía Blanca, y su consideración desde el punto de vista ingenieril y del medio ambiente, traducidos en una zonificación del territorio según su aptitud para fundar de acuerdo a una tipología edilicia definida. Dado que el crecimiento de la ciudad está presionando sobre zonas de posible conflicto, este aporte al conocimiento será capitalizado por la planificación para optimizar el uso de la tierra o la ordenación territorial.

La herramienta principal utilizada es un sistema de información geográfico que permite integrar y manipular bancos de datos, para evaluar la información e interpretarla y posteriormente editarla en forma de mapas tanto temáticos como integradores.

Este trabajo utiliza la información de estudios anteriores, en los cuales se presentaron mapas de peligro para fundaciones del tipo semaforico, de unidades homogéneas según las características geomorfológicas, geológicas, hidrogeológicas, estratigráficas, topográficas, edafológicas y geotécnicas del suelo. Además, se han definido tipologías edilicias y relacionado su distribución con los distintos ambientes geológicos.

Considerando que los inconvenientes registrados pueden ser evitados a partir de la utilización racional de los terrenos, es que aquí se relacionan los mapas antes citados y las tipologías edilicias definidas, con los distintos tipos de fundación a utilizar dados por la bibliografía clásica.

Los resultados obtenidos, se ordenan en forma de matriz de doble entrada, de rápida visualización. También se genera una serie de mapas para cada una de las diferentes tipologías edilicias, producto de la combinación del mapa temático de unidades homogéneas y los distintos tipos de fundación propuestos. Si bien este mapa es de suma utilidad para la planificación, no exime de la realización de los estudios geológicos y geotécnicos en cada sitio en particular.

Entregado: 05 de Setiembre de 2001 ■ Aceptado: 26 de Setiembre de 2001

Dpto. de Geología, Universidad Nacional del Sur. San Juan 670,
(8000) Bahía Blanca.

e-mail: jecaló@criba.edu.ar; efernan@criba.edu.ar;
amarcos@criba.edu.ar; aldacour@criba.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

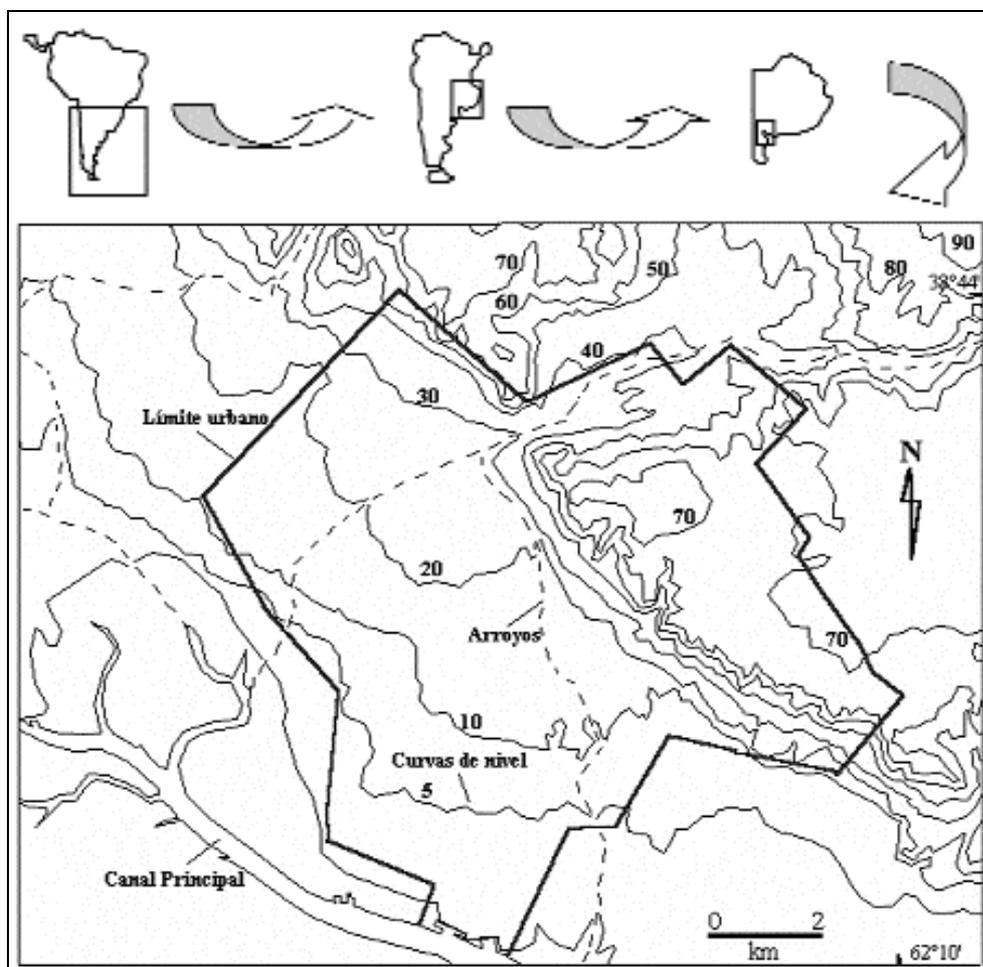
El objetivo de este trabajo es la confección de mapas temáticos, útiles para desarrollar un planeamiento urbano preliminar, a efectos de evitar inconvenientes en las construcciones generados a causa de la expansión acelerada de la población y la consecuente urbanización de zonas no aptas para ello. Estos mapas serán construidos a partir del mapa de unidades homogéneas (Caló *et al.*, 1999), las tipologías edilicias que se presentan en el área de estudio (Caló *et al.*, 2000) y las distintas alternativas de cimentación.

La ciudad de Bahía Blanca se encuentra en el sur de la Provincia de Buenos Aires, entre los 38°44' de latitud

sur y 62°16' de longitud oeste (Fig. 1). A 7 kilómetros al sur de la ciudad y sobre el llamado canal principal está el puerto de aguas profundas de Ingeniero White, donde se realiza una variada actividad y que dio lugar al desarrollo industrial, cerealero, químico y petroquímico del sector.

El casco urbano de la ciudad se encuentra sobre un cono aluvial y una antigua llanura de marea emergida y se extiende hasta una peniplanicie pedemontana que corona la ciudad hacia el norte. Esta peniplanicie constituye la transición entre el sistema Paleozoico de las Sierras Australes a 70 km al norte de la ciudad y la bahía Blanca a 7 km al sur, conformada por un sistema complejo de bahía-estuario constituido por canales de marea.

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



El sitio inicial de la fundación de la ciudad de Bahía Blanca, a una cota de aproximadamente 20 metros, fue elegido por las condiciones ambientales favorables que se encontraron. Entre ellas la calidad del suelo y la presencia de los arroyos Napostá Grande y Maldonado, que aseguraban el abastecimiento de agua, y la cercanía del mar como medio de comunicación.

La ciudad ha sufrido ciclos de desarrollo industrial y comercial que generaron crecimiento acelerado de la

población, llegando actualmente a tener cerca 300.000 habitantes. El último gran ciclo de expansión se dio a partir de 1970, con la instalación de la industria Petroquímica y sus industrias satélites.

Al no disponerse de una planificación urbana que se adaptara a estos ciclos, se produjo la población de áreas alejadas que al no reunir las condiciones mínimas de calidad de suelos, generaron con el tiempo inconvenientes en las fundaciones de las viviendas. Así se construyó en la zona

con fuertes gradientes y de suelos colapsibles del aluvio-coluvio, la zona de la ribera del arroyo Napostá Grande, inundables con las crecidas y en las áreas bajas de suelos expansivos e inundables por las mareas en Ingeniero White.

2. ANTECEDENTES

La idea de realizar mapas temáticos de características geotécnicas como ayuda a la planificación urbana surge de la asociación del conocimiento de las formaciones geológicas superficiales y subsuperficiales y su capacidad soporte (Caló *et al.*, 1997), que permite establecer cual es el valor soporte de un suelo, una vez que se identifica una formación determinada.

Los mapas temáticos realizados inicialmente, como por ejemplo el mapa semafórico (Caló *et al.*, 1998) que establece zonas aptas, no aptas y de cuidado, y cuya utilidad preliminar se juzga importante, en una etapa posterior de la planificación se considera que la información debería ser más discriminada, ya que una zona indicada como no apta en general no necesariamente implica que no se pueda construir en ella cierto tipo de estructura. Es por ello que se continuó elaborando el concepto aumentando paulatinamente el nivel de información en cada sector individualizado, generándose un mapa de unidades homogéneas (Caló *et al.*, 1999). Estas unidades surgieron a partir de la superposición de los mapas temáticos de topografía,

geomorfología, litología, formaciones superficiales, suelo agronómico, niveles del agua subterráneas y características geotécnicas de los suelos. En base a estos mapas y a la investigación elemental de cimentaciones es que se propone la creación de estos nuevos mapas temáticos, donde además de toda la información que se puede extraer de un sitio puntual, rápidamente pueda identificarse un tipo de cimentación de acuerdo a las tipologías edilicias en cuestión (Caló *et al.*, 2000).

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología utilizada consiste en procesar una base de datos de información existente con un Sistema de Información Geográfica (Idrisi), que va generando los distintos mapas temáticos según los requerimientos establecidos, que en este trabajo consiste en asociar la tipología edilicia y las unidades homogéneas con tipos básicos de fundación.

La información existente consiste en las tipologías edilicias (Tabla 1) definidas en su momento de acuerdo a la edificación existente en el área de estudio (Caló *et al.*, 2000). También en las unidades homogéneas (Tabla 2, Fig. 2) ya establecidas a partir de la superposición de los mapas temáticos de topografía, geomorfología, litología, formaciones superficiales, suelo agronómico y nivel del agua subterráneas y ensayos de penetración estándar (Caló *et al.* 1999).

TABLA 1: DEFINICIÓN DE LA TIPOLOGÍA EDILICIA Y SIMBOLOGÍA ADOPTADA

TIPOLOGÍA EDILICIA	Simbología
Vivienda unifamiliar	VUF
Barrios de viviendas (bajas y en monoblocques)	BVyM
Edificios en altura.	EA
Industria Liviana	IL
Industria Química y Petroquímica	IQPQ
Tanques y silos de almacenamiento	DA
Industria pesada	IP

Los tipos básicos de cimentación se obtienen a partir del análisis y evaluación bibliográfica de distintos autores que tratan de relación de los cimientos con el suelo.

4. RESULTADOS

De la investigación bibliográfica realizada sobre cimientos se optó utilizar el esquema de la relación cimiento versus terreno presentado por Krynine (1961), como base del modelo a utilizar en este trabajo. En la Tabla 3 se presentan los principales tipos de cimentación definidos y que son identificados con números romanos.

En la Tabla 4, se presentan las distintas posibilidades de cimentación para las diversas combinaciones entre la tipología edilicia y las unidades homogéneas.

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La cimentación tiene por objeto llevar los esfuerzos que proporciona la estructura (sean de compresión o de tracción) hasta el suelo, distribuyéndolos de modo y manera que no lo soliciten bajo tensiones mayores que las que puede soportar.

TABLA 2: UNIDADES HOMOGÉNEAS DEL MAPA GEOLÓGICO INGENIERIL

UNIDADES	GEOMORFAS	FORMACIONES	POTENCIA (m)	FORMACIÓN SUBYACENTE	TOPOGRAFÍA (m.s.n.m.)	PENDIENTE	PROFUNDIDAD ACUÍFERO (m)	VALORES ENSAYOS SPT AGRONÓMICO	TIPO SUELO
1	Canal	-	-	-	-	-	-	-	-
2	LLi	Maldonado	3 - 8	Pampiano	-5 a 0	Muy baja	Menor de 4	menor de 20	26a
3	LLMi	Maldonado	3 - 8	Pampiano	0 a 5	Muy baja	Menor de 4	menor de 20	26a
4	LLMs	Maldonado	3 - 8	Pampiano	5 a 10	Muy baja	Menor de 4	menor de 20	26c
5	LL A1	B.Blanca	2 - 10	Pampiano	10 a 20	Baja	4 a 10	30 a 30	3a
6	Cono-Al	B.Blanca	2 - 10	Pampiano	20 a 30	Baja	4 a 10	30 a 40	3a
7	Col-Al	B.Blanca	2 - 10	Pampiano	10 a 60	Media-Alta	4 a 10	20 a 30	12a
8	Col-Al	B.Blanca	2 - 10	Pampiano	20 a 60	Media-Alta	4 a 10	20 a 30	3a
9	Col-Al	B.Blanca	2 - 10	Pampiano	30 a 60	Media	4 a 10	20 a 30	3a
10	Col-Al	B.Blanca	2 - 10	Pampiano	40 a 60	Media	4 a 10	20 a 30	3a
11	Col-Al	B.Blanca	2 - 10	Pampiano	50 a 70	Media	4 a 10	20 a 30	3a
12	Planicie	Pampiano	10 - 150	Chasicó	mayor de 70	Muy baja- Baja	10 a 17	20 a 50 +	3a
13	Val	Luján	1 - 4	Pampiano	mayor de 50	Media-Baja	2 a 10	20 a 30	3a
14	Val	Luján	1 - 4	Pampiano	30 a 50	Baja	2 a 10	20 a 30	3a
15	Val	Luján	1 - 4	Pampiano	10 a 30	Baja- Muy baja	2 a 10	20 a 30	3a
16	Val	Luján	1 - 4	Pampiano	menor de 10	Muy baja	Menor de 4	20 a 30	26(a-c)

Referencias: Lli: llanura de inundación, LLMi: llanura de marea emergida inferior, LLMs: llanura de marea emergida superior, LL A1: llanura aluvial, Cono-Al: cono aluvial, Col-Al: coluvio-aluvio, Val: valle.

FIGURA 2: MAPA DE UNIDADES HOMOGÉNEAS

Obtenidas a partir de la superposición de mapas temáticos elaboradas con un Sistema de Información Geográfica. Los números corresponden a las unidades homogéneas establecidas en la Tabla 2

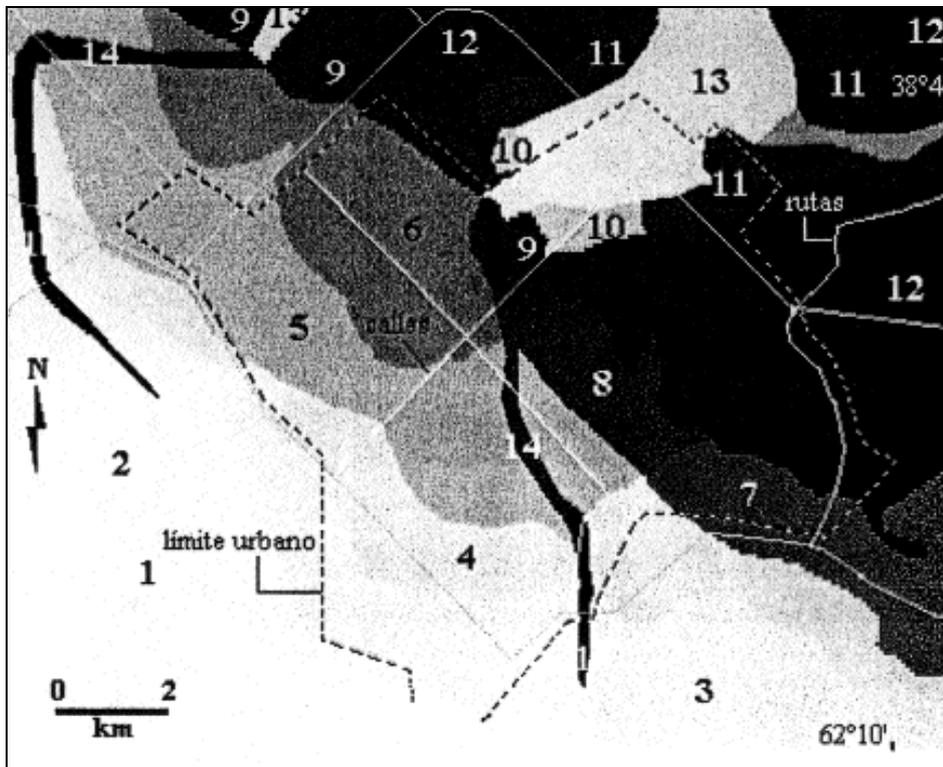


FIGURA 3: MAPA DE CIMENTACIONES PARA LA TIPOLOGÍA EDILICIA

Correspondiente a industrias químicas y Petroquímicas

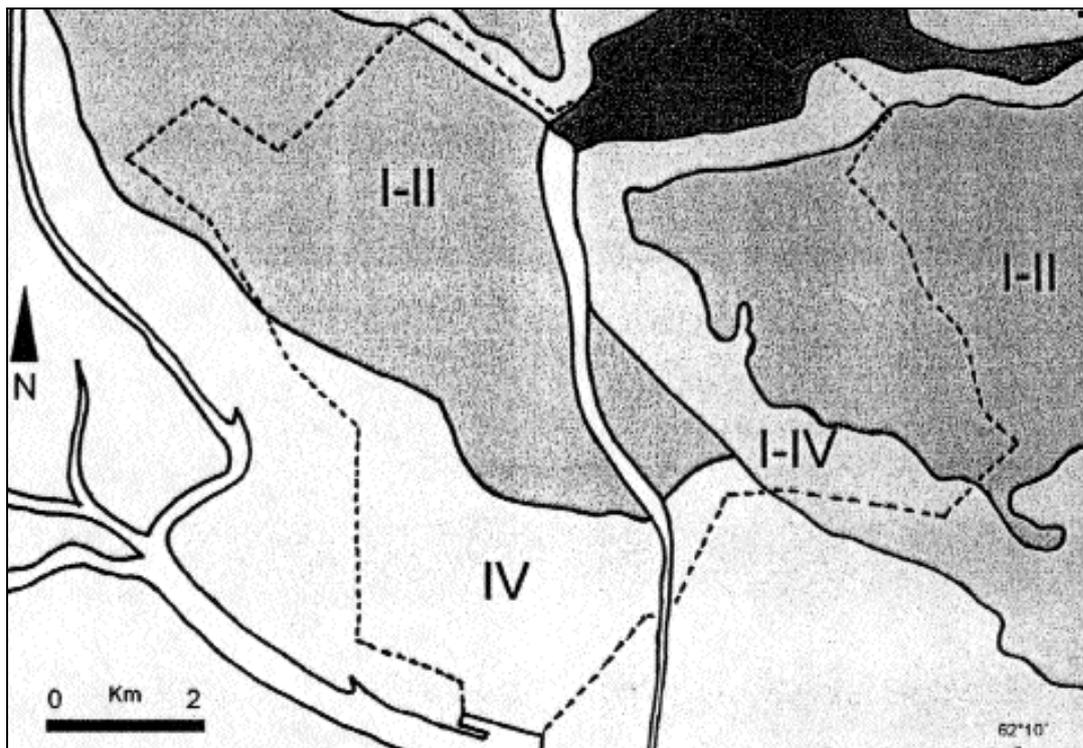


TABLA 3: MODELO DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE CIMIENTOS

Tipo	Nombre	Características	Usos
I	Zapata individual	Recibe el peso de una columna de muro. interior o exterior de la estructura	En suelos de alta densidad o estratos duros.
II	Zapata corrida	Muro continuo que soporta la totalidad de la estructura exterior.	En suelos de densidad variable o alternancia de materiales duros y blandos.
III	Platea	Losa bajo toda la superficie de la estructura.	En suelos poco densos, niveles freáticos próximos a la superficie.
IV	Pilote (fricción, punta, campana)	Pilar que soporta la carga por la fricción de los lados o de su base con el suelo, o ensanchado en su base.	Para superar niveles poco densos, expansibles, y fundar por debajo del nivel freático, llegar al nivel denso o duro, o contrarrestar una carga dinámica importante, respectivamente.

(Adaptado de Krinine, 1983)

TABLA 4: MODELO DE CIMENTACIÓN EN RELACIÓN A LA TIPOLOGÍA EDILICIA Y LAS UNIDADES HOMOGÉNEAS

Unidades Homogéneas	Tipología Edilicia						
	VUF	BVyM	EA	IL	IQPQ	DA	IP
1	-	-	-	-	-	-	-
2	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
3	II-III-IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
4	II-III-IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
5	II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II
6	II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II
7	II	I-II	I-IV	I	I-IV	I-III	I-IV
8	II	I-II	I-IV	I	I-IV	I-III	I-IV
9	II	I-II	I-IV	I	I-IV	I-III	I-IV
10	II	I-II	I-IV	I	I-IV	I-III	I-IV
11	II	I-II	I-IV	I	I-IV	I-III	I-IV
12	II	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II-III	I-II
13	II	I-II	I-IV	I-II	I-II-IV	I-II	I-II-IV
14	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-

En cuanto a la selección del tipo de cimiento, hay que considerar que existe un gran número de procedimientos distintos, la mayoría de ellos sólo son aplicables a casos particulares, de tal forma que en el momento en que se conocen todos los parámetros del suelo del solar la solución prácticamente se reduce a una.

En la actualidad prácticamente ya no se puede hablar en términos simples de suelo apto o no apto en términos absolutos para la construcción. Tenemos que tomar en cuenta las combinaciones de tipología edilicia y los tipos de cimentación. Siendo así que las técnicas de cimentación y la investigación del subsuelo se han convertido en uno de los condicionantes del desarrollo urbano, en los que apoyar decisiones de tipo lógico racional sobre las características físico espaciales de este desarrollo.

En este trabajo a fin de dominar y dirigir la compleja relación entre la cimentación y los suelos se ha recurrido a simplificar esta realidad en un intento de reducirla a sus elementos más significativos, con el fin de crear un sistema conceptual con el cual operar con cierta facilidad y sobre el cual poder estudiar y analizar el mismo y hacer evaluaciones precisas. A este fin y luego de revisión bibliográfica sobre la relación entre los tipos de cimientos y las características de los suelos, se optó por utilizar el esquema presentado por *Krynine (1983)* como base del modelo a emplear en este trabajo (Tabla 3).

En trabajos anteriores (*Caló et al., 2000*), se analizó la problemática del desempeño de distintas combinaciones de estructuras, cimientos y terrenos en el área de estudio. Si bien la relación de los suelos y tipos de cimientos presentados por *Krynine* y dados en la tabla, es muy general representa bien la realidad del área en cuestión.

A los fines de simplificar la tarea del planificador urbano, se definió la Tabla 4, en el que se relacionó directamente las unidades homogéneas (Tabla 2), la tipología edilicia (Tabla 1) y los tipos de cimentación (Tabla 3). Esta Tabla a su vez define la distribución espacial de los tipos de cimentación aconsejables según los componentes mencionados de acuerdo a las unidades homogéneas representadas en la figura 2.

En la caracterización de las unidades homogéneas intervienen distintos factores, algunos de los cuales no tienen influencia directa sobre el tipo de cimentación. Eso se ve reflejado en la agrupación de muchas de esas unidades bajo un mismo tipo de cimentación, como por ejemplo las unidades siete a once por la tipología edilicia que se quiere apoyar sobre ellas. En otros casos como ocurre con las unidades tres y cuatro, se nota que son unidades homogéneas de características críticas en cuanto a fundación, puesta en evidencia por la uniformidad del tipo de cimentación para tipologías edilicias de cierto porte y son mucho menos sensitivas para edificaciones livianas como las viviendas unifamiliares.

Como el objetivo de este trabajo es obtener un mapa temático de cimentación que sea de utilidad en la planificación urbana, y considerando el modelo simple de clasificación del tipo de cimentación se puede sugerir a priori la clase que podría utilizarse de acuerdo a las estructuras y a los terrenos. En definitiva el tipo a adoptar saldrá de la necesaria testificación que se haga en el lugar. Rápidamente puede identificarse un tipo de cimentación de acuerdo a la tipologías edilicias en cuestión, y el posicionamiento de la misma en el mapa de unidades homogéneas.

Dada la complejidad de interpretación de un mapa que involucre todos los aspectos de las unidades homogéneas, la tipología edilicia y el tipo de cimentación, es que se optó por la construcción de distintos mapas para cada una de las distintas tipologías edilicias. Tomando una tipología edilicia definida puede construirse un mapa con la distribución espacial de los tipos de cimentación para la misma. Esto daría un esquema simplificado del tipo de fundación para cada una de las tipologías que puede ser muy útil para el planificador no especialista en la temática de las de fundaciones. A modo de ejemplo se presenta el mapa correspondiente a la tipología edilicia de industria química y petroquímica (Figura 3). Si dentro de una planificación urbana se debe establecer sitios para la instalación de una industria química y petroquímica, en el mapa propuesto se puede conocer a priori cual será el tipo de cimentación según las características físicas del terreno. La complejidad en el tipo de fundación a utilizar para la construcción de estas industrias, sería un elemento más que ayudaría a la elección de un sitio en particular, partiendo del hecho que simplificaría la etapa de exploración preliminar in situ y se podría estimar a priori el costo económico.

6. CONCLUSIONES

Se obtiene una distribución de los tipos de cimentación mediante la relación de las diferentes tipologías edilicias con las características físicas y geotécnicas de las distintas unidades homogéneas.

Esta metodología permite simplificar la tarea de planificadores urbanos al poder representarse gráficamente en forma de mapas la distribución espacial de la cimentación para cada tipología edilicia.

Estos mapas de distribución espacial de los diferentes tipos de cimentación, que de ninguna manera reemplazan el estudio in situ que debe realizarse una vez elegido el sitio, si ayudan a definir la metodología y extensión de la exploración y a llevar un control de si lo hallado se conforma o se aparta del modelo para ese lugar.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CALÓ, J.; E. FERNÁNDEZ; A. MARCOS; H. ALDACOUR, 1997.

Los sedimentos recientes y su relación con la geología ambiental urbana de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Memoria del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Sociedad Venezolana de Geólogos. Tomo I: 137-143. Venezuela.*

CALÓ, J.; E. FERNÁNDEZ; A. MARCOS; H. ALDACOUR, 1998.

Urban environmental geology and its relation to building foundations for urban development planning in Bahía Blanca city, Argentina.

In: Engineering Geology. Moore, D.P. and Hungr, O., Editors. Proceedings, 8th Congress IAEG (International Association of Engineering Geology), Volumen IV: 2711-2716. Vancouver, Canadá.

CALÓ, J., E. FERNÁNDEZ, A. MARCOS, H. ALDACOUR, 1999.

Construcción de mapas geológico ingenieriles a partir de conocimientos previos compilados en un Sistema de Información Geográfico.

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Número 13: 1-10.

CALÓ, J.; E. FERNÁNDEZ; A. MARCOS; H. ALDACOUR, 2000.

Mapas temáticos de la ciudad de Bahía Blanca y problemas edilicios asociados.

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Número 14: 30-40.

KRYNINE D. Y W. JUDD, 1961.

Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros.

Ediciones Omega, Barcelona. 829 pp.



Determinación del riesgo por colapso de una zona de la ciudad de Río Cuarto

Córdoba, Argentina

Campanella, Osvaldo ¹ - Origlia, H. Daniel ¹ - Gomez, M. Laura ¹ - Felizzia, Juan ¹ - Borgna, Jorge ²

Resumen

Se presenta el análisis del riesgo por colapso en el sector Suroeste de la ciudad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. El riesgo se entiende como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad. La amenaza se determinó a partir de la ponderación de la profundidad crítica del nivel freático, en dos instancias diferentes correspondientes a dos períodos de mínima profundidad del nivel freático y de la distancia a las calles de tierra, consideradas como fuente de vibraciones por tránsito pesado. La litología se asume homogénea en toda el área. La vulnerabilidad se evaluó a partir de la densidad fundaria. El resultado se presenta en un mapa donde se diferencian cuatro zonas de riesgo con categorización en alto, moderado, medio y bajo. Finalmente, para la evaluación del modelo, se confronta el mapa de riesgo con los informes de daños en viviendas, ponderando a éstos últimos por la calidad de la construcción de las mismas. Se observa, en general, una buena coincidencia entre los daños ponderados y el riesgo estimado. Sin embargo, existen casos de daños ponderados en zonas en las que la determinación del riesgo resultó bajo. Esto puede deberse a la baja calidad de las viviendas. También es de destacar que en algunos sectores en los que el riesgo es alto, no se observan los daños esperados de acuerdo a la categorización, lo que puede responder a dos posibles causas: No se han solicitado las inspecciones que dieron como resultado el informe de daños y/o a la alta calidad de las viviendas.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos cinco años la zona de la ciudad de Río Cuarto ha experimentado un aumento en los registros pluviométricos que, vinculado a la eficaz infiltración, ha llevado a un aumento considerable en el nivel freático de la región (Blarasín y Cabrera 1998). En la zona de estudio (Fig. 1), de fuerte crecimiento urbano en la últimas décadas, se han registrado numerosos problemas de asentamientos de obras civiles que han provocado daños de diversa magnitud (Gómez 2000). El material geológico sobre el

que se asientan las obras dañadas es homogéneo en toda su extensión correspondiendo a la planicie eólica (Vendramini y Origlia, 1995). Las únicas diferencias que se presentan están dadas por pequeñas depresiones que se corresponden con las zonas donde se ha detectado el nivel freático más cercano a la superficie. El mecanismo natural más frecuente de pérdida de condiciones originales del suelo, y que tiene lugar en el sector, es el colapso geomecánico, intensificado por vibraciones causadas por tránsito pesado.

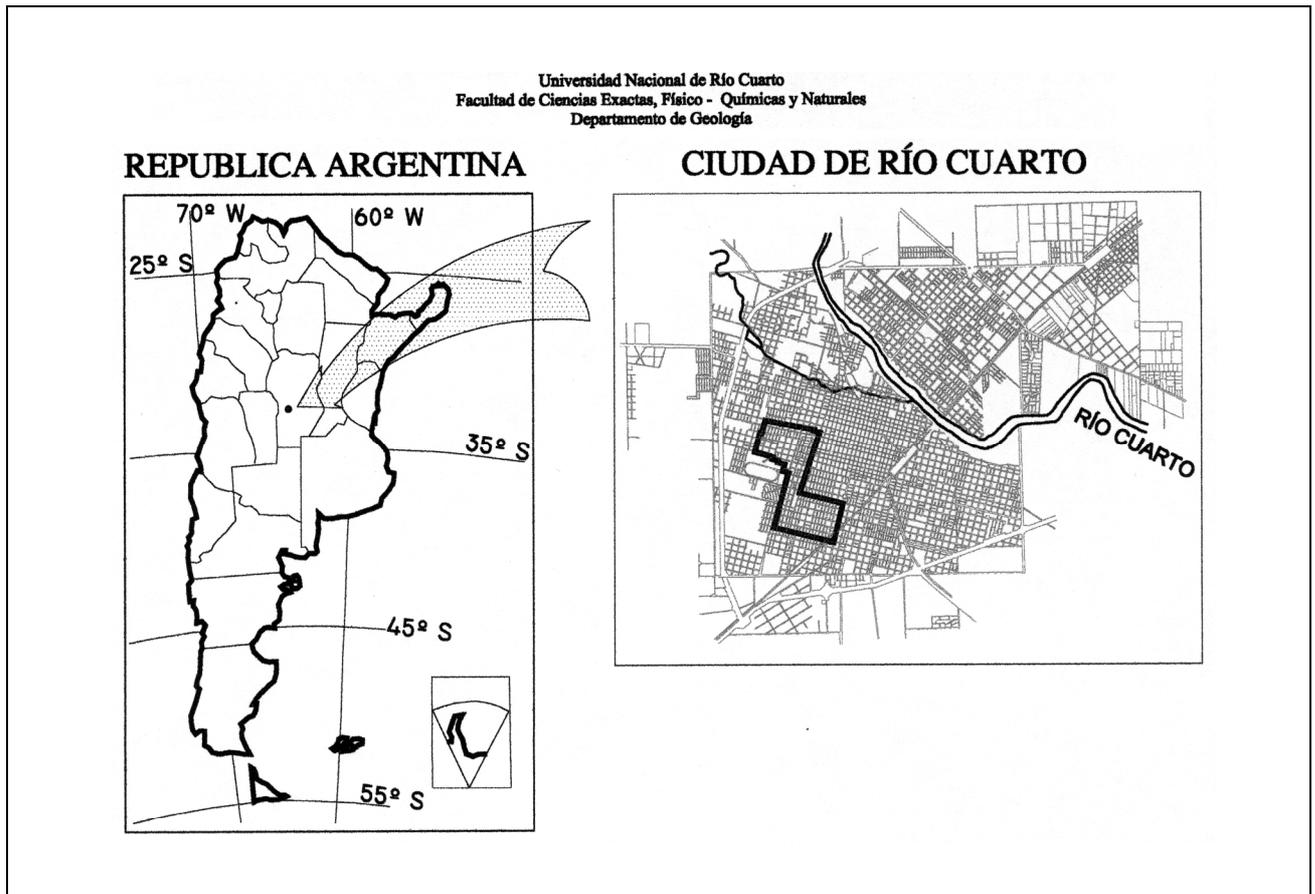
La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) resulta de gran utilidad en el estudio de los factores que afectan el comportamiento del medio físico, permitiendo la implementación de modelos conceptuales. Es aconsejable en la evaluación del modelo confrontar los resultados con los que se observan en la realidad.

Entregado: 18 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 28 de Setiembre de 2001

1. Departamento de Geología - Ruta Nacional 36 Km 603
5800 - Río Cuarto, Cba.
e-mail: ocampanella@exa.unrc.edu.ar

2. Ente Municipal de Obras Sanitarias (EMOS) - Río Cuarto

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Así, los objetivos del presente trabajo son construir un modelo para la identificación de zonas de mayor riesgo por colapso, implementarlo en un SIG y confrontar los resultados obtenidos por este modelo con los informes de daños de las viviendas.

2. MODELO CARTOGRÁFICO

En la Figura 2 se sintetiza el modelo cartográfico que se desarrolla a continuación.

Se define al riesgo por colapso como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad según:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

Amenaza

Para el estudio de la amenaza se han considerado los siguientes factores:

- profundidad del nivel freático y
- distancia a las calles de tierra.

Se consideró a la profundidad crítica del nivel freático, entendiendo como tal las profundidades más cercanas a la superficie en el período 1999 – 2000. Es claro que este

es un factor importante, dado que los suelos en la zona en estudio tienen características colapsibles, es decir, sufren una marcada disminución de su capacidad portante cuando experimentan un aumento considerable en el contenido de agua. La profundidad del nivel freático en el área de estudio experimentó fuertes variaciones a partir de 1997, comenzando con un ascenso debido a las razones climáticas anteriormente explicadas. Este fenómeno fue el detonante de una serie de asentamientos en el área. La Empresa Municipal de Obras y Servicios (EMOS) implementó una batería de pozos de bombeo que ocasionó un descenso de entre dos y tres metros en la zona inicialmente afectada. Sin embargo el nivel freático siguió ascendiendo en áreas vecinas inicialmente no comprometidas. La EMOS tuvo que ampliar la batería de bombas a fin de extender la depresión. Actualmente se ha entrado en un régimen de equilibrio y las bombas están trabajando con bajo caudal.

En cuanto a la distancia a las calles de tierra, se ha estimado que la excitación microsísmica provocada por el tránsito de vehículos sobre calles con numerosos pozos actúa como activador del proceso de colapso.

Estos dos factores fueron cuantificados mediante coeficientes según se muestra en las Tablas 1 y 2.

FIGURA 2: MODELO CARTOGRÁFICO

Lo encerrado en rectángulos r epr esenta a entidades cartográficas con una correspondencia en un mapa. lo encerrado en elipses r epr esenta a las operaciones efectuadas entre los mapas. las flechas indican el sentido del procesamiento. los atributos relevantes a cada entidad han sido consignados al costado inferior de cada una de ellas

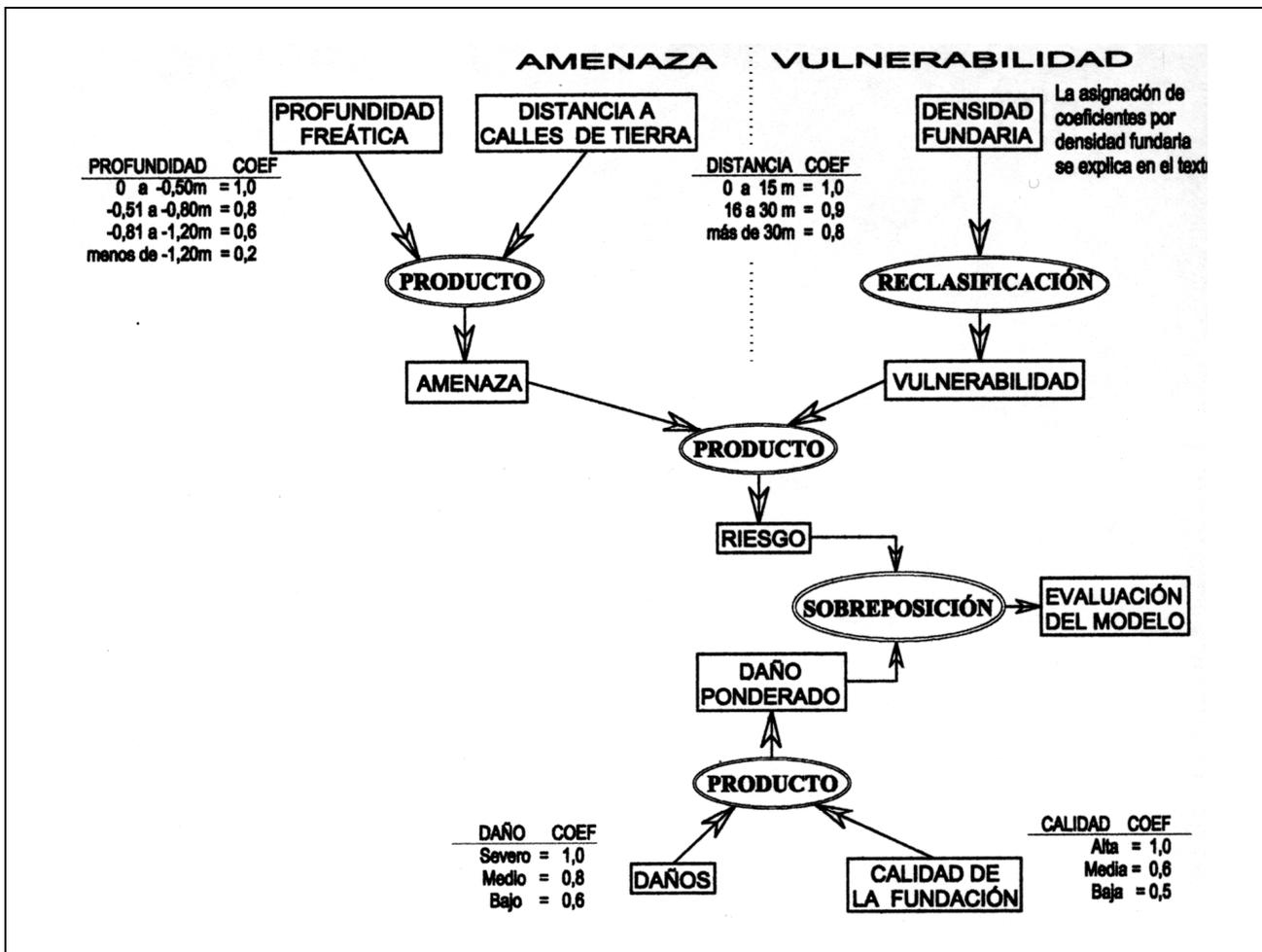


TABLA 1: PONDERACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA FREÁTICA

Profundidad Freática [m]	Coefficiente
0 a -0.50	1.00
-0.50 a -0.80	0.80
-0,80 a -1.20	0.60
< -1.20	0.20

TABLA 2: PONDERACIÓN DE LA DISTANCIA A LAS CALLES DE TIERRA

Distancia calles de tierra [m]	Coefficiente
< 15	1.00
15 a 30	0.90
> 30	0.80

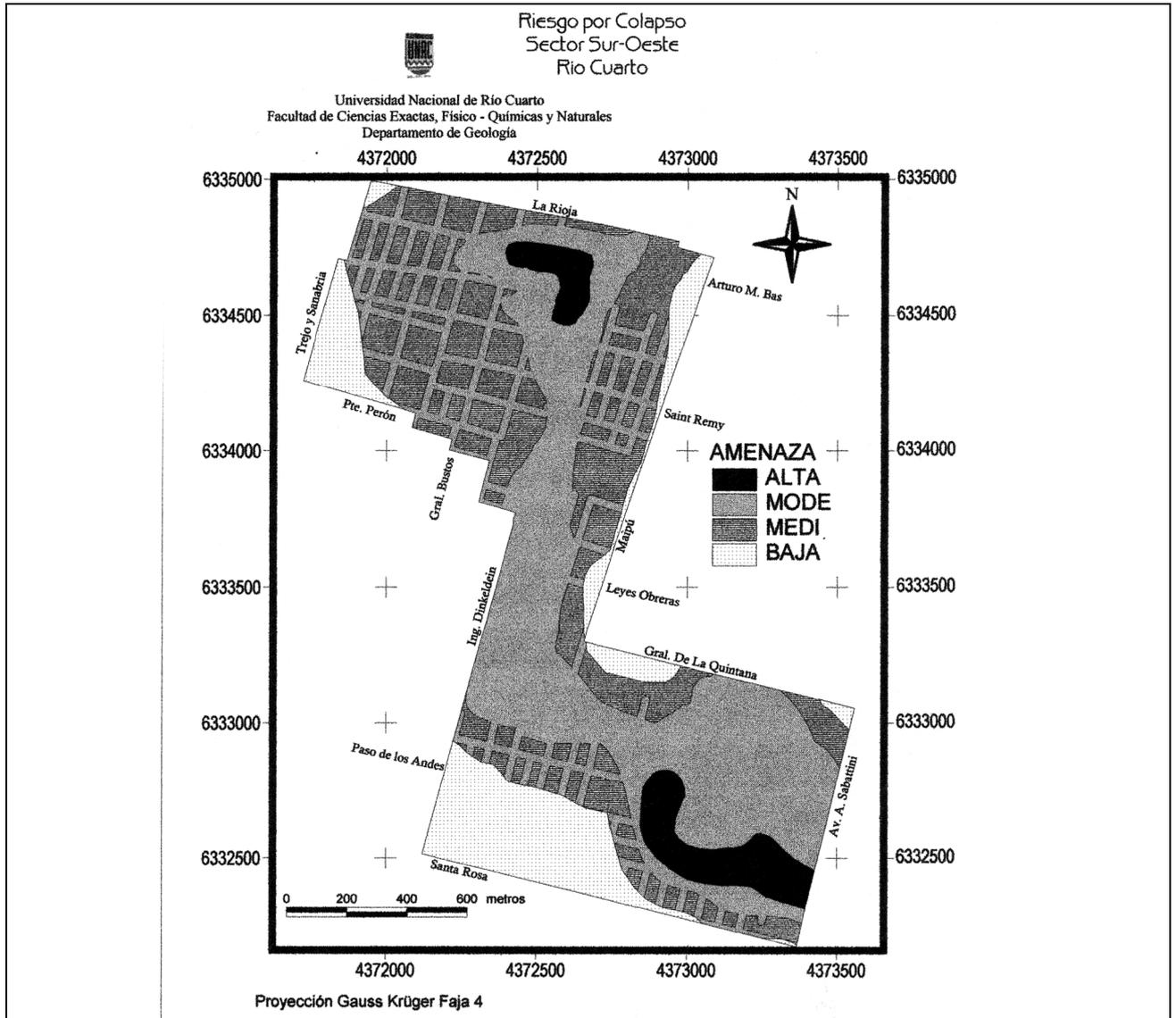
La profundidad de la freática fue inicialmente digitalizada en AutoCAD MAP a partir de información preexistente (EMOS, 2000). Luego de importarla a ArcView, se generaron polígonos a los cuales se les añadió el atributo del coeficiente asignado.

Para mapear la influencia de las calles de tierra, se digitalizaron en AutoCAD MAP las calles categorizadas en función de su tipo, es decir, de tierra, asfaltadas, pavimentadas o únicamente con cordón cuneta (SOPOT, 2000).

Importada a ArcView, inicialmente se recategorizaron las calles en función de dos tipos: de tierra (con o sin cordón cuneta) y pavimentadas (o asfaltadas). Se generó una nueva entidad espacial a través de la función de buffer a fin de mapear la distancia a las calles de tierra.

El mapa de amenaza se obtuvo a partir del producto de estas dos entidades usando la función de sobreposición (Fig. 3).

FIGURA 3: MAPA DE AMENAZA



Vulnerabilidad

Se ha considerado como factor principal de la vulnerabilidad a la densidad fundaria estimando que a mayor densidad fundaria mayor vulnerabilidad. La densidad fundaria se ha calculado como el número de unidades habitacionales (UH) por hectárea tomando como unidad de mapeo a la manzana catastral. La densidad fundaria ha sido convertida

a coeficiente según la función logarítmica:

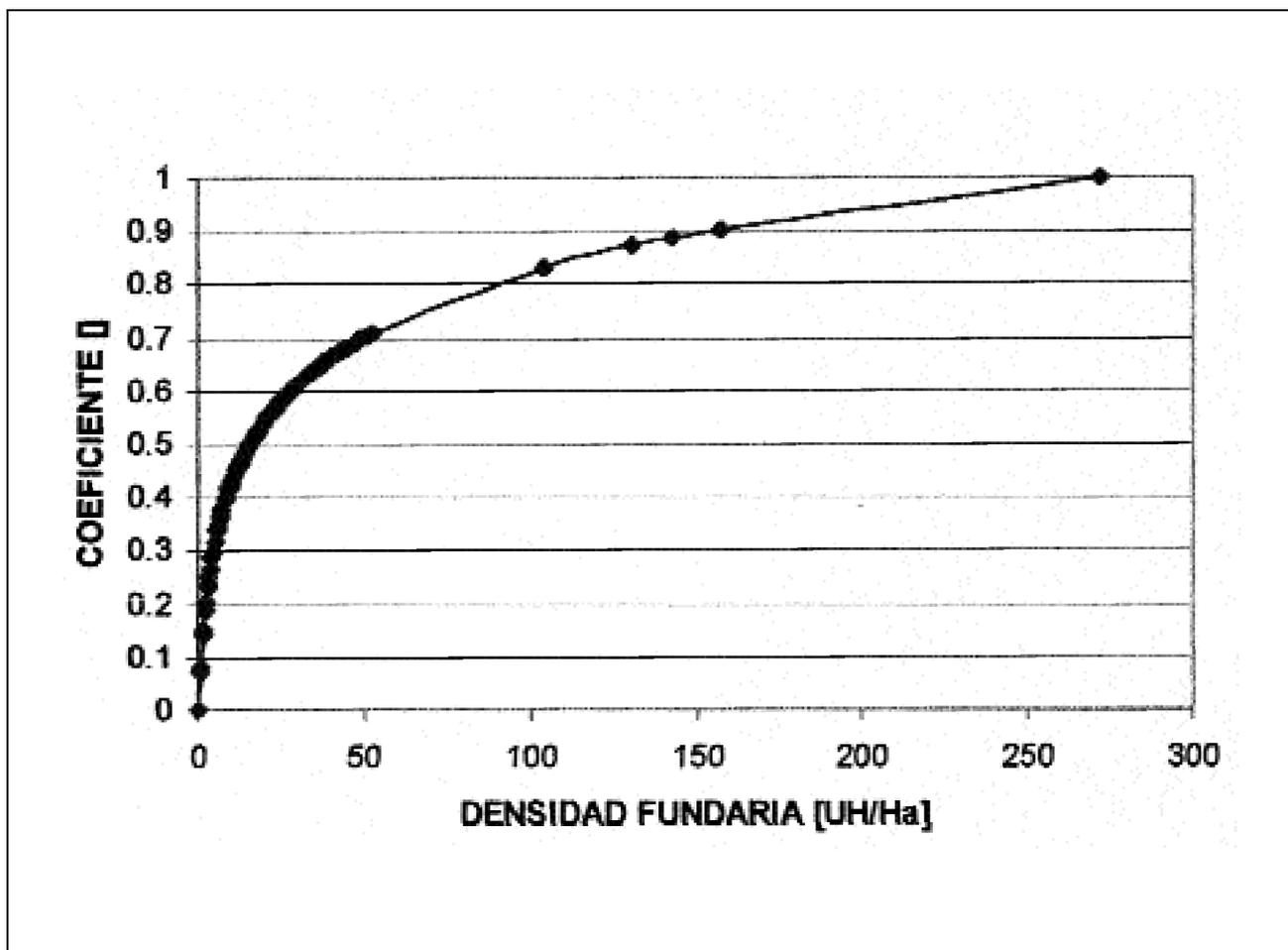
$$y = \log_{10}(\text{densidad fundaria})$$

y luego llevada a valores de 0 a 1 según:

$$\text{coeficiente por densidad fundaria} = y / y_{\text{máx}}$$

La transformación se muestra en la Figura 4.

FIGURA 4: FUNCIÓN DE ASIGNACIÓN DE COEFICIENTE POR DENSIDAD FUNDARIA



Se decidió usar una transformación logarítmica debido a la distribución exponencial negativa de la densidad fundaria. Esto es, hay abundantes casos donde los valores de densidad son bajos, mientras que son escasas las manzanas que cuentan con valores extremos de densidad. Así, con la asignación logarítmica del coeficiente se ponderan mejor las densidades bajas e intermedias, que son las más abundantes. El número de unidades habitacionales fue estimado a partir de la fotointerpretación estereoscópica de fotografías aéreas a escala 1:5.000 del año 1991. En el caso de edificios de propiedad horizontal se estimó el número total unidades habitacionales multiplicando en número de departamentos por piso por el número de pisos de los edificios.

Su implementación en el SIG consistió en agregar a la tabla de atributos de los polígonos del manzanario de la ciudad de Río Cuarto (Campanella, et al. 1998), el número de unidades habitacionales. Posteriormente, se procedió a los cálculos precedentemente explicados.

El mapa de vulnerabilidad se obtuvo reclasificando los polígonos del manzanario en función del coeficiente de densidad calculado (Fig. 5).

Riesgo

El mapa de riesgo se obtuvo multiplicando los valores que resultaron del mapa de amenaza con los obtenidos en el mapa de vulnerabilidad, usando la operación de superposición de ArcView (Fig. 6).

3. DAÑO PONDERADO

Se han compilado informes obrantes en la Empresa Municipal de Obras Sanitarias (EMOS) de los daños registrados en las estructuras civiles. Estos daños, categorizados en tres clases, han sido luego ponderados en función de la calidad de la fundación y de la estructura en general de las obras dañadas a fin de ponderar el efecto real del subsuelo.

La tipificación y coeficientes asignados se muestran en las Tablas 3 y 4.

Los daños y la calidad de las viviendas fueron ingresados directamente a ArcView como entidades puntuales cuyos atributos son el tipo de daño, el coeficiente asignado, la calidad de la vivienda y el coeficiente asignado.

El daño ponderado para cada entidad puntual fue obtenido por el producto de los dos coeficientes antes mencionados. El resultado se muestra conjuntamente con el mapa de riesgo (Fig. 6).

FIGURA 5: MAPA DE VULNERABILIDAD

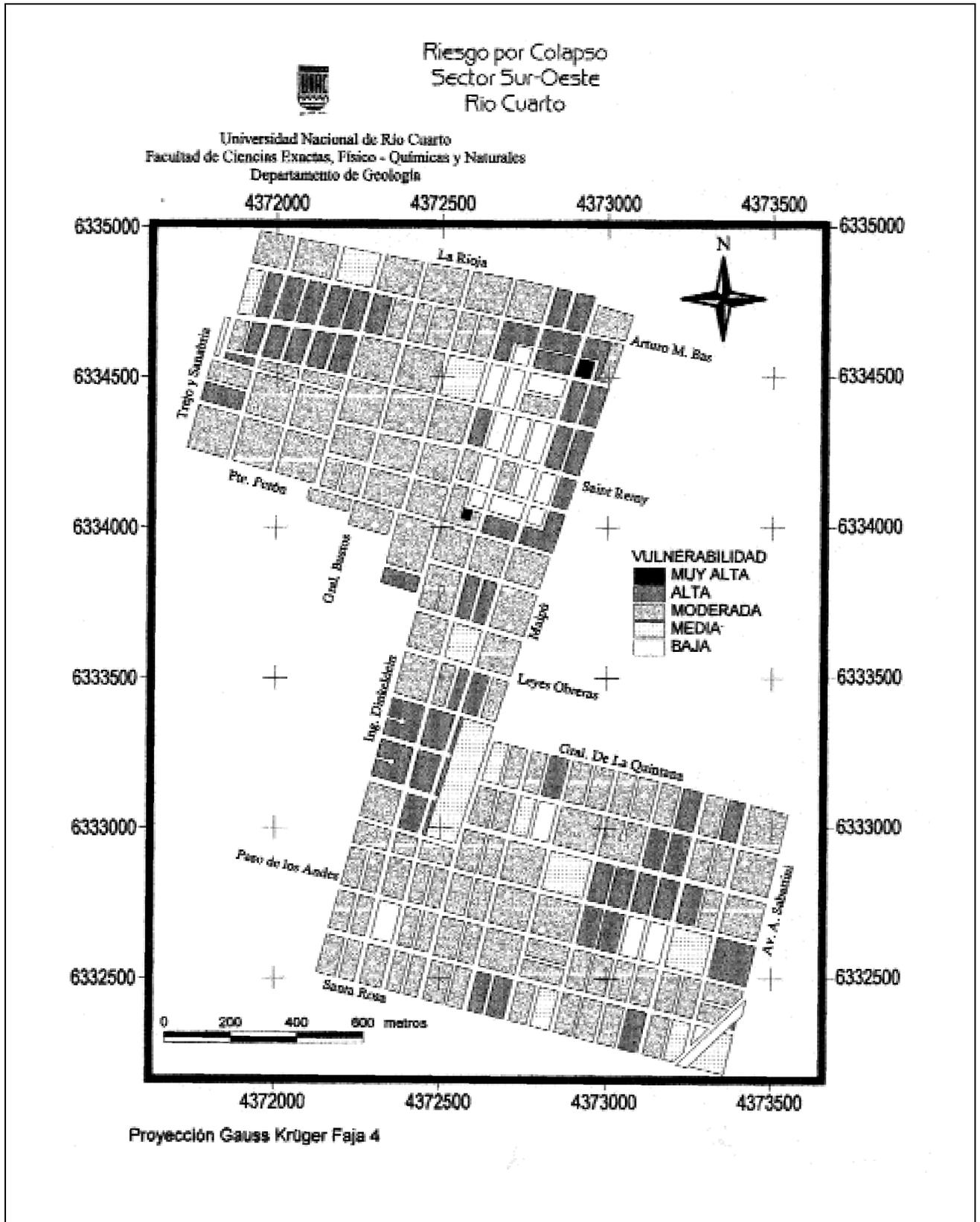


FIGURA 6: MAPA DE RIESGOS Y DAÑOS PONDERADOS

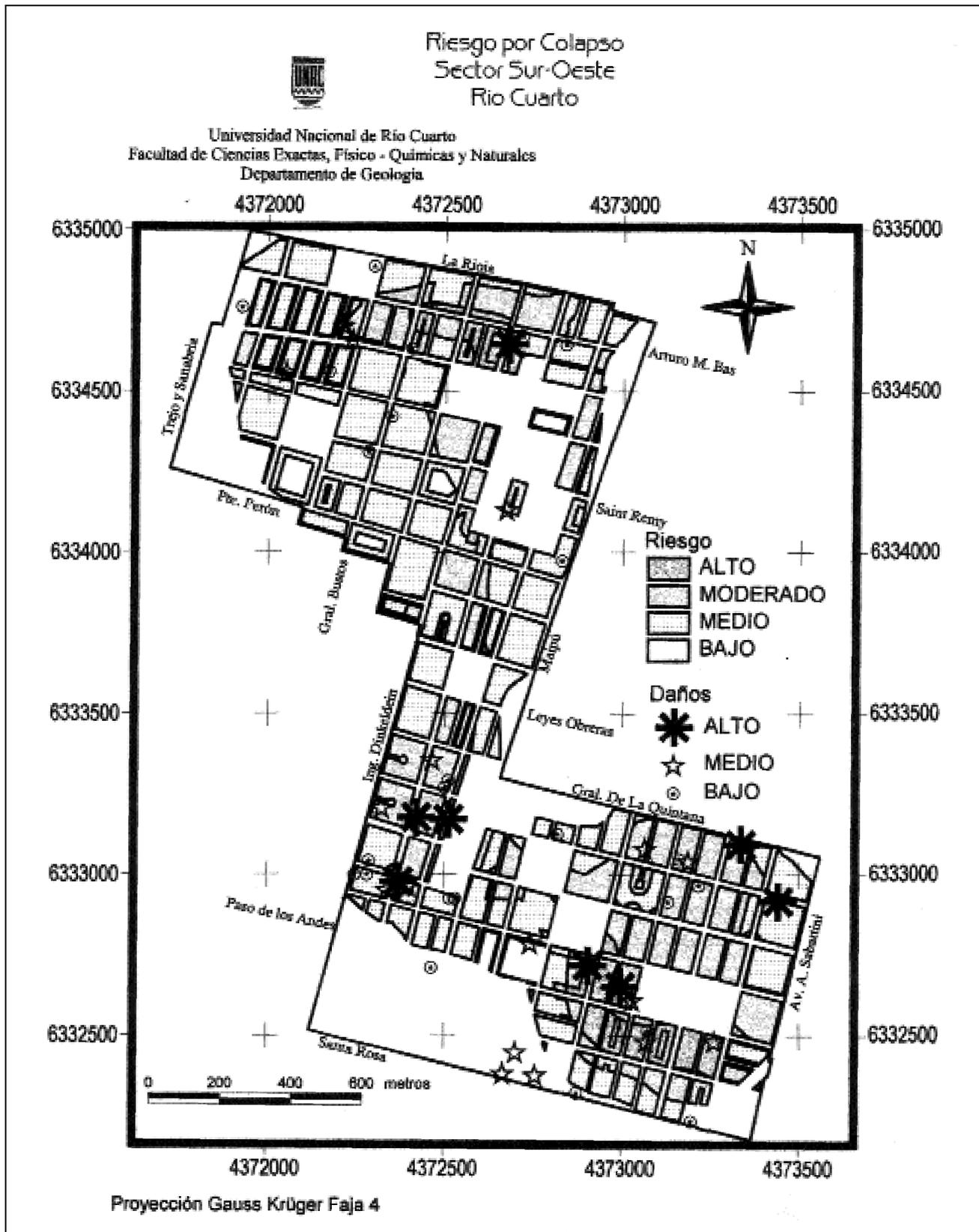


TABLA 3: ASIGNACIÓN DE COEFICIENTES A LOS DAÑOS

Daño []	Coef []	Tipificación []
Severo	1.0	Paredes agrietadas, pisos hundidos, aberturas trabadas, cañerías cloacales rotas, humedades en zócalos y muros en general.
Medio	0.8	Paredes fisuradas, pequeños avobedamiento de pisos, humedades en zócalos.
Bajo	0.6	Pequeñas fisuras, pequeñas manchas de humedad.

TABLA 4: ASIGNACIÓN DE COEFICIENTES A LA CALIDAD DE LA VIVIENDA

Daño []	Coef []	Tipificación []
Alta	1.0	Estructura antisísmica y/o plateas, materiales de construcción de primera calidad, muy buen cimiento.
Media	0.6	Buenos materiales, sin estructura antisísmica, cimientos de mediana calidad, generalmente barrios, aberturas estándar.
Baja	0.5	Sin estructura antisísmica, paredes de bloques sin pisos (solamente contrapisos), mala calidad de cimientos, materiales de mala calidad.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La importancia de los SIG en la planificación urbana es notoria, tal como se observa su necesidad en ejemplos como el de este trabajo. La posibilidad de manipular información espacial ejecutando operaciones algebraicas queda de manifiesto.

Como las variables se multiplican ninguno de los coeficientes asignados a cada una de ellas vale cero, para que no se elimine definitivamente del análisis algún sector de estudio.

En la confrontación entre el riesgo y los daños ponderados (Fig. 6) se observa una concordancia general aceptable entre unos y otros. Sin embargo, debido a la forma en que se ha obtenido la información de daños (es decir, a través de las

denuncias que los vecinos han hecho a la EMOS) es posible que algunos daños no hayan sido reportados. Esto explicaría, al menos parcialmente, las zonas identificadas como de riesgo y que no consignan daños. También es posible que no haya habido daños debido a una adecuada calidad de la fundación de las viviendas. Por ejemplo, si una determinada vivienda ha sido construida con materiales de primera calidad, con una estructura de fundación en platea, es poco probable que haya registrado daños. Esto se podría optimizar ejecutando, en la zona de estudio un censo orientado a detectar daños y/o calidad de las viviendas. Por otro lado, y en sentido contrario, se observan zonas que no están identificadas como riesgosas y que sin embargo registran daños. Esta discrepancia podría deberse a una baja calidad de la fundación de las viviendas, ya sea por materiales de baja calidad y/o mal diseño de las fundaciones.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BLARASÍN M. Y A. CABRERA, 1998.

Estudio hidrogeológico de base para el diagnóstico del problema ocasionado por el ascenso de la capa freática en el sector Sur de la ciudad de Río Cuarto.

Informe Técnico solicitado por la EMOS. Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC).

CAMPANELLA O., G. SAGRIPANTI, D. ORIGLIA, A. DOLSO, 1998.

Informe Proyecto de Investigación "Implementación de un sistema de Información Geográfica para su aplicación en el sur de la provincia de Córdoba".

Inédito. CONICOR.

GOMEZ L., 2000.

Estudio de los problemas de Colapso de suelos originados por el ascenso de la capa freática en el sector Sur-Oeste de la Ciudad de Río Cuarto.

Informe Beca de Investigación Secretaría de Ciencia y Técnica (SECYT). Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC).

SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO, OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS (SDUOSP), 2000.

Informe provisorio de las calles de la ciudad de Río Cuarto.

Municipalidad de Río Cuarto.

VENDRAMINI N.Y D. ORIGLIA, 1995.

Determinación de propiedades geotécnicas de áreas loésicas del departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba.

Actas de la Primera Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (Universidad Nacional de Río Cuarto). Tomo 1: 237-251.



Geología aplicada a la ingeniería, planificación ambiental y ordenamiento del territorio

Di Salvo, Carlos Alberto

“Lo que puede excitar más el espíritu del hombre (exceptuando la ambición que es el más poderoso de todos los móviles) es el espectáculo de las bellezas de la naturaleza”

Lord Byron 1812. Prefacio de: Las peregrinaciones de Cbilde - Harold.

Resumen

La vigencia de la Geología Ingenieril como ciencia aplicada pero a su vez como instrumento de gestión útil para la sociedad y sus habitantes, pasa hoy por temas de indudable repercusión en la opinión y consideración pública.

En nuestro país, el perfil de esta disciplina ha cambiado en forma muy sensible en la última década y más ostensiblemente en los últimos cinco años. De la clásica “Geología de Obras y Proyectos” se ha pasado, prioritariamente, a la consideración de problemas ambientales, cartografías temáticas, geoindicadores, análisis de riesgos y otros aspectos que son de gran importancia, tanto económica como socialmente.

En concurrencia con este cambio ha variado el perfil de los profesionales que activamente participan en congresos, simposios y reuniones tanto nacionales como regionales quienes obviamente están deseosos de comunicar estas nuevas experiencias a sus colegas. Del típico “consultor independiente” de los años 70 y 80, la participación se ha trasladado más bien a colegas que provienen de ambientes académicos ó institucionales.

Las causas de estos cambios son complejas pero no parecen guardar una relación estrecha con lo que sucede con la comunidad internacional que se dedica a estos temas, en especial la de los países más desarrollados. Esto no significa que la nueva tendencia mencionada más arriba no exista en otras tierras, (por el contrario de allí provienen las normativas e innovaciones que se intentan aplicar en nuestro país), sino en aquellos lugares que allí no ha disminuido la aplicación de la Geología a problemas que podemos llamar geotécnicos o propios de la Geología Aplicada, en su concepción tradicional.

En esta contribución se justifican estos enunciados previos a la luz de una estadística nacional contrastada con la internacional. Se esboza una idea del porqué de esta situación y se pone de manifiesto cuál es el importante papel que la Geología; mejor aún que los geólogos, pueden y deben jugar en estos nuevos tiempos, que implican un desafío intelectual, de formación y en la práctica diaria.

Entregado: 13 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 31 de Agosto de 2001

Departamento de Geología. UBA. Departamento de Ingeniería
Civil. UTN, Regional Bs. As.
Consultor independiente.
e-mail: polilla@arnet.com.ar

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene un doble propósito. En primera instancia, se intenta sacar una conclusión acerca del desarrollo en la Argentina, de la Geología Aplicada. Esto a partir de un breve análisis histórico de su evolución durante los últimos veinte años, así como de la situación actual de esta ciencia aplicada que nos ha convocado y lo sigue haciendo en estos días. En segundo término, analizar cual es o debería ser la participación del geólogo, tanto desde el punto de vista profesional como académico y porqué no frente a la sociedad, en las nuevas tendencias disciplinarias que se presentan como una demanda cierta de la sociedad.

2. BREVE HISTORIA DE LA GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA EN LA ARGENTINA

En esta evolución ASAGAI, fundada en 1974, ha jugado y juega un papel preponderante. No sólo ha sido en el pasado la asociación que vinculada a las Ciencias Geológicas reunía el mayor número de asociados individuales (cerca de trescientos entre fines de los 70 y principios de los 80) sino que también hoy se mantiene activa aunque el número de sus socios haya decrecido en 50 por ciento aproximadamente.

Un caso concreto de la importancia de dicha asociación es haber sido la organizadora (Buenos Aires 1986) del Vº Congreso Internacional de la AIGI, el único congreso internacional vinculado a las Ciencias de la Tierra que fuera organizado por nuestro país.

En este trabajo, se analiza la actividad de la especialidad fundamentalmente en función de las publicaciones de ASAGAI entre los años 1981 y 2000.

En 1981; ASAGAI publica sus primeras Actas en coincidencia con la realización de Primer Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería, convocado en San Luis en el marco del VIIIº Congreso Geológico Argentino. En ese momento, la Asociación contaba con 262 miembros activos y 14 miembros patrocinantes, 13 de los cuales correspondían a empresas constructoras o de servicios. No obstante para 1996, el número de asociados se reduciría en un 30 por ciento.

En 1982, 1986, 1989 al 91 e ininterrumpidamente de 1993 a 1997 ASAGAI publicó sus Actas y desde 1998 la Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente totalizando 232 trabajos de la especialidad.

Durante lo que podríamos denominar como el último tiempo del auge de las grandes obras (en especial hidroeléctricas) la fecunda tarea, que comienza con la publicación de 21 trabajos, de los cuales más del 70 por ciento se podrían encuadrar dentro de la "Geología Aplicada a Grandes Obras". Un 14 por ciento se referían a estabilidad de taludes en general y a problemas urbanos que se podrían

considerar dentro de problemas ambientales, (cartografías temáticas, análisis de riesgos, etc.) mientras que el resto de las presentaciones no podrían encuadrarse en alguna temática específica.

Se analizaron sucesivamente las publicaciones de años siguientes y la distribución de sus porcentajes relativos.

Se categorizaron los trabajos presentados en tres ítems: a) *Geología Aplicada a Grandes Obras*, que incluye trabajos pertenecientes al campo tradicional de aplicación de la especialidad: obras de infraestructura (en especial hidroeléctricas), puentes, túneles, excavaciones a cielo abierto, obras portuarias, de almacenamiento de desechos etc. b) *Planificación ambiental y Ordenamiento territorial*, que incluye una gama temática muy amplia: desde estudios técnicos de evaluación de impacto propiamente dichos, riesgos, problemas de contaminación hasta cartas geotécnicas. Intencionalmente se han incluido aquí los estudios hidrogeológicos y de estabilidad de taludes, dada la enorme importancia ambiental de la temática c) *Otros o varios* en el que se incluyen trabajos generales tales como ensayos de geomateriales en laboratorio e "in situ", estudios estructurales, prospección de yacimientos, de rocas ornamentales, etc.

Esta división en tres, discutible sin dudas, trata de poner en evidencia como ha ido evolucionando nuestra profesión a la luz de una actividad formal, la que realiza la asociación que nuclea a sus especialistas, publicando sus trabajos más notorios.

Los trabajos del rubro a) han fluctuado de un máximo del 76%, en 1981, a un mínimo del 5% en el 2000. Lo contrario ocurre con las publicaciones de índole ambiental y de planificación, que variaron en el mismo periodo de un 14%, en 1981, a un máximo promedio de 70% en el periodo 1996 - 2000. Los trabajos varios fluctúan sin una tendencia definida en cuanto a los porcentajes.

Resulta interesante contrastar estos datos y resultados con lo acaecido en la comunidad internacional de la especialidad a través de trabajos publicados para el mismo período 1981- 2000 en el Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement (AIGI). En ninguno de los dos casos: Actas o Revistas de ASAGAI y boletín internacional, se han incluido en el análisis los trabajos correspondientes a simposios con una temática específica.

En la comparación, se ha mantenido la misma división de los trabajos en tres categorías. Así, se consideraron tres periodos característicos 1981 - 1990; 1990 - 1995 y 1996 -2000.

Para el periodo 1981 - 1990, en la Argentina predominan los trabajos relacionados con grandes obras hidroeléctricas principalmente (63% de los trabajos), mientras en el boletín de la AIGI la participación de esta temática

era de un 25%. Para el mismo período en lo concernientes a la problemática ambiental y ordenación territorial los porcentajes son: Argentina 19%; boletín de la AIGI: 30%. En otros temas, la distribución es: Argentina 17 %; boletín de la AIGI: 45%.

A partir de los 90, comienzan los cambios pero son más mucho más notorios en el ámbito nacional donde los porcentajes para 1991 - 1995, son: grandes obras, 20%; temática ambiental, 46%; otros y varios, 34%. Para el intervalo 1995 - 2000, son: 09%; 71%; 20%, respectivamente. En los boletines de la AIGI, la tendencia es: 1991 - 1995: grandes obras, 15%; temática ambiental, 32%; otros y varios, 53% y para 1995 - 2000: 18%; 35%; 47% respectivamente.

Como se observa, la tendencia internacional no es la misma que la argentina. Un tratamiento estadístico no sólo de los porcentajes relativos, sino de su valor medio y dispersión, indica que en la Argentina se han producido cambios bruscos en la temática, mientras que internacionalmente hay un decrecimiento menos intenso para el campo tradicional - grandes obras - y un crecimiento paulatino, pero también suave, de trabajos que abordan la temática ambiental. Es notorio que en todos los períodos analizados para los trabajos generales (grupo c) publicados en el boletín internacional, el porcentaje siempre es marcadamente mayor que en los casos de los grupos a y b.

Sin dudas las causas de esta diferencia son múltiples. Entre ellas pueden mencionarse: los representantes de los distintos países que publican en el boletín internacional tienen una problemática técnico - científica más amplia que la existente en un solo país; también son distintas las problemáticas sociales y económicas. Sin embargo, en el caso argentino hay una realidad tangible: las grandes obras son prácticamente cosa del pasado y sin grandes obras, la Geología Aplicada a la Ingeniería ha perdido una fuente de trabajo que se refleja sin duda en las comunicaciones técnico científicas publicadas por los profesionales especializados en los últimos años. Felizmente este déficit parece contrarrestarse con trabajos en los que la temática ambiental va ocupando el lugar vacante. Sin duda, ASAGAI ha comprendido muy bien esos cambios y siguiendo la tendencia sus estatutos societarios están en revisión a los fines, entre otras modificaciones, de ampliar la denominación de la asociación.

Aquí el autor de este trabajo, se hace eco de lo expresado por el Profesor Ricardo Oliveira, en calidad de presidente de la asociación internacional, en su alocución inaugural del VII° Congreso Internacional de la AIGI, celebrado en Lisboa en 1994, en la que expresa:

“ Por múltiples razones como el aumento de la población en zonas urbanas particularmente el modo de vida de las mismas y el desarrollo industrial, el ambiente se ha transformado en una preocupación mayor de nuestra sociedad en estos últimos

años. Las consecuencias de las degradaciones del ambiente, atraen la atención de numerosas disciplinas científicas y los especialistas del mundo entero se esfuerzan para aportar, cada uno en su dominio, su contribución a los problemas surgidos en la degradación de la calidad de vida. Las Ciencias de la Tierra, juegan un papel muy importante en los problemas ambientales los que exigen una cualificación que debe conducir a un ajuste en los programas universitarios a todos los niveles.”

“La creación “artificial” de nuevas disciplinas que incluyen al ambiente en su denominación tales como Geología Ambiental, Geotecnia Ambiental, no se corresponden con una necesidad real, ni tampoco impulsan el desarrollo de las Ciencias de la Tierra, constituyen una actitud oportunista para “venderse” mejor.”

La competencia de la Geología Aplicada a la Ingeniería está fuera de discusión en el campo del Planeamiento Ambiental y el Ordenamiento Territorial, ya que es parte inherente de la temática. Al decir de Oliveira: *“La Geología Ingenieril ha estado siempre involucrada en los problemas relativos al ambiente natural y ha impulsado diversas acciones que conciernen al aprovechamiento y planeamiento del territorio, a la cartografía de riesgos, a la estabilidad de los terrenos, a la contaminación de los suelos y napas de acuíferos, a los sitios de deposición final de desechos, etc.”*

Si esto es cierto, no lo es menos el hecho de que las temáticas cambiantes imponen a los profesionales con formación en el campo de las Ciencias de la Tierra una adecuación a los desafíos que estos cambios inducen; desafíos que se dan tanto en plano académico (formación continua), como en el campo profesional.

Muchos de estos temas; entre los que sobresale la Evaluación del Impacto Ambiental, es necesario abordarlos desde una óptica interdisciplinar - a veces por diversas razones este abordaje apenas es multidisciplinar - que permita integrar el análisis de las relaciones entre los sistemas humanos (sociales y económicos) y los sistemas naturales (aire, agua, suelo y biota).

Cabe preguntarse entonces, cuál es el “rol” de la Geología - y lo que nos preocupa más aún -cuál el del geólogo especialista en Geología Aplicada, en estas ciencias interdisciplinarias a la luz de la merma de ciertas actividades típicas o tradicionales.

Con la intención de abrir una amplia discusión entre los colegas que participan en este simposio, que ya es una saludable tradición en la Geología de nuestro país, este será el motivo de la segunda parte de este trabajo.

3. INTEGRACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS Y ACTIVIDADES. EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

En medioambiente, existe una palabra clave: integración. Según el Dirección de la Real Academia de la

Lengua, ésta significa: construir las partes un todo, completar un todo con sus partes.

Las partes de ese todo, Gómez Orea, (1999) son:

- a) “*Los diversos factores y procesos que forman el sistema ambiental, b) las actividades humanas y su entorno, c) las actividades humanas que intervienen en el sistema.*”
- a) “*El primer caso se inscribe en la denominada prospección integrada del medio ambiente, en la que equipos multidisciplinares trabajando en forma interdisciplinaria se aproximan al conocimiento y al funcionamiento de determinado sistema ambiental. Este es el conocimiento científico en sí, sin que medie aún aplicación práctica alguna.*”
- b) “*La segunda acepción se ajusta mejor a la idea de la gestión ambiental, en la que la prospección integrada es una base de partida indispensable*” y en la que las actividades humanas introducen alteraciones en su “entorno”, este es el concepto más generalizado del *impacto*.

Estos impactos se analizan, evalúan y ponderan en el marco de la EIA, que tradicionalmente se ceñía al ámbito de los proyectos, mientras que en la actualidad se lo considera un instrumento de gestión eminentemente preventivo al ámbito de planes y programas nacionales y regionales.

Sobre el término EIA, vale la pena realizar algunas precisiones. La utilización del concepto de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) tiene distintas acepciones en distintos regímenes legales.

El término fue incorporado a partir del dictado de la Ley Nacional de Política Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (NEPA - National Environmental Policy Act) del 1° de enero de 1970. Aquí, el término EIA no implica sólo una evaluación en lo que su sentido lato significa, una estimación de valor, sino que consiste *en un procedimiento que abarca desde la presentación del proyecto por un proponente, hasta la declaración de los impactos ambientales de la actividad propuesta por la autoridad ambiental respectiva (autoridad de aplicación).*

Este procedimiento puede constar de varias etapas que permiten arribar a una declaración de impacto ambiental fundada y completa, o tan solo una, en la que la actividad no requiere de un estudio de impacto.

La sigla, E.I.A., ha sido concebida como consecuencia del deber del gobierno federal de “*considerar los impactos ambientales de toda acción federal importante que afecte de un modo significativo la calidad del ambiente humano*”. En su versión original E.I.A. es la abreviatura de Environmental Impact Assessment, que según

la mayoría de los autores, en una traducción literal significa Evaluación del Impacto Ambiental, sin embargo *assessment* no tiene, en inglés, la acepción evaluación que en nuestra lengua significa: estimar, señalar o apreciar el valor de una cosa, sino que *assessment* es: la imposición o distribución de contribuciones, tasa de tributación o dividendo, pasivo”, según el Nuevo Diccionario Cuyás de Appleton, 1972.

Esta confusión tiene ribetes muy curiosos, ya que las siglas coinciden entre sí: EIA = Environmental Impact Assessment; EIA = Evaluación Impacto Ambiental, EIA = Estudio Impacto Ambiental.

Lo que parecería un risueño equívoco encierra un problema real que excede algo puramente semántico. En efecto, no todas las legislaciones entienden a la E.I.A. como un procedimiento, para algunos ordenamientos la E.I.A., consiste solamente en un estudio de evaluación presentado por el proponente. Esto ha llevado al punto de no saber que qué decimos cuando hablamos de EIA, si se trata de un informe escrito, una actividad de revisión gubernamental, ó a algo cuyos alcances no son bien conocidos.

- c) “*La tercera acepción, es decir la integración de las actividades entre sí se inscribe en el contexto de la ordenación territorial, uno de cuyos objetivos consiste en la compatibilización de actividades, reforzando aquellas que se complementan y minimizando las que son disfuncionales o incompatibles*”, Gómez Orea (*op.cit.*).

3.1. La Geología y los diversos factores y procesos que forman el sistema ambiental

Los diversos factores y procesos que podríamos considerar de “índole geológica” constituyen el sustrato físico sobre el que se apoya la vida y las actividades humanas, por lo que son, recursos naturales tanto por su utilidad como por su escasez. Sin embargo no es la intención de este trabajo hacer una larga enumeración de los mismos, ya que hay numerosos y muy buenos textos y publicaciones que dan cuenta de ello.

Entre los factores principales, se incluyen la topografía, el suelo y subsuelo, el agua superficial y subterránea. Al ser recursos tangibles, son susceptibles de explotación y de transacciones comerciales. Asimismo sabemos que los podemos considerar como renovables o no renovables aunque la diferenciación parezca difusa en la actualidad, dado el abuso que ha hecho el hombre de las tasas de renovación de los mismos.

Cabe destacar que junto a dichos recursos existen otros intangibles, por ejemplo la belleza de un paisaje que tanto tiene que ver con la historia geológica de una comarca,

(por su origen como por la interacción clima y gea) junto a tantos otros procesos que bien podemos enumerar los profesionales de la Geología. Sin embargo los geólogos ¿le damos la importancia que merece el estudio del paisaje como recurso natural?. Otras profesiones ya se lo han dado.

En su conjunto, los procesos expresan la propia dinámica del medio físico y también son susceptibles - como los factores - de ser alterados por acción antrópica. Entre ellos, (Fornasari, 1992), se consideran:

- *Procesos de la hidrósfera*
 - escurrimiento de las aguas superficiales y subterráneas
 - inundación
- *Procesos de la litósfera (exógenos)*
 - carstificación
 - circulación de gases en suelos y rocas
 - pedogénesis
 - expansión de suelos y rocas
 - interacciones físico químicas: agua - suelo ó agua - roca
 - deslizamientos y movimientos de masa
 - erosión eólica e hidráulica
 - sedimentación
 - subsidencia
- *Procesos de la litósfera (endógenos)*
 - Potencialización y desencadenamiento de sismos (sismicidad inducida)

En este análisis y evaluación de factores y procesos es necesario ser precisos, tomando el recaudo a su vez de identificar qué parámetros regulan las características del factor y condicionan la dinámica del medio, cuantificando los mismos toda vez que sea posible.

Como ejemplo, se puede citar el caso del proceso de deslizamiento. No basta aquí con saber cuál es la génesis y los parámetros que lo controlan y/o desencadenan. Hay que ir más allá y medir los parámetros resistentes, conociendo la naturaleza y magnitud de las fuerzas deslizantes. En definitiva, traducirán - o intentar hacerlo - el complejo equilibrio estabilidad / inestabilidad en forma cuantitativa y fehaciente, como un coeficiente de seguridad que permita conocer desde el inicio del análisis la tendencia del proceso y cuán sensible es a un cambio en los valores de los parámetros más importantes (contenido de humedad, magnitud de las subpresiones, aumento de la frecuencia de las vibraciones, etc.)

3.2. La Geología, las actividades humanas y su entorno

Sería interesante que desentrañáramos ahora la competencia de la Geología Aplicada que se da dentro del marco típico de la EIA.

En este sentido cabe detenerse en un hecho importante: no es lo mismo un Estudio de Impacto Ambiental que una Evaluación de Impacto Ambiental. El primero, es un estudio técnico que realiza el proponente de una acción determinada y que según Castelli, 2000 “minimiza los daños al ambiente” mientras que la Evaluación es un proceso administrativo que realiza la autoridad de aplicación o autoridad ambiental que aprueba, rechaza o corrige el estudio propuesto por el proponente.

Entonces, la primera consideración es que los geólogos, que son llamados a participar en un determinado estudio técnico de impacto, deben conocer la normativa municipal, provincial o nacional dentro de la cual se desarrolla el estudio. Los Estudios Técnicos de Impacto Ambiental no son proyectos científicos, sino estudios aplicados que se desarrollan dentro de una norma legal definida. Los estudios científicos se inscriben en el marco del ítem a), analizado previamente en el apartado 3.1.

Ahora bien ¿qué nos queda entonces por hacer en esta etapa?, ¿cuál es el aporte concreto?. Es necesario analizar y ponderar los *indicadores de impacto*, es decir la *expresión medible de un impacto ambiental* Gomez Orea, (op.cit.).

Ya que el impacto sobre un factor es la diferencia entre la evolución de tal factor “con” y “sin” proyecto, generalmente es necesario recurrir a índices o indicadores que reflejen esa diferencia. Entonces, siempre que sea posible, deben representar numéricamente el estado del factor que se pretende valorar.

Es importante destacar que los indicadores se expresan en unidades heterogéneas; por lo tanto deben ser transformados para ser comparables a unidades homogéneas adimensionales (unidades de impacto o de calidad ambiental), y poder totalizar así la alteración que introduciría el proyecto o la acción considerada.

Como condición básica, el geólogo también debe conocer en detalle cuáles son las acciones que un determinado proyecto producirá en los factores ambientales bajo estudio. Se trata de analizar acciones muy variadas: a veces de naturaleza constructiva, como excavaciones, depresión de una napa subterránea; otras, ligadas a la acción industrial (vertido de líquidos y sólidos, etc.) Por ese motivo, se expresa que son trabajos esencialmente transdisciplinarios e interdisciplinarios.

Presentamos aquí una enumeración, no exhaustiva, de indicadores de impacto ambiental relacionados con el medio geológico:

Suelo

- *Relieve y carácter topográfico*
 - porcentaje de superficie alterada
 - coeficiente medio de interés del factor topográfico.
- *Contaminación del suelo y subsuelo*
 - conductividad del extracto saturado.
 - proporción o cantidad relativa de sodio intercambiable.
 - Nitrógeno en el suelo
 - Índice GUS de contaminación del suelo por plaguicidas y pesticidas.
 - metales pesados en el suelo.
- *Capacidad agrológica del suelo*
 - calidad media del suelo basada en su grado de evolución genética y estado de conservación.
 - porcentaje de variación de la salinidad con respecto a la natural.

Aguas Continentales

- *Cantidad del recurso*
 - porcentaje de pérdidas de agua en la cuenca
 - caudal ecológico
- *Régimen hídrico*
 - porcentaje de aumento de la superficie inundable.
 - Caudal ecológico
- *Calidad del agua: bacteriológica física y química*
 - Índice de calidad general (ICG).
 - Temperatura.
 - Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)
 - Oxidabilidad.
 - Calidad del agua superficial desde el punto de vista de su potabilidad: color, pH, SS, concentración de plaguicidas totales, DQO, Oxígeno disuelto, Coliformes (totales y fecales), Salmonelas, detergentes, N, NH₄, Fosfatos, Fenoles, Hidrocarburos, Nitratos, Fluoruros, Fe, Mn, Cu, Zn, Boro, As, Cd, Cr, Pb, Se, Ba, cianuros, sulfatos, cloruros y otros exibles por cada legislación.

Aguas Subterráneas

- *Índice de vulnerabilidad a la contaminación y a la sobreexplotación de acuíferos*
 - Modelo Drastic

- Variación porcentual de la recarga

Procesos

- *Dinámica de cauces*
 - longitud de los elementos de la red, ponderados según su importancia
 - importancia media de los elementos de la red
- *Salinización*
 - Concentración de sales disueltas.
 - Conductividad eléctrica de las aguas.
- *Transporte de sólidos*
 - Turbidez de las aguas
- *Eutrofización*
 - Concentración media de fósforo.
- *Dinámica litoral*
 - Porcentaje de superficie afectada por procesos de erosión - sedimentación.
- *Drenaje superficial*
 - Variación de permanencia del agua en superficie.
- *Inundaciones*
 - Variación del riesgo según el daño potencial.
- *Erosión*
 - Desplazamiento de materiales superficiales por efecto de los agentes atmosféricos.
 - Media ponderada de los materiales desplazados, según la superficie de zonas homogéneas.
 - Materiales desplazados por erosión eólica.
- *Sedimentación y precipitación*
 - Variación del volumen de depósitos, en zonas sensibles, con respecto a las condiciones naturales
- *Estabilidad de deslizamientos*
 - Variación de riesgos existentes en taludes naturales.
 - Variación de riesgos existentes en taludes excavados en función de las variaciones de parámetros condicionantes y desencadenantes.

Este listado solamente indicativo, intenta poner de relieve la variedad y complejidad de indicadores con competencia en la práctica del quehacer geológico, en áreas tan variadas como: geología aplicada, geomorfología, edafología, hidrología, hidrogeología, sedimentología, etc.

En el marco de la EIA hay otro concepto que también es clave, e incumbe principalmente al medio físico, es decir al suelo, el agua y el aire, éste es el de *capacidad de acogida*.

Este concepto representa la aptitud que tiene el medio como un factor de localización de actividades que requieren insumos, ocupan y/o transforman el espacio y emiten efluentes. Si las actividades se mantienen dentro de la capacidad de acogida, entonces el desarrollo que inducen las actividades es *sustentable*, mientras que si las sobrepasa, son claramente *impactantes*.

3.3. Actividades humanas que intervienen en el sistema

Trascendiendo el marco de la EIA aplicada a un determinado proyecto o acción, la ordenación del territorio incumbe a las múltiples actividades producto de las políticas sociales, culturales, ambientales y económicas de una sociedad, que se proyectan en un determinado espacio.

Desde la óptica del medio físico, la *capacidad de acogida* dentro del marco del ordenamiento territorial “*puede entenderse como la expresión de la relación uso - territorio, en términos de vocacionalidad (o uso adecuado del mismo) que puede ser coincidente o no con el uso actual, compatibilidad sin o con limitaciones ó sometidos a EIA o incompatibilidad, lo que implica un grave quebranto de sus valores ecológicos, paisajísticos o productivos*”, (T. Villarino, 2000).

En este poco explorado campo en nuestro país, también las Ciencias Geológicas tienen una importancia capital, ya que el medio geológico - en especial suelos, rocas y procesos - constituyen el *soporte físico* de toda actividad humana y es, a su vez, fuente de *recursos naturales* y de materias primas. Además, *receptor* de residuos o productos no deseados por los propietarios de los mismos, o que tienen obligación legal de deshacerse de ellos.

Como *recurso*, el medio físico es fuente de materias primas que el hombre utiliza o transforma. Estos, como se indicara más arriba, pueden catalogarse de renovables y entonces debe conocerse su tasa de renovación: mensual, anual, interanual. En el caso de los no renovables, para que el medio sea sustentable, hay que centrar la atención en la reducción del consumo al mínimo y/o dando prioridad a la reutilización.

Como soporte de actividad, la atención se centra en la *aptitud* (medida en que el medio cumple los requisitos locacionales), aptitud que incluye los *riesgos* (condición potencial de ocurrencia de un accidente) y los *impactos*, que son los efectos o alteraciones sobre el medio.

Como *receptor* de residuos, el medio físico ha de ser utilizado según su capacidad de asimilación de los vectores ambientales, es decir; la capacidad de autodepuración del agua y la de incorporación y filtrado para el conjunto suelo - roca.

Según la capacidad de acogida del medio físico, las actividades a regular, suelen categorizarse, dependiendo de los autores y en un orden de menor a mayor efecto o alteración del medio en:

- *de conservación y regeneración de la naturaleza*
- *de esparcimiento y recreación*
- *Agrarias*
- *Urbanísticas*
- *Industriales*
- *de infraestructura*
- *de deposición de residuos*

El inventario del medio físico (elementos y procesos) es común a todas ellas y en general comprende:

- *Agua*
 - localización, régimen, calidad y tasa de recarga de ríos, embalses, fuentes, manantiales, etc.
 - áreas de recarga
 - vulnerabilidad a la contaminación y a la sobreexplotación
 - capacidad de autodepuración
- *Materiales, formas y procesos*
 - recursos minerales
 - morfología del terreno
 - procesos geodinámicos externos
 - recarga y vulnerabilidad de acuíferos
 - características geotécnicas
 - patrimonio geológico
 - aptitud de los suelos para la agricultura
- *Medio perceptual: paisaje*
 - paisaje intrínseco
 - potencial de visualización
 - incidencia visual
 - recursos culturales

4. CONCLUSIONES

Estudiando la evolución del paisaje norteamericano, en 1888 Davis, dio una sorprendente definición para la época de lo que era la Geología. Dijo: “*es el estudio del pasado a la luz del presente*”. Hoy aparecen nuevos desafíos y definiciones acerca de los aportes que los geólogos podemos hacer para preservar “*las bellezas de la naturaleza*” en nuestro hogar común; tal como se acostumbra a denominar hoy a nuestro hermoso planeta azul.

Los geólogos que han dedicado sus días profesionales a interpretar las relaciones que tienen los geomateriales y los procesos del medio físico con las obras de ingeniería, están inmejorablemente posicionados - formación continua mediante - para evaluar el equilibrio entre la naturaleza y las acciones antrópicas. Este es el aspecto positivo de la cuestión.

Sin embargo, hay otras situaciones que mueven a una cierta reflexión: pueden todos los colegas tener una visión clara de cuál es la relación entre las acciones antrópicas y el medio físico (suelo y agua) sin una formación rigurosa. Sobre todo, pueden hacerlo en la práctica si no han tenido en su haber una fuerte experiencia en el proyecto y construcción de obras civiles y sobre todo de grandes obras. En este sentido, son premonitorias las palabras de Ricardo Oliveira, que precedentemente se han citado.

En la Argentina de hoy se proyectan y construyen muy pocas grandes obras. La formación en la práctica, lamentablemente ha disminuido y no se prevé que esta situación cambie en un futuro próximo. Este ha sido tema de análisis de buena parte de este trabajo, lo que exige y con gran énfasis, al decir de Oliveira, “una cualificación que debe conducir a un ajuste en los programas universitarios a todos los niveles.”

La Geología Aplicada al equilibrio entre las acciones antrópicas y el ambiente es la Geología del futuro, no hay

dudas, pero queda como reflexión final: ¿podremos llevarla a cabo en el presente y en el futuro, visto el escaso desarrollo actual de nuestro país?.

Es una pregunta de difícil respuesta, sin duda. Pero lo que ocurre en los países desarrollados, nos indica esa factibilidad.

Es imprescindible entonces que se abra el tan necesario debate en ámbitos institucionales como éste y en los “cenáculos” universitarios en que se estudia e investiga en nuestro país sobre temas geológicos.

Como siempre, hay que demostrar conocimientos, pericia profesional, un poco de coraje y, sobre todo aportar soluciones a los importantes problemas que a diario se plantean.

5. AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud al Dr. Horacio Rimoldi, artífice del pasado y actor preponderante del presente de ASAGAI, mi compañero en la organización y presidente de Vº Congreso Internacional de la AIGI de Buenos Aires, quien ha tenido la deferencia de leer este trabajo aportando su gran conocimiento y experiencia profesional. También mil gracias a mi querida hija María Cristina quien, con su enorme don periodístico, ha corregido pacientemente un “rebelde manuscrito”.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CASTELLI, L. 2000.

La Quebrada pendiendo de un cable.
Gerencia Ambiental N° 67. Buenos Aires

DAVIS, W.M., 1988.

Geographics methods in geologic investigation.
National Geographic Magazine. Vol. 1. N° 1. Wasington D.C.

DI SALVO, C.A. 1999.

Geología aplicada a la ingeniería y al ambiente en el proyecto aliviador de aguas pluviales Cildáñez, Ciudad de Buenos Aires.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 13. Buenos Aires

DIVERSOS AUTORES

Actas de la Asociación. Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. N° 1, 1981 a N° 11, 1997 Buenos Aires.

DIVERSOS AUTORES

Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement N° 14, 1976 a Vol 57 N° 4, 2000. Paris.

DIVERSOS AUTORES

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 12, 1998 a N° 15, 2000 Buenos Aires.

FORNASARI N. ET AL., 1992.

Alterações no meio físico decorrentes de obras de enghenaria.
IPT, Boletim N° 61. San Pablo.

- GOMEZ OREA, D. 1994.
Evaluación del Impacto Ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental.
Instituto geominero de España. Editorial Agrícola Española S.A. Madrid.
- GOMEZ OREA, D. 1999.
Ordenación del territorio. Una aproximación desde el Medio Físico.
Ediciones Mundi Prensa. Editorial Agrícola Española S.A. Madrid.
- VILLARINO T., 2000.
Evaluación del Impacto Ambiental I y II.
Fundación general de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- OLIVEIRA, R. 1994.
Discurso de introducción del VIIº Congreso Internacional de la AIGI.
Comptes Rendus. 5eme. Congres International. Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur Lisboa.



Curso de campo "fenómenos naturales - espacios antropizados - áreas degradadas"

Alto Valle del Río Negro y Valle Inferior de los Ríos Limay y Neuquén

Engelland, Silvia ¹ - Arroyo, Luisa - Castaño, Elsa

Resumen

En el marco del proyecto "CONDICIONES DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL PARA UN ESPACIO DE OASIS ANTROPIZADO", que lleva adelante un equipo multidisciplinario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue, se identifican cuestiones relevantes de la problemática ambiental de esta zona de la Patagonia Norte. Su conocimiento y difusión son objeto de demanda por parte de organismos públicos, O.N.G.S, docentes provenientes de las distintas áreas del conocimiento, e interesados en la temática expuesta.

Se plantea así un primer curso de campo sobre la Sustentabilidad Ambiental de Áreas Degradadas en el Alto Valle del Río Negro y Valle Inferior de los Ríos Limay y Neuquén.

Se propone una metodología específica que contribuye a la formación de campaña, mediante la realización de actividades secuenciadas e integradas en "estaciones", representativas de los principales procesos y problemas de referencia. Cada estación visitada es precedida de explicaciones teóricas, por parte de los distintos especialistas integrantes del proyecto de investigación.

Las actividades se desarrollan a partir del planteo de hipótesis y del análisis e interpretación previa de las imágenes satelitales y fotografías aéreas, de las áreas abordadas, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su presentación en planillas ad-hoc de cada lugar.

Como investigadores resultó satisfactoria la transferencia de conocimientos en función de nuestro objetivo de concientizar acerca del uso sustentable de los recursos agua y suelo en la región y la utilización de los SIG como herramientas de mapeo e interpretación.

1. INTRODUCCIÓN

En el proyecto de investigación "CONDICIONES DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL PARA UN

ESPACIO DE OASIS ANTROPIZADO", que lleva adelante un equipo multidisciplinario del CEVEqU, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue, se identifican cuestiones relevantes de la problemática ambiental de ésta zona de la Patagonia Norte.

En el marco de la transferencia de resultados del problema abordado, se proyecta un Curso de Campo, dirigido a quienes trabajan en temáticas relacionadas con las

Entregado: 30 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 19 de Setiembre de 2001

1. Centro Experimental de la Vivienda y el Equipamiento Urbano (C.E.V.Eq.U.)
Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ingeniería
Buenos Aires 1400 (8300) NEUQUEN Telefax: 54 99 490356
e-mail: sengella@uncoma.edu.ar

ciencias de la tierra, en el que se explicitan herramientas metodológicas, de carácter teórico-práctico, (tanto en gabinete como en el campo), para la comprensión e interpretación de procesos y fenómenos naturales potenciados por actividad antrópica.

La metodología empleada ha partido de un estudio geoambiental del territorio, tendiendo a la selección de áreas donde la magnitud e incidencia de las actividades sobre los recursos naturales producen impactos de relevancia que comprometen la sustentabilidad ambiental.

La aportación de los especialistas integrantes del equipo de investigación guiando a los participantes en los métodos de selección de áreas, en la interpretación de procesos de degradación y en la construcción de itinerarios de puntos singulares, proporciona una formación y capacitación transdisciplinar.

Para la unificación de conocimientos, se realiza una breve descripción de las unidades geomórficas más relevantes del área de estudio, interpretadas de la observación de campo y correlacionadas con la bibliografía básica de referencia.

2. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL ÁREA

La región del Alto Valle del Río Negro se encuentra inserta en el gran ecosistema denominado: Patagonia Extrandina. Sus principales características físicas se centran en la gran aridez climática y en el escaso desarrollo pedogenético, razón por la cual, tanto las actividades productivas como el emplazamiento de los centros urbanos se encuentran ubicados en el valle propiamente dicho, franja de 750 km².

En el modelado del relieve se ve claramente el dominio de los procesos exógenos, con intensa actividad fluvial. Teniendo en cuenta las características enunciadas, se divide este ecosistema en una Unidad Geomorfológica, denominada: ambiente de meseta y planicie.

El origen de las geoformas es dispar y si bien derivan de la influencia preponderante de la acción fluvial es importante el predominio del desarrollo estructural.

El área de estudio corresponde a la denominada Región Septentrional, caracterizada por los llamados Rodados Patagónicos, queda incluido en ella el Río Negro con su correspondiente planicie aluvial y valle, constituyendo éste último el límite norte de la región. Una sucesión de cuencas centrípetas se ubica siguiendo esta traza. En esta región se han reconocido un conjunto de entidades menores, que serán descriptas a continuación:

Antigua Planicie Aluvial Disectada

Muestra una suave pendiente regional al este, inferior a los 10°, que ha sido vinculada a depósitos glacifluviales,

fluviales y actualmente si bien su génesis aluvial es sustentada. Se relacionan sus rasgos generales con superficies de erosión tales como terrazas fluviales y en algunos casos también con pedimentos.

Tapizan su superficie, arenas y clastos. En otros lugares se puede observar una cubierta de arcilla limosa y/o arenosa enmascarando el superficial manto de rodados.

Las márgenes de la "planicie" están limitadas por escarpas de erosión bastante abruptas, a veces con sectores de pendiente expresados por una "cara libre" (afloramiento de banco resistente).

En el retroceso progresivo de las pendientes, la acción erosiva hídrica (surcos y cárcavas, hasta pequeños cañadones), se ve completada por la caída de rocas y sedimentos.

Bajos Topográficos

La regularidad general de la Planicie, se ve interrumpida por la presencia de numerosos "bajos", de variado tamaño y forma, que suelen mostrar su fondo ocupado por una laguna de carácter efímero, o por una salina. Su fondo esta cubierto por sedimentos finos (arcilla y limos) siendo lo suficientemente impermeable como para que se acumule agua en épocas de precipitaciones. La vida de estos cuerpos de agua es normalmente efímera (semanas o meses).

Cauces aluvionales

Otras irregularidades menores, que rompen la característica homogeneidad de la antigua planicie, son los cauces aluvionales, poco profundos en algunos casos y de corto recorrido que suelen culminar en algún bajo.

En general permanecen secos gran parte del año, pero debido a tormentas de origen convectivo que provocan precipitaciones intensas y de poca duración, la pérdida de sedimentos al año es considerable.

En cuanto al diseño, se identifica con el tipo "dendrítico", en particular sobre las zonas marginales de la planicie.

Alto Valle del Río Negro y sus formas asociadas

De la confluencia de los ríos Limay y Neuquén se origina el Río Negro, el que recorre a través de la provincia homónima una longitud de 550 Km, aproximadamente. De régimen permanente, su caudal esta influenciado esencialmente por las precipitaciones y la fusión de hielo y nieve en el área de cabecera de sus colectores cordilleranos. Hoy es un río de régimen regulado por una serie de embalses y represas hidroeléctricas ubicadas en sus dos principales afluentes.

Atraviesa la “antigua planicie aluvial disectada”, mostrando un piso de valle de características regulares y de importante desarrollo.

A lo largo de su recorrido esta marginado casi continuamente por una serie de superficies llanas, en algunos casos muy extensas, las que son individualizadas como niveles de terrazas aluviales inferiores y superiores, de difícil identificación en la imagen satelital por razones de escala.

Esta planicie de inundación, es el sector sobre el que se ha asentado la principal actividad económica y consecuente riqueza de la región del Alto Valle, la fruticultura bajo riego.

Deriva Lateral

El hábito del cauce que se desplaza por la extensa planicie fluvial actual corresponde al meandriforme. Son comunes las lagunas, como resultado de la resección del cuello de los meandros o por derivas laterales.

Todas estas formas son claramente reconocibles incluso a partir de la observación de imágenes satelitales, al igual que los numerosos albardones semilunares sobre las pendientes internas de los meandros.

Pedimentos de Flanco

Un aspecto sobresaliente de algunos tramos del Alto Valle, lo constituyen los “pedimentos de flanco”. Se los considera relacionados genéticamente con retiro de la escarpa de erosión que margina la mayor parte de la Planicie Aluvial Antigua.

Son superficies rocosas de erosión, cubiertas por un delgado espesor detrítico, cuya pendiente general inclina hacia el eje del río. Se extienden desde la abrupta escarpa de erosión hasta el nivel de base local. En la actualidad, la superficie de erosión descrita, se ha visto sometida a una fuerte disección, expresada en los numerosos y profundos cañadones y cárcavas que han destruido su inicial homogeneidad.

Planicie estructural por arrasamiento

Se originan a favor de la erosión del complejo sedimentario del Cretácico Superior y Terciario.

El paisaje tabular es su característica, con un “escalonamiento” que se hace más notable hacia el sector de las “bardas” marginales, donde llegan a desarrollar abruptas escarpas de erosión.

En territorio neuquino la continuación de esta estructura geomórfica remata por el lado occidental en una alta escarpa erosiva, cuya permanencia se ve favorecida por las resistentes sedimentitas.

Esta representada por áreas muy degradadas con respecto a la Planicie Aluvial Antigua, cuyos remanentes

muestran una zona de pasaje, entre una escarpa de erosión en activo retroceso; taludes y depósitos de remoción en masa que enmascaran dicha escarpa.

3. METODOLOGÍA

Para el abordaje del trabajo se establecieron tres etapas de desarrollo:

Estudio geomorfológico y ambiental, fundamentalmente (fotogeológico y análisis de imágenes satelitales, mediante la utilización de los Sistemas de Información Geográfica), con el objeto de localizar las áreas y puntos de mayor interés geoambiental.

Inventario y selección de las áreas y puntos relevantes, para obtener así, una rasterización de *Puntos Singulares* que han sido impactados por las diferentes actividades que afectan y afectan al entorno (base para la elaboración de itinerarios didácticos temáticos).

Elaboración de un modelo esquemático a partir de la información obtenida, con el itinerario temático. En el diseño final cada especialista, integrante del equipo, concreta objetivos y actividades a realizar.

Trabajos realizados en Gabinete

El equipo de investigación provee material conformado por fotografías aéreas a diferentes escalas, estereoscopia de espejo e introduce al curso en el manejo e interpretación de la mismas, con el objetivo de diferenciar y representar gráficamente las áreas afectadas por diferentes actividades antrópicas y procesos naturales potenciados por la misma causa.

Las imágenes satelitales son analizadas mediante los Sistemas de Información Geográfica y se capacita al alumnado en el abordaje de técnicas de representación gráfica asistida por computadora, de las áreas antes mencionadas. (Fig. 1).

Finalmente cada grupo elige las áreas más relevantes (Figuras 2 y 3) y se confecciona de esta manera el itinerario geoambiental a efectuar el campo; en esta fase los alumnos poseen un conocimiento general en técnicas de mapeo digital y conocimiento en gabinete del itinerario a cumplir.

Trabajos realizados durante el itinerario

A continuación se presenta el inventario, agrupado en función de su caracterización temática y el listado de aquellas acciones (naturales y/o antrópicas) que han desencadenado impactos sobre el Medio Ambiente involucrado y que son causa de degradación física. (Tabla: 1).

Se presenta en las Figuras 1, 2, 3 y Tabla 1 una secuencia de los trabajos realizados en gabinete y campo.

TRABAJOS REALIZADOS EN GABINETE:

FIGURA 1: Alto Valle, niveles aterrizados y diseño de drenaje en el sector de confluencia de los Ríos Limay y Neuquén. (Digitalización con ARC VIEW 3.1).

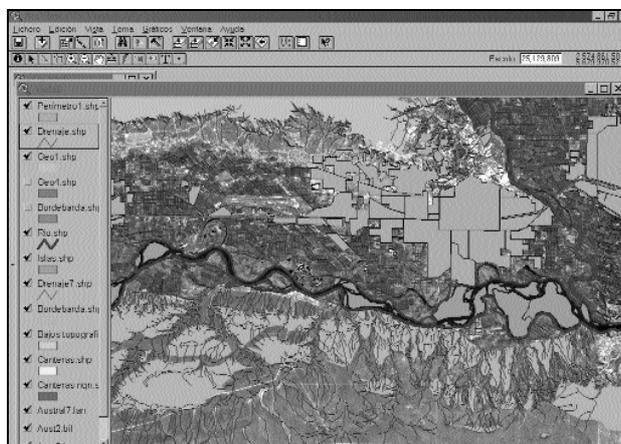


FIGURA 2: Fotografías aéreas y mosaico fotográfico, realizados en gabinete de las áreas extractivas que impactan sobre el Río Limay .

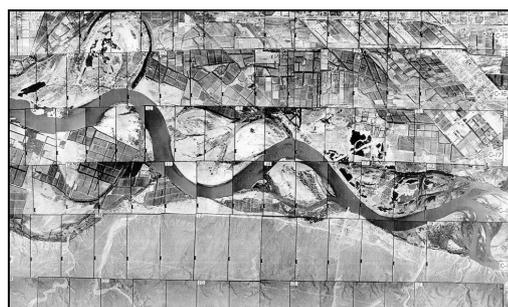
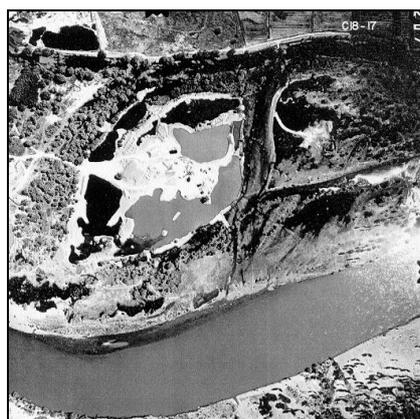


FIGURA 3: Digitalización de áreas degradadas por actividad extractiva sobre el Río Limay y confección de la base de datos (Arc View 3.1).

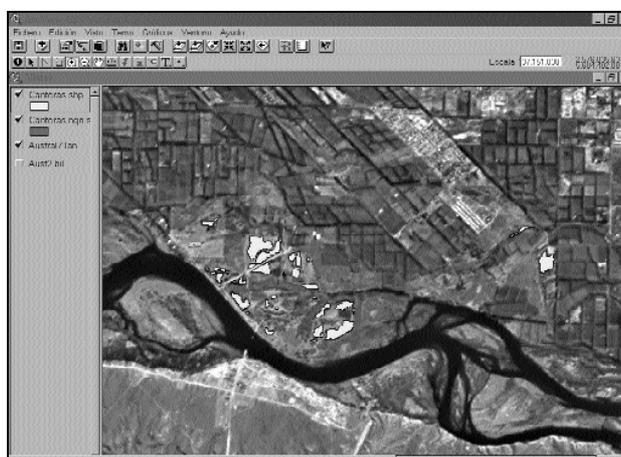


TABLA 1: SÍNTESIS DE PUNTOS SINGULARES, ELABORADA EN EL ITINERARIO TEMÁTICO

ACCIONES ANTROPICAS	IMPACTO
ACTIVIDADES EXTRACTIVAS	Descripción del área de localización:
	Las actividades más relevantes se localizan en la margen Norte del Río Limay en la provincia del Neuquén.
	Descripción de las observaciones realizadas
	<p>Se observaron depresiones (cavas) en torno a la margen Norte del Río Limay en la planicie de inundación, por actividad extractiva para comercialización de áridos utilizados en la construcción.</p> <p>Puede observarse que estas cavas varían rápidamente con el tiempo, debido a la evolución que sufren por el abandono o por la misma explotación, alterando el paisaje, provocando riesgo de contaminación de acuíferos por acumulación de residuos, (basureros clandestinos), eliminación de la cubierta vegetal, modificando los procesos de erosión y sedimentación naturales, aumentando el riesgo de accidentes, etc.</p>
	Enuncia los impactos observados al entorno:
	<ul style="list-style-type: none"> • Destrucción de la cubierta vegetal • Destrucción del suelo (movimientos de tierra) • Alteración del nivel freático • Alteración de la dinámica de cauces • Ruidos • Impacto visual • Aumento de polvo en la atmósfera • Acumulación de residuos • Aumento en los procesos de putrefacción

4. RESULTADOS

Como investigadores resultó satisfactoria la transferencia de conocimientos en función de nuestro objetivo de concientizar acerca del uso sustentable de los recursos naturales en la región y la utilización de herramientas: SIG y fotointerpretación como base para la representación gráfica e interpretación.

La metodología de seleccionar áreas afectadas por

procesos de degradación y construir itinerarios de puntos singulares fue adecuada y permite conformar y capacitar equipos multidisciplinar y transdisciplinarmente.

Proporciona entrenamiento en observación, identificación, descripción e interpretación del paisaje y en las relaciones dinámicas, producto de los procesos naturales y de las actividades antrópicas. Permite plantear hipótesis y modelos conceptuales explicativos de los sistemas identificados.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- GONZÁLEZ DÍAZ, E. Y C. MALAGUINO,. 1984.
Geomorfología de la Provincia de Río Negro.
IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche.
- RAMOS V., 1978.
Geología del Neuquén.
Relatorio del VII congreso Geológico Argentino pp.119-128. Buenos Aires.
- SELLÉS MARTÍNEZ J. 1999.
La Tierra y sus Cambios.
El libro de la naturaleza. Educación General Básica Editorial Estrada Buenos Aires.
- CENTENO J, ET ALL 1994.
Geomorfología Práctica.
Ejercicios de fotointerpretación y Planificación Geoambiental. Editorial Rueda S. L. Madrid España.
- AGUILERA CASCALES A., ET ALL 1995.
Geología en Imágenes.
Ejercicios y Cuestiones Didácticas. Editorial Rueda S. L. Madrid, España.
- GÓMEZ OREA D., 1999.
Evaluación de Impacto Ambiental.
Un instrumento preventivo para la Gestión Ambiental. Editorial Agrícola Española S.A. Madrid, España.



Consideraciones Geotécnicas e Hidrológicas para la Selección del sitio de emplazamiento de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de San Juan

Fiore, Juan Manuel ^{1,2,5,6} - Castro, Adolfo ^{3,5,6} - Turcuman, María Hortencia ^{4,5,6}

Resumen

En el presente trabajo se describen algunos aspectos del estudio de factibilidad para la selección del lugar de emplazamiento de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (PTRSU) en la provincia de San Juan. Este estudio se ha realizado con el patrocinio de la empresa EcoControl (Grupo Marguliz), en el marco del programa "Servicios Tecnológicos a Terceros" mediante el convenio existente entre la Fundación Universidad Nacional de San Juan y la Universidad Nacional de San Juan. La iniciativa de la empresa se fundamenta en la no existencia en la provincia de un vertedero controlado de residuos ni de una política organizativa racional en la recolección y disposición de los mismos para ofrecer este servicio a los municipios del Gran San Juan. Algunos antecedentes y estudios previos han apuntado hacia esta zona geográfica mencionándola como una opción viable entre otras. Sin embargo no existen antecedentes de estudios puntuales como es el caso que nos ocupa, en el cual se han considerado diversos factores a fin de seleccionar el emplazamiento concreto de la PTRSU.

Se trata de definir, dentro del área de estudio propuesta por la Empresa, el sitio más favorable para la instalación de la planta, atendiendo a una serie de criterios, entre los cuales se encuentran: Existencia de un terreno con el área requerida (30 ha.), Tipos de suelo y uso actual del mismo, Topografía, Actividad sísmica, Distancia a zonas pobladas y cultivadas atendiendo al régimen legal, Accesibilidad, Hidrología superficial y Subterránea.

La zona general de estudio se encuentra a unos 16 Km al norte de la ciudad Capital de la provincia de San Juan, en el pedemonte oriental de la sierra de Villicum, que constituye el mayor rasgo positivo del relieve. Hacia el este existen algunas lomas.

El relieve intermedio está controlado por las bajadas aluviales que constituyen los depósitos pedemontanos de una planicie aluvial reciente, asentada sobre un sustrato de baja permeabilidad de edad terciaria.

Las precipitaciones, de marcada estacionalidad, han generado una red de cauces efímeros con evidencia de fuerte arrastre de material. A fin de cuantificar los caudales se han considerado algunos cauces principales, y en su cuenca de aporte se ha aplicado el Método Racional Generalizado (Rüble, 1963), para el cálculo del máximo derrame superficial que ellos han conducido para una lluvia máxima con intervalo de recurrencia de 100 años. Este cálculo se ha confrontado con un retroanálisis realizado en obras de

Entregado: 30 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 06 de Octubre de 2001

1. Profesor Titular de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
2. Director del Instituto de Materiales y Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
3. Docente Cátedra Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
4. Docente Cátedra Geotecnia y Fundaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
5. Docente Cátedra Mecánica de Rocas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
6. Investigador Instituto de Materiales y Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.

encauzamiento existentes inmediatamente aguas abajo de las lomadas pedemontanas del sudeste, aplicando el Método de Chezy-Manning de la circulación de agua por canales o cauces naturales, y el Método de L. L. Lischtvan y V. V. Lebediev que permite calcular la profundidad de erosiva en los mismos. La concordancia entre los resultados obtenidos permiten validar la aplicación del Método Racional Generalizado al área definitiva de localización de la PTRSU.

Se han efectuado ensayos de permeabilidad in situ con el objeto de evaluar la conductividad hidráulica vertical, obteniéndose valores de entre 1,5 m/d a 1,60 m de profundidad y de 0,71 m/d a 3,50 m de profundidad dentro de un pozo a cielo abierto realizado para el estudio geotécnico. En esta calicata se encontró el terciario impermeable a 6 m de profundidad. La planicie aluvial moderna es potencialmente acuífera, con rápida evacuación de la infiltración hacia el borde de cuenca. Los valores de conductividad hidráulica de los suelos y el hecho de que las formaciones permeables estén en franco contacto con la cuenca sometida a intensa explotación, han motivado la recomendación de obras de impermeabilización de las pozas y taludes, así como la posibilidad de efectuar estudios de detalle para verificar la posibilidad de cerrar hidráulicamente las mismas directamente sobre el sustrato terciario.

1. MOTIVOS Y OBJETIVOS

En el presente trabajo se describen algunos aspectos del estudio de factibilidad para la selección del lugar de emplazamiento de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (PTRSU) en la provincia de San Juan. Este estudio se ha realizado con el patrocinio de la empresa EcoControl (Grupo Marguliz), en el marco del programa "Servicios Tecnológicos a Terceros" mediante el convenio existente entre la Fundación Universidad Nacional de San Juan y la Universidad Nacional de San Juan. La iniciativa de la empresa se fundamenta en la no existencia en la provincia de un vertedero controlado de residuos ni de una política organizativa racional en la recolección y disposición de los mismos para ofrecer este servicio a los municipios del Gran San Juan. Algunos antecedentes y estudios previos han apuntado hacia esta zona geográfica mencionándola como una opción viable entre otras. Sin embargo no existen antecedentes de estudios puntuales como es el caso que nos ocupa, en el cual se han considerado diversos factores a fin de seleccionar el emplazamiento concreto de la PTRSU.

Se trata de definir, dentro del área de estudio propuesta por la Empresa, el sitio más favorable para la instalación de la planta, atendiendo a una serie de criterios que pueden resumirse como sigue:

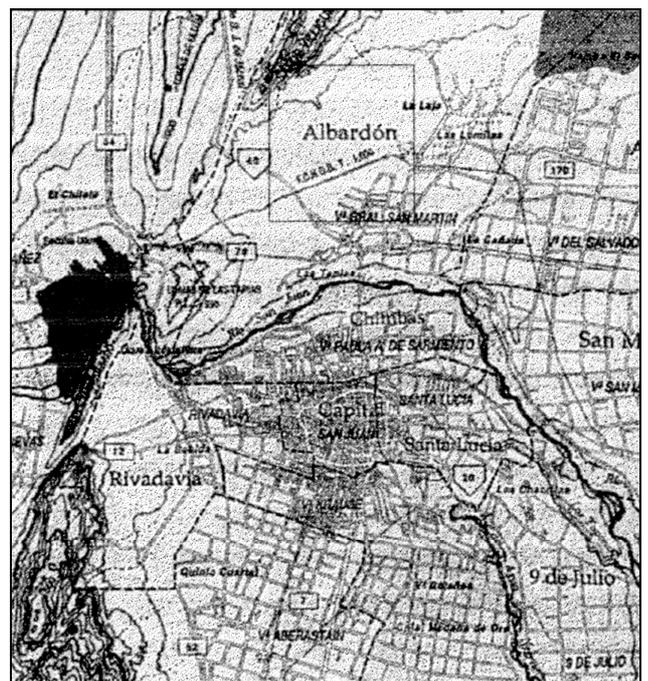
- Existencia de un terreno con el área requerida (30 ha.)
- Uso actual del suelo.
- Topografía.
- Actividad sísmica.
- Tipo de suelos.
- Distancia a zonas pobladas y cultivadas atendiendo al régimen legal.
- Accesibilidad.
- Hidrología superficial.
- Hidrología subterránea.

En el presente trabajo se describen sucintamente las consideraciones de tipo geotécnico e hidrológico tenidas en cuenta en la selección de la ubicación definitiva.

2. RASGOS FISIOGRÁFICOS

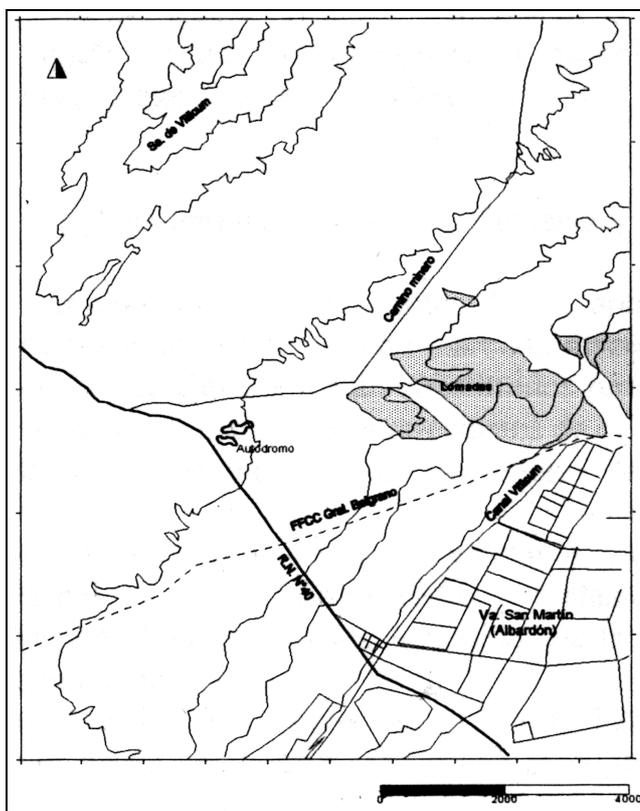
La zona general de estudio se encuentra ubicada a unos 16 Km al norte de la ciudad Capital de la Provincia de San Juan, en el pedemonte oriental de la sierra de Villicum, departamento Albardón (Figura 1). El límite occidental está constituido por la propia Sa. del Villicum, mientras que hacia el este limita con el área de explotación agropecuaria que rodea a los núcleos poblacionales de Albardón y La Laja (Villa San Martín, las Lomitas y Villa San Miguel). El límite norte está dado aproximadamente por el paralelo 65° 32', y el sur por la R.N. N° 40 y las vías del FFCC Gral. Belgrano.

FIGURA 1: UBICACIÓN GENERAL DE LA ZONA



El mayor rasgo positivo del relieve es la Sa. de Villicum (Figura 2), de edad cambro-ordovícica en el cual se emplazan varias canteras de explotación de caliza. Hacia el este existen otros rasgos positivos de menor altura (lomadas). El relieve intermedio está controlado por las bajadas aluviales que constituyen los depósitos pedemontanos de una planicie aluvial reciente (Figura 2). Estos sedimentos se asientan sobre un sustrato de baja conductividad hidráulica de edad terciaria, compuesto por un conglomerado basal con clastos angulosos de caliza y matriz arcillosa, al cual sigue una sucesión de limolitas, arcilitas, areniscas y conglomerados finos.

FIGURA 2: RASGOS FISIOGRAFICOS PRINCIPALES



En el flanco oriental de la Sa. de Villicum nacen múltiples cauces efímeros generados por precipitaciones de marcada estacionalidad, que discurren en forma aproximadamente paralela en dirección sudoeste. La pendiente tiende a suavizarse y esto hace que el curso de estos cauces se vuelva meandriforme y divagante. Muchos de ellos desaparecen y otros se anastomosan para encajonarse entre las lomadas, formando recién entonces canales bien definidos. Todos estos cauces permanecen secos la mayor parte del año pero es evidente que transportan caudales de importancia en épocas de lluvias, las cuales se producen en la temporada estival. Tanto las bajadas aluviales proximales (antiguas) como los depósitos de llanura reciente presentan el típico aspecto debido al clima desértico. Los suelos

tienen poca capacidad de retención de humedad y sólo prospera la vegetación xerófila.

3. SÍNTESIS GEOLÓGICA

3.1. Cámbrico

El Cámbrico inferior está representado por la Formación Villicum, que aflora de N a S en el flanco occidental de la sierra homónima (Figura 3). Litológicamente se reconocen calizas y dolomías de color gris oscuro a negro con ocasionales intercalaciones de areniscas (Borrello, 1963) El espesor aflorante de esta secuencia del Cámbrico es de 200 a 250 m y se encuentra intensamente afectado por tectonismo (Uliarte, 1977).

El Cámbrico Medio está constituido por la Formación La Laja, la cual aflora a todo lo largo del flanco occidental de las Sas. del Villicum y Chica de Zonda. En su constitución se distinguen calizas y dolomías de colores gris claro, gris oscuro y negro y niveles de pedernal. El espesor medio de esta formación es de unos 600 m (Treo, 1977).

3.2. Ordovícico

De forma simplificada puede decirse que la formación San Juan representa el Ordovícico en el área de estudio, y aflora en sentido N-S a lo largo del flanco oriental de la Sa. del Villicum. Se compone de calizas de color gris claro a negro, con intercalaciones locales de estratos silíceos. Hacia la parte inferior de la formación encontramos bancos de calizas dolomíticas y dolomías. La Fm. San Juan alcanza una potencia de 1.700 m en esta área. Otras formaciones ordovícicas aflorantes en el área son la Fm. Los Chilenos (rocas clásticas con finas alternancias de calizas) y la Fm. Don Braulio (complejo formado por un conglomerado polimíctico basal que pasa a areniscas, grauvacas y lutitas).

3.3. Terciario Superior

Los Estratos Calchaqueños están formados por bancos que afloran a lo largo del faldeo de la Sa. del Villicum, y también ocasionalmente en los valles intermontanos. Se apoyan discordantemente sobre las calizas cámbricas (Figuras 3 y 4). Litológicamente se componen de un conglomerado basal de color rojizo compuesto por clastos angulosos de caliza y matriz arcillosa, al cual sigue una sucesión de limolitas y arcilitas, areniscas y conglomerados finos. Los colores predominantes son los rojizos, pardos y amarillentos. El espesor medio de estas sedimentitas es de aproximadamente 1.000 m.

La Fm. Mogna, también de edad terciaria, constituye el cuerpo principal de las lomadas de Las Tapias, del Salado y de Las Tierritas. Predominan los conglomerados

FIGURA 3: PLANO GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO

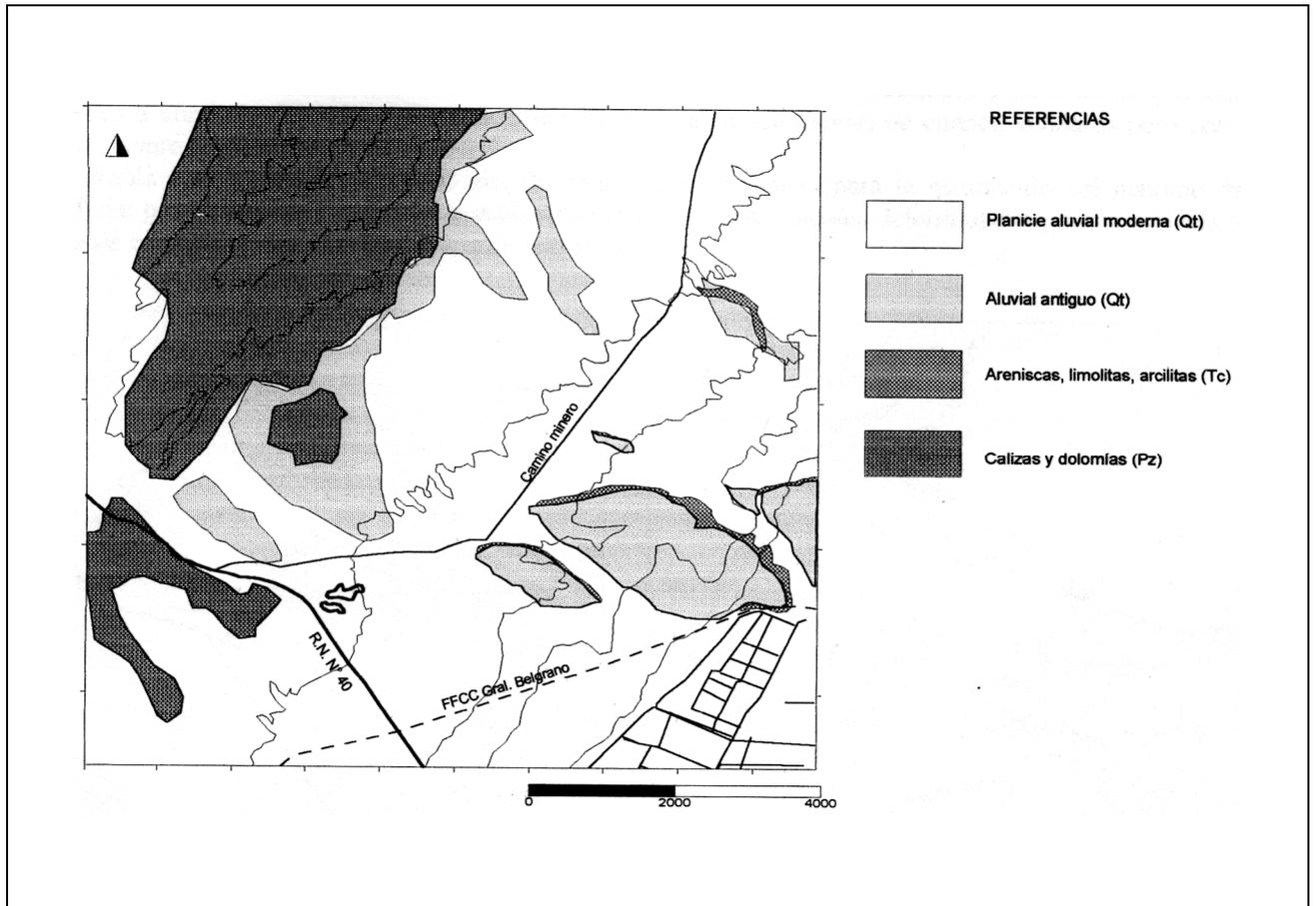
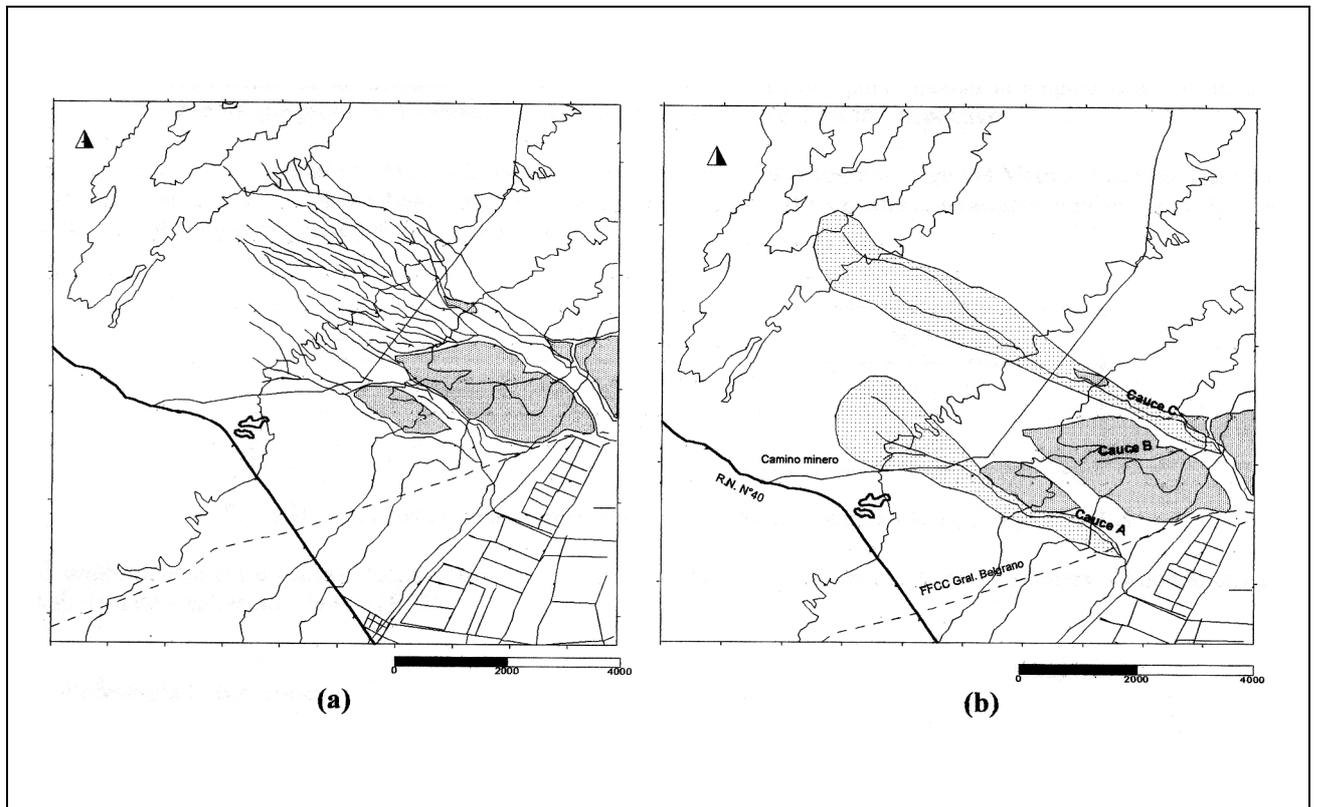


FIGURA 4: HIDROLOGÍA SUPERFICIAL - (a) CAUCES GENERALES - (b) CAUCES USADOS EN EL CÁLCULO



poco cementados, de color verdoso y rojizo oscuro, con clastos bien redondeados y composición petrográfica variada (Castro, 1985).

3.4. Cuaternario

Se distinguen depósitos de bajadas aluviales antiguas, depósitos fluviales y depósitos de travertino (Uliarte, 1977). (Figura 3)

Los depósitos de bajadas aluviales antiguas son los remanentes de las antiguas cubiertas aluvionales y se encuentran sobreyaciendo a las sedimentitas terciarias en una marcada discordancia angular. Presentan poco espesor (1 a 5 m) y su posición topográfica es elevada. Están constituidos por rodados y bloques subangulosos de calizas y pedernal en forma predominante aunque se observan clastos de riolitas y grauwacas. En el faldeo del Villicum estos sedimentos evidencian cementación por carbonato de calcio llegando a constituir conglomerados.

Los depósitos fluviales se encuentran en todos los cauces de ríos y arroyos, y constituyen la llanura aluvial y de inundación de las bajadas pedemontanas modernas. Constituidos por clastos predominantemente calcáreos subangulosos no consolidados, con fracción fina en aumento a medida que la pendiente disminuye hacia el SE. Su espesor se supone variable aunque reducido.

Los depósitos de travertino constituyen la Fm. Torrecitas (Uliarte, 1977) y se presentan en bancos subhorizontales poco potentes de color pardo amarillento. Su origen se supone hidrotermal tardío, por aguas sobresaturadas en carbonato de calcio.

3.5. Tectónica

Toda la zona se caracteriza por fallas inversas, interpretadas como corrimientos de bajo ángulo en profundidad (Baldis, 1969) y pliegues asimétricos con ejes de rumbo N-S y plano axial buzante en direcciones E y O.

La falla regional de Villicum-Ullum-Zonda posee una longitud de unos 150 km y afecta a toda la secuencia sedimentaria del área. Se trata de una falla inversa cuyo rechazo se ha estimado en varios centenares de metros. La parte centra de la Sa. del Villicum presenta un juego de fallas buzantes al E.

Hacia el E de la sierra se ha hallado evidencias de neotectónica, puesta de manifiesto por fallamientos modernos que afectan al terciario y al cuaternario, incluso al cuaternario moderno. Todas estas fallas son inversas, buzantes en general al E con ángulos de 30 a 45°.

Vinculada a estos movimientos modernos, la falla de La Laja ha sido reactivada en tiempos históricos, con un desplazamiento de 60 cm (terremoto de 1944), superponiendo rocas terciarias a depósitos no consolidados del cuaternario. Por el museo de la UNSJ pasa una falla que alinea una serie de manantiales termales, con rumbo aproximado 30° NE.

4. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

La red hidrográfica de la zona no posee ningún cauce permanente. Se trata en todos los casos de torrentes que nacen en la Sa. de Villicum y que recorren la planicie aluvial buscando las zonas bajas en dirección sudeste (Figura 4-a.)

Agua abajo del camino minero la unión de los torrentes da origen a tres vías principales de desagüe superficial que se encajonan entre las lomadas sudorientales. Tanto en los cauces como en las obras de encauzamiento y defensa aguas abajo, existe evidencia de que en épocas de crecientes se han alcanzado caudales importantes.

Con el objeto de cuantificar los caudales se ha tomado tres cauces principales (Figura 4-b). En estos cauces y en su cuenca de aporte se ha aplicado el Método Racional Generalizado (Rüble, 1963), para el cálculo del máximo derrame superficial que ellos han conducido. Este método es el de mayor aplicación en las obras viales y férreas de la región y ha sido utilizado ampliamente tanto por la Dirección Nacional de Vialidad como por las Direcciones Provinciales de Vialidad, por lo que cuenta con un antecedente empírico muy importante.

El método tiene en cuenta el área de la cuenca imbrífera, la longitud del cauce principal, la pendiente del terreno y otras características de la cuenca como vegetación, tipo de suelo y clima, además de la intensidad horaria máxima de precipitación. Para el cálculo de la precipitación horaria máxima se ha tomado una intensidad de 77 mm en 25 minutos (según el Instituto de Investigaciones Hidráulicas, UNSJ) con un período de recurrencia de 100 años.

Los tres cauces analizados son los denominados A, B y C (Figura 4-b). Los cauces A y C poseen una longitud relativa importante en relación al tamaño de la zona y se seleccionaron como representativos de la cuenca en general. El cauce B es de pequeña longitud y representa las bajadas torrenciales menores y bien encajonadas. Naturalmente existen características comunes en los tres casos, en lo que se refiere a clima, vegetación y características de la cuenca.

Se toma un coeficiente de rugosidad de cauce de 0,70, que corresponde a cauces de sección variable con escasa vegetación en las barrancas y rellenos con grava en zonas de montaña (Rüble, 1963). El coeficiente de cuenca para los casos A y C se toma en base a considerar suelos desnudos, permeables y tiempos de concentración inferiores a una hora. El valor del cauce B corresponde a características de cuenca similares pero con suelos medianamente permeables.

En la Tabla I se muestran los atributos de cada cauce utilizados para la estimación del máximo derrame superficial por el Método Racional Generalizado (M.R.G.) y los caudales determinados para la máxima crecida esperable con el intervalo de recurrencia de 100 años.

TABLA I: CAUDALES ESTIMADOS MEDIANTE EL M.R.G.

Cauce	L(longitud cuenca, Km)	M (área cuenca, Km ²)	K (rugosidad)	i (pendiente %)	H(desnivel, m)	Tc (min)	Coef. Cuenca	Q (m ³ /s)
A	6,0	195	0,70	2,2	130	20	0,16	12,5
B	1,4	49	0,70	2,5	30	2	0,32	13,0
C	7,2	330	0,70	2,0	144	50	0,16	9,0

Para contrastar la aplicación del M.R.G. se aprovechó la existencia de los puentes y alcantarillas existentes en el FCC Gral. Belgrano, inmediatamente aguas abajo de las lomadas pedemontanas del sudeste. Es de destacar que estas obras no han sido dañadas hasta ahora por ninguna avenida, desde la década de 1910 en que fueron construidas. Los cursos de aguas en el sector se encuentran encauzados y están bien definidos, lo que permite asumir una condición de flujo turbulento pero regular (uniforme) en ellos, con lo cual se puede aplicar el Método de Chezy-Manning de la circulación de agua por canales o cauces naturales, y el Método de L. L. Lischtván y V. V. Lebediev que permite calcular la profundidad de erosión en los mismos. Lógicamente en el presente caso se ha empleado una técnica de retroanálisis ya que el caudal es desconocido y constituye la incógnita buscada. El procedimiento aplicado consistió en lo siguiente:

- Reconocimiento del cauce y selección de un tramo representativo del mismo, con regularidad de trazado, ancho, bordes y rugosidad de fondo y márgenes.
- Determinación de la sección media del cauce y de la pendiente de su fondo.
- Ejecución de pozos en el cauce para observar el perfil del subálveo, los materiales que lo conforman y la máxima profundidad de socavación alcanzada por una crecida.
- Observación de las márgenes del cauce para reconocer evidencias de la altura máxima del tirante de agua en la máxima avenida aluvial ocurrida.
- Determinación del diámetro característico de los materiales del subálveo, según lo indicado por el Método de Lischtván-Lebediev (M.L.L.).
- Aplicación de la fórmula del Método de Lischtván-Lebediev para calcular la velocidad de las aguas de la crecida que produjo la socavación determinada y cálculo del caudal respectivo.

La Tabla II muestra el cálculo de los caudales de los cauces principales escogidos, según el Método Racional Generalizado y según el Método de Lischtván-Lebediev. Como es natural, el cauce B no puede contrastarse mediante el M.L.L. por no contar con obra de canalización ni encauzamiento.

TABLA II: CAUDALES CALCULADOS MEDIANTE EL MÉTODO DE LISCHTVAN-LEBEDIEV Y EL M.R.G.

Cauce	M. R. G.	M. L.L.
A	12,5 m ³ /s	11,3 m ³ /s
C	9,0 m ³ /s	9,4 m ³ /s

La concordancia entre los resultados obtenidos permiten validar la aplicación del Método Racional Generalizado al área definitiva de localización de la PTRSU.

5. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

De los depósitos sedimentarios descritos en el apartado 3, sólo tienen interés desde el punto de vista hidrogeológico los correspondientes a la llanura aluvial moderna. Estos depósitos granulares rellenan los cauces de los ríos y en general recubren toda el área de estudio y han sido calificados como potencialmente acuíferos.

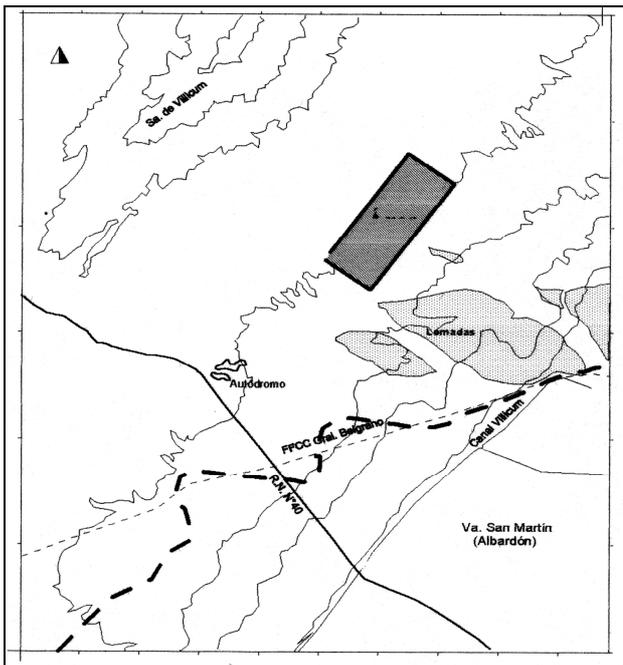
Estos sedimentos modernos limitan hacia el oeste con la Sa. de Villicum y discurren hacia el este hasta pasar en contacto lateral con la cuenca subterránea del Valle de Tulum (Figura 5), la cual está sometida a explotación intensiva. El sustrato de baja conductividad hidráulica (a efectos prácticos impermeable) está constituido por sedimentitas terciarias muy cementadas (areniscas y conglomerados). Se menciona en los antecedentes consultados (*Castro, 1985; Uliarte, 1977*) que el espesor de la tapada aluvial es relativamente pequeño. El aspecto general de la zona, la presencia de afloramientos terciarios evidentes hacen suponer que efectivamente los terrenos potencialmente acuíferos son poco potentes, probablemente menores de 10 metros.

Desde el punto de vista de la conductividad hidráulica, es esperable una gran variabilidad por presentar la formación una anisotropía evidente. Existen vías preferenciales de conductividad elevada, asociadas en general a cauces activos o abandonados con partículas de tamaño elevado y escaso contenido de finos, mientras que se han observado lentes con mayor contenido de material fino donde la permeabilidad es de esperar que sea varias veces inferior. A pesar de ello, se trata de depósitos que pueden clasificarse de medianamente permeables a impermeables.

Los ensayos de permeabilidad in situ efectuados para el presente trabajo tienen como objetivo una primera evaluación de la conductividad hidráulica vertical.

Se obtuvieron valores de entre 1,5 m/d a 1,60 m de profundidad y de 0,71 m/d a 3,50 m de profundidad dentro de un pozo a cielo abierto realizado para el estudio geotécnico. En esta calicata se encontró el terciario impermeable a 6 m de profundidad.

FIGURA 5: LÍMITE DE CUENCA EN LÍNEA DE TRAZOS (INA, 1998.) ÁREA I PRESELECCIONADA (RAYADO.)

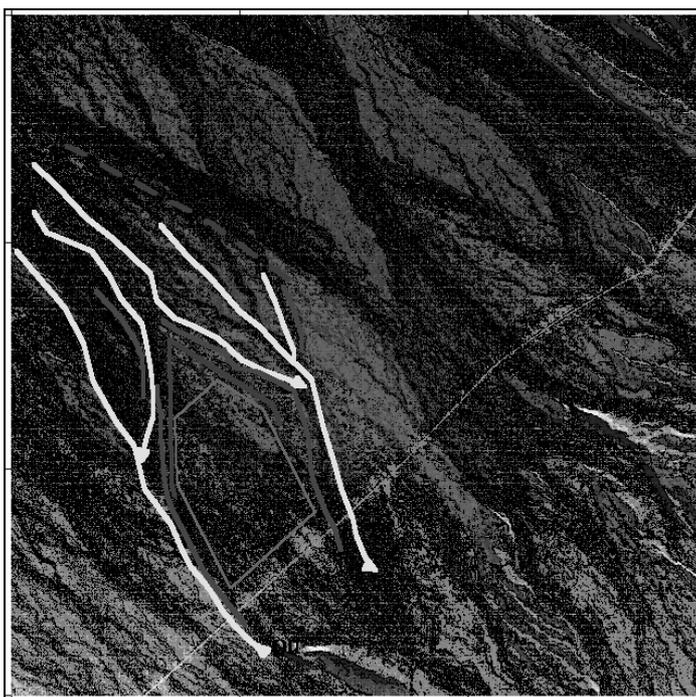


La recarga del sistema se produce por infiltración de las aguas de lluvia, mayormente por aquella que se concentra en la cuenca y es transportada por los ríos. Dada la naturaleza de la cuenca en cuanto al clima, régimen de lluvias y pendiente, los volúmenes infiltrados son relativamente pequeños, si bien sería deseable contar con datos del balance hidrometeorológico para afirmar taxativamente lo antedicho.

Por lo expuesto se puede concluir que:

- Sólo la planicie aluvial moderna es potencialmente acuífera
- Se trata de un sistema en el cual el tiempo de permanencia es muy corto, es decir que la recarga es rápidamente evacuada hacia el borde de cuenca (Figura 5).
- No se ha constatado y se considera muy improbable la presencia de volúmenes considerables de aguas subterráneas, debido a la rápida evacuación y escaso espesor de la formación. Podrían existir volúmenes poco significativos de aguas antiguas en eventuales trampas estructurales.
- La presencia de las sedimentitas terciarias en contacto con las aguas produciría una salinización de las mismas. El clima y la estacionalidad de los ciclos de ascenso y descenso de nivel pueden haber favorecido la reconcentración de sales por evaporación en zonas bajas.

FIGURA 6: ESQUEMA DE OBRAS DE DEFENSA Y ENCAUZAMIENTO PROPUESTAS SEGÚN EL CÁLCULO DE CAUDALES



- Área DEF
- Defensa Principal
- - - Defensa Secundaria
- Cauces
- Encauzamientos - QI = 20 m³/s; QII = 22,6 m³/s

6. CONCLUSIONES

En base a estos y otros aspectos se ha podido señalar la ubicación más favorable para la PTRSU dentro del Área 1 (Figura 5). Se han establecido con razonable aproximación los caudales máximos esperables para una avenida, en base a lo cual se han esquematizado las obras de defensa y canalización de aguas (Figura 6) a fin de proteger la obra.

Los valores de conductividad hidráulica de los suelos y el hecho de que las formaciones permeables estén en franco contacto con la cuenca sometida a intensa explotación, han motivado la recomendación de obras de impermeabilización de las pozas y taludes, así como la posibilidad de efectuar estudios de detalle para verificar la posibilidad de cerrar hidráulicamente las mismas directamente sobre el sustrato terciario.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CASSAN, M.

“Les essais d’eau dans la reconnaissance des sols”
(1980).

CASTRO, P.

“Aspectos Hidrogeológicos de la zona de La Laja, Departamento Albardón, Provincia de San Juan”
Universidad Nacional de San Juan (1985).

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA.

“Evaluación del estado hidrogeológico de las cuencas del Valle de Tulum, Jáchal, Ullum-Zonda y Valle Fértil”
(1986).

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA.

“Elaboración de planos isopáquicos y de isopiezas de los acuíferos del Valle de Tulum - San Juan”
(1998).

JUÁREZ BADILLO Y RICO RODRÍGUEZ.

“Mecánica de Suelos - Tomo I”
(1971).

ROCCA, J.

“Geología de los Valles de Tulum, Ullum y Zonda”
Plan Agua Subterránea - Consejo Federal de Inversiones (1970).

RÜHLE, F.

“Determinación del derrame máximo superficial en cuencas imbríferas. Desarrollo del Método Racional Generalizado”
Dirección Nacional de Vialidad (1963).

TCHOBANOGLIOUS, G.

“Gestión integral de Residuos Sólidos”,
McGraw Hill, (1996.)

TREO, C.

“Geología de la Sa. del Villicum”
Trabajo Final de Licenciatura - Universidad Nacional de San Juan - Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales
(1977).

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR - BUREAU OF RECLAMATION

“Earth Manual”
(1974).

Uliarte, A.

“Estudio geológico de las explotaciones mineras en el sector norte de la Sa. de Villicum”
Trabajo Final de Licenciatura - Universidad Nacional de San Juan - Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales
(1977).



Mapeo de plumas contaminantes en sistemas geológicos mediante georadar

Francisca, Franco Matías ^{1*} - Rinaldi, Víctor Alejandro ²

Resumen

El interés por la detección de contaminantes en los suelos se ha incrementado durante las últimas décadas debido al importante impacto ecológico de los mismos. Entre los métodos comúnmente utilizados para la detección de contaminantes orgánicos e inorgánicos se encuentran los ensayos químicos. Recientes estudios muestran que es posible, además, detectar contaminantes en el suelo, a través de mediciones geofísicas basadas en la propagación de ondas electromagnéticas. Estas ondas se propagan en los materiales que atraviesan en función de la permitividad dieléctrica compleja del mismo. La presencia de contaminantes produce cambios en la permitividad dieléctrica, lo cual modifica la propagación y reflexión de ondas electromagnéticas en el suelo. En el presente trabajo se presenta un estudio tendiente a mostrar el potencial del georadar para monitorear y mapear contaminantes en el suelo. A modo de ejemplo se presenta una aplicación del mismo para detectar el desplazamiento de contaminantes orgánicos en un prototipo de laboratorio. En este caso, se describe el sistema de medición y se analiza la aptitud del georadar para detectar contaminantes orgánicos e inorgánicos en suelos, y se describe el procedimiento de análisis para las imágenes obtenidas. Los resultados muestran que las reflexiones que se producen en la interfase entre suelos no saturados limpios y suelos contaminados son de muy baja magnitud. Sin embargo, para niveles de contaminación medios y altos, las reflexiones producidas son detectadas por el georadar. Finalmente, se concluye que el georadar proporciona información importante en estudios geológico-ambientales. Para estudios in situ de suelos contaminados, este equipo permitiría complementar a los ensayos químicos tradicionales y obtener imágenes continuas mostrando la extensión de las zonas contaminadas.

1. INTRODUCCIÓN

Los contaminantes son sustancias que se introducen en el ambiente debido a la actividad del hombre y que son perjudiciales para el mismo, alterando la calidad ambiental y poniendo en riesgo el desarrollo de la vida.

En todo proceso productivo, e industrial existen riesgos potenciales de contaminación del ambiente (aire, agua o suelo). En el caso particular del suelo, algunas de las fuentes potenciales de contaminación son: a) derrames accidentales de contaminantes, b) pérdidas en tanques de almacenamiento, válvulas o tuberías, c) lixiviado de plantas de tratamiento de residuos químicos, domiciliarios e industriales, d) infiltración de productos químicos, e) aplicación de pesticidas, etc (Fetter 1992, Kieley 1999). Las sustancias contaminantes del agua subterránea y del suelo pueden clasificarse en compuestos orgánicos e inorgánicos. Los componentes orgánicos se clasifican a su vez en aromáticos y alifáticos según contengan o no anillos de benceno en su estructura molecular. Por otro lado, entre

Entregado: 31 de Julio de 2001 ■ Aceptado: 24 de Agosto de 2001

Universidad Nacional de Córdoba, FCEyN.
Ortiz de Ocampo 4365, Villa Centenario, 5009, Córdoba, Argentina

e-mail: ffrancis@gtwing.efn.uncor.edu

1. Postdoctorado en CONICET

2. Investigador del CONICET

* Autor al que debe remitirse la correspondencia

los contaminantes inorgánicos se encuentran los cationes, aniones, y sales formando electrolitos con la fase acuosa del suelo.

Tradicionalmente, la posibilidad de detectar contaminantes en suelos se encontraba limitada a la realización de estudios mediante análisis químicos. Sin embargo, existen alternativas para ello, entre las cuales se encuentran las técnicas de evaluación biológica, los métodos ecológicos, y las técnicas de prospecciones geofísicas. En la década pasada se ha incentivado la utilización de los métodos geofísicos ya que permiten obtener propiedades del suelo en forma no invasiva y con un bajo costo. Para el estudio de sitios geológicos contaminados se han intentado utilizar técnicas de medición basadas en la propagación de ondas electromagnéticas (Mazac et al. 1990, Brewster et al. 1995, Carcione 2000).

La propagación y reflexión de ondas electromagnéticas depende de las propiedades dieléctricas del medio en el cual las ondas se propagan (Annan 1992). Las propiedades dieléctricas de los suelos dependen de la permitividad y contenido volumétrico de cada una de las fases presentes (partículas, aire, agua, contaminantes), y de la interacción entre las fases (Arulanandan y Smith 1973, Thevanayagam 1995, Rinaldi y Francisca 1999). Debido a ello, la presencia de contaminantes en el suelo modifica las propiedades dieléctricas del mismo (Darayan et al. 1998). Las diferencias entre la permitividad dieléctrica de un suelo no contaminado con otro contaminado, alientan el uso de los métodos eléctricos para la detección de contaminantes. Entre los métodos eléctricos más comúnmente utilizados se encuentran: el del potencial propio o "self-potential", la resistividad eléctrica, la polarización inducida, la reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), y el georadar o "ground penetrating radar (GPR)". La versatilidad del GPR, y la posibilidad de generar imágenes continuas del perfil de suelos estudiado en un tiempo relativamente breve, han estimulado su uso intensivo en estudios con propósitos ambientales (Baker y Monash 1991, Barber y Morey 1994, Francisca et al. 2000, Carcione 2000).

El objetivo de este trabajo es evaluar la potencial aplicación del georadar para el estudio de sitios contaminados. Se analizan las propiedades dieléctricas de suelos limpios y contaminados frecuentemente encontrados en estudios geológico-ambientales. Finalmente, se analiza la influencia que producen estratos de suelos contaminados en la reflexión de ondas electromagnéticas.

2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL GEORADAR

Reflexión y Propagación de Ondas Electromagnéticas

La propagación de ondas electromagnéticas en el suelo depende de las propiedades dieléctricas y magnéticas

del mismo. Como la mayoría de los suelos son no ferromagnéticos, en la práctica sólo se consideran los efectos producidos por la permitividad dieléctrica compleja (k^*):

$$k^* = k' - j k'' \quad (1)$$

en donde la componente real (k') representa la polarizabilidad del suelo, la imaginaria (k'') representa las pérdidas por conducción y polarización, y $j = \sqrt{-1}$. Las permitividades k^* , k' y k'' son parámetros relativos respecto de la permitividad dieléctrica del vacío $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m. La relación entre k'' y k' se denomina ángulo de pérdidas o "loss tangent" y representa la cantidad de energía que se pierde en el proceso de propagación de una onda electromagnética.

$$\tan \delta = k''/k' \quad (2)$$

Valores de $\tan \delta \gg 1$ indican que el material es muy conductivo. Materiales de comportamiento aislante o poco conductivos presentan valores de $\tan \delta \ll 1$.

Los suelos se encuentran compuestos por más de una fase (partículas, aire, agua, y contaminantes). Debido a ello, su permitividad dieléctrica compleja depende de la permitividad de cada uno de los componentes, y de la composición relativa de los mismos. Además, la interacción y distribución de fases puede también influir en las propiedades dieléctricas del suelo (Knight y Endres 1990, Rinaldi y Francisca 1999).

Cuando en una onda electromagnética que se propaga hacia el interior del terreno (z), puede asumirse que el campo eléctrico no varía respecto a las direcciones coordenadas x o y (onda plana), por lo que la solución de la ecuación que gobierna la propagación de ondas tiene la siguiente forma:

$$E(z,t) = E_0 e^{-k^* z} e^{j \omega t} \quad (3)$$

en donde t es el tiempo en [s], y E es la intensidad del campo eléctrico (normal a la dirección de propagación de la onda), $\omega = 2\pi f$ es la frecuencia angular, f es la frecuencia en [Hz], y k^* [m⁻¹] es un parámetro complejo denominado constante de propagación de ondas, y que depende de las propiedades dieléctricas del medio:

$$\gamma^* = \frac{\omega \sqrt{k^*}}{c_0} \sqrt{-1 + j \tan \delta} \quad (4)$$

en donde c_0 es la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío ($c_0 \cong 3 \times 10^8$ m/s).

Las ondas electromagnéticas mientras se propagan a través de un determinado medio sufren atenuaciones. Las posibles causas de atenuación son: a) atenuación geométrica, b) pérdidas de energía dentro del material, y c) pérdidas de energía debido a la presencia de interfases.

La atenuación geométrica produce que la amplitud de un frente de ondas esférico disminuya en forma inversamente proporcional a la distancia (ej. *Annan 1992*). *Cimadevilla (1996)* determinó experimentalmente que para frecuencias próximas al GHz, la atenuación geométrica (D_g) a distancias menores a los 4 metros, puede aproximarse mediante la siguiente relación empírica:

$$D_g = \frac{1}{1+5.5z} \quad (5)$$

La atenuación debido a la propagación de ondas dentro del material resulta:

$$D_i = e^{-\gamma z} \quad (6)$$

Cuando una onda viaja por un medio y encuentra una interfase, parte de la energía de la onda se transmite al nuevo medio, y parte se refleja. La reflexión y transmisión de ondas depende de la relación de impedancias electromagnéticas de cada uno de los medios. La impedancia electromagnética η_i [ohm] de un material "i" es un parámetro complejo y está definido por (*Von Hippel 1954*):

$$\eta_i^* = \frac{\omega \mu_0}{\gamma^*} \quad (7)$$

en donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío ($\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \text{ H/m}$).

La relación entre la amplitud de la onda incidente y la reflejada en la interfase se denomina coeficiente de reflexión (R), mientras que la relación con la amplitud de la onda transmitida se denomina coeficiente de transmisión (T). En el caso particular de una onda que incide en forma perpendicular al plano de la interfase, R y T resultan respectivamente:

$$R = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1 + \eta_2} \quad (8)$$

$$T = \frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} \quad (9)$$

Observe que tanto R como T dependen de la impedancia de los medios (η), por lo cual ambos parámetros resultan números complejos. Además, a medida que el coeficiente de reflexión es mayor, la amplitud y energía de la onda que se refleja es más alta. Por lo tanto, en estos casos, son mayores las posibilidades de que la interfase pueda ser detectada.

Principio de Detección de Contaminantes Mediante Georadar

El georadar consta de una antena transmisora y otra receptora. La primera es la que emite una onda hacia al

suelo, en la frecuencia seleccionada. Esta onda penetra en el medio en estudio, y cuando encuentra un cambio de impedancia (η) parte de la misma se refleja y es captada en la superficie por la antena receptora. En la Fig. 1 se muestra el caso de una onda que se viaja por un "medio 1", y se encuentra con un "medio 2" diferente. En la interfase 1-2, parte de la onda se refleja nuevamente hacia el "medio 1", y parte se transmite hacia el "medio 2". A partir de las ecuaciones 4 a 9 se puede demostrar que la amplitud de las ondas reflejadas en la interfase 1-2 y luego capturada por el radar en la superficie resulta:

$$E_1 = E_0 D_g D_i R_{12} \quad (10)$$

mientras que la amplitud de la onda que se transmite hacia el "medio 2" puede obtenerse a partir del coeficiente de transmisión (ecuación 9). La velocidad (v) con la cual la onda se propaga por el medio se obtiene de la relación entre la frecuencia circular ω y la componente imaginaria de la constante de propagación (γ):

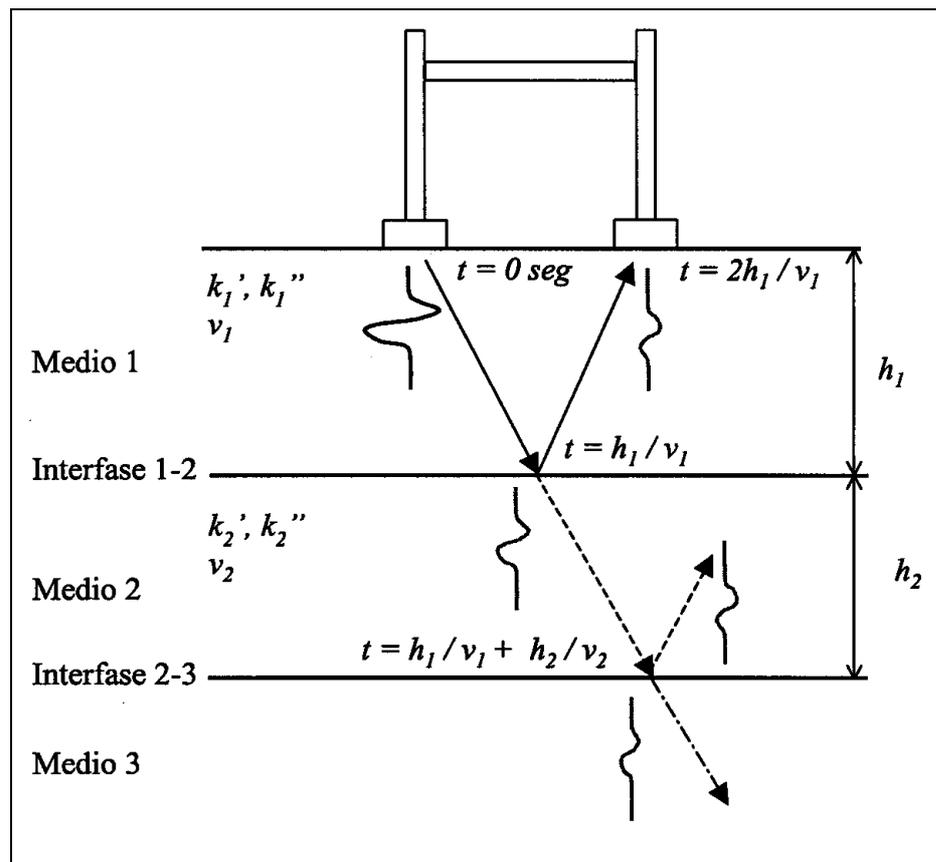
$$v = \frac{\omega}{\text{Im}(\gamma)} \quad (11)$$

Observe que a partir de las ecuaciones (7), (8) y (11) se puede demostrar que las reflexiones dependen del cambio en la velocidad de propagación de ondas en el suelo. Por lo tanto, cada vez que una onda encuentre un estrato con diferente velocidad de propagación, parte de la energía de la onda se refleja en la interfase y parte se transmite hacia el nuevo medio. A partir de la velocidad v , y con el espesor del estrato puede obtenerse el tiempo en el cual arriba el frente de ondas a cada interfase y a la superficie (Fig.1). Si se conoce el pulso que envía el georadar hacia el suelo, mediante el procedimiento descrito es posible obtener la influencia de cada una de las interfases y reconstruir las señales medidas. De esta forma, sería posible realizar un análisis inverso ajustando las señales reconstruidas a las medidas, y realizar análisis cuantitativos con el georadar (*Cimadevilla, 1996*).

Cada sustancia contaminante tiene diferentes propiedades dieléctricas, y en contacto con el suelo modifican la permitividad dieléctrica compleja del mismo. Por esta razón es posible utilizar métodos geofísicos basados en la propagación y reflexión de ondas electromagnéticas para realizar estudios geológico-ambientales.

Los fluidos orgánicos están compuestos por moléculas que tienen escasa posibilidad de orientarse en presencia de campos eléctricos, por lo que tienen generalmente valores de permitividad real bajos ($k' \sim 2$ a 8). Estos fluidos tienen muy baja capacidad de conducir corriente eléctrica, por lo que poseen permitividades imaginarias prácticamente nulas ($k'' \sim 0$). Al introducirse fluidos

FIGURA 1: REFLEXIÓN DE LAS ONDAS EMITIDAS POR EL GEORADAR



orgánicos en el suelo, se modifica la composición volumétrica de fases y se alteran las propiedades dieléctricas del mismo. A modo de ejemplo, si un orgánico ($k' \sim 2$ y $k'' = 0$) desplazara aire ($k' = 1$ y $k'' = 0$) producirá en el suelo un leve aumento en k' y prácticamente ninguna influencia en k'' . Por otro lado, si el orgánico desplazara agua ($k' = 78.5$ y $k'' \sim 1$), tendría como consecuencia una disminución importante en k' y una muy leve influencia en k'' .

En el caso de los contaminantes inorgánicos, al introducirse electrolitos en una solución acuosa, se produce un aumento en la conductividad de la misma. Esto se refleja en valores más altos de la permitividad imaginaria (k'') y del ángulo de pérdidas ($\tan\delta$). Por lo tanto, cuando se produce un derrame de contaminantes inorgánicos (ej. lixiviado en los vertederos de residuos sólidos urbanos), aumenta el contenido de sales totales y de iones, incrementándose la permitividad imaginaria del suelo. Adicionalmente, en mezclas de suelos con electrolitos aparecen fenómenos de interacción entre los iones y las cargas superficiales de las partículas de suelo. Debido a la diferencia de conductividad entre el fluido y las partículas del suelo, se observan valores de permitividades más altas que las que resultarían de la mezcla simple de fases, con valores de k' y k'' superiores al de los componentes de la mezcla. A este mecanismo se lo denomina polarización interfacial o de

Maxwell-Wagner (Arulanandan y Smith 1973, Rinaldi y Francisca 1999). El principal inconveniente que surge de la contaminación con sustancias inorgánicas, es que debido a la mayor conductividad del suelo y los más altos valores de $\tan\delta$, aumenta notablemente la atenuación de las ondas electromagnéticas. Aumentan las pérdidas de energía dentro del material (ecuación 6), y disminuye notablemente la capacidad de penetración o profundidad que puede estudiarse con el georadar (Aman 1992, Rinaldi et al. 1997, Francisca 2001). En estos casos, puede ser recomendable la utilización de otros métodos geofísicos tales como la polarización inducida o mediciones de resistividad eléctrica.

Como se mostró en los párrafos precedentes, la presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el suelo modifica k' y $\tan\delta$. Por lo tanto, mediante la propagación y reflexión de ondas electromagnéticas es posible diferenciar entre un suelo limpio y el mismo contaminado. Los límites de detección con el georadar de zonas contaminadas dependen de: a) el coeficiente de reflexión, b) la atenuación de las ondas electromagnéticas, c) la frecuencia de medición, d) las dimensiones de la zona contaminada, y e) la profundidad a la que se encuentra el estrato de suelo contaminado. Para la detección de contaminantes orgánicos en arenas, Francisca et al. (2000) mostraron que con el georadar se pueden detectar la presencia de contaminantes en

el suelo cuando se tienen niveles de contaminación medios y altos.

En la Tabla 1 se presenta el coeficiente de reflexión, a una frecuencia $f = 200$ MHz, de una onda que incide verticalmente en un estrato horizontal, en interfases típicas que pueden encontrarse en estudios ambientales. Los valores de k' y $\tan\delta$ que se presentan en la Tabla 1 fueron recopilados de *Santamarina y Fam (1997)*, y *Francisca (2001)*. Observe que los valores mostrados corresponden a interfases típicas entre dos materiales diferentes. Estos valores deben tomarse como característicos de cada tipo de suelo, y en cada estudio particular puede ser necesario realizar determinaciones experimentales para determinar valores específicos del suelo en estudio. Esto se debe a que podrían encontrarse variaciones sustanciales con las permitividades reportadas en función del contenido volumétrico, porosidad y grado de saturación del suelo considerado.

Se puede observar en la Tabla 1, que a medida que la diferencia entre las permitividades de los diferentes medios se incrementa, R aumenta. Cuando los dos materiales en la interfase presentan el mismo valor de $\tan\delta$ el coeficiente de reflexión resulta un número real. Además, para interfases entre materiales con permitividades reales similares, y valores de $\tan\delta$ diferentes, el coeficiente de reflexión toma valores distintos de cero. Este caso se presentaría en problemas de contaminación con soluciones conductivas que alteran la permitividad imaginaria k'' y en ángulo de pérdidas $\tan\delta$ del material. Los valores de R más altos se observaron en interfases entre suelos saturados con agua y el mismo suelo saturado con los contaminantes orgánicos. Contrariamente, las interfases más difíciles de detectar (valores de R más bajos) son las que se encuentran en suelos parcialmente saturados no contaminados, en contacto con el mismo suelo contaminado. En el caso de interfases entre materiales con distintos ángulos de pérdidas, a medida que $\tan\delta$ se incrementa, R toma valores más altos.

TABLA 1: PROPIEDADES DIELECTRICAS Y COEFICIENTE DE REFLEXIÓN EN INTERFASES TÍPICAS

MEDIO 1	k'	$\tan\delta$	MEDIO 2	k'	$\tan\delta$	R^*
Aire	1	0	Arena-aire-agua	20.0	0.02	$-0.64 + 0.003j$
Arena-aire-agua	20.0	0.02	Arena-agua	38.9	0.02	-0.17
Arena-agua	38.9	0.02	Limo-agua-aire	40.0	1.25	$-0.13 + 0.219j$
Arena-agua	38.9	0.02	Caolinita-agua	45.0	0.09	$-0.04 + 0.017j$
Limo-agua	60.0	1.00	Caolinita-agua	45.0	0.09	$0.16 - 0.171j$
Arena-agua	38.9	0.02	Arena-aceite de parafina	3.2	0.02	0.55
Arena-aire-agua	20.0	0.02	Arena-aceite de parafina	3.2	0.02	0.43
Limo-agua	60.0	1.00	Limo-aceite de parafina	4.5	0.02	$0.64 - 0.116j$
Limo-aire-agua	40.0	1.25	Limo-aire-aceite de parafina	3.5	0.02	$0.64 - 0.134j$
Caolinita-aire-agua	23.0	0.17	Caolinita-aire-benceno	4.5	0.03	$0.39 - 0.029j$
Caolinita-aire-agua	23.0	0.17	Caolinita-benceno-agua	16.0	0.13	$0.09 - 0.01j$
Bentonita-aire-agua	55	1.09	Bentonita-benceno-agua	30.0	1.50	$0.1 + 0.038j$
Limo-agua-aire	40.0	1.25	Limo-aire-electrolito 1	40.0	2.50	$-0.13 + 0.072j$
Limo-agua-aire	40.0	1.25	Limo-aire-electrolito 2	40.0	4.00	$-0.235 + 0.102j$

(Datos a una frecuencia $f = 200$ MHz, recopilados de *Santamarina y Fam 1997*, *Francisca 2001*).

3. APLICACIÓN DEL GEORADAR PARA EL MAPEO DE SITIOS CONTAMINADOS

Diseño Experimental y Equipamiento

En este estudio se utilizó un georadar fabricado por la firma MALÁ GeoScience denominado comercialmente como RAMAC/GPR (Fig. 2). La calibración y manejo del equipo se realiza mediante un software especializado provisto por el fabricante. Para la calibración del mismo se debe seleccionar el tiempo total del registro, la frecuencia

de muestreo, y el número de trazas que se promediarán. La frecuencia central de las antenas utilizadas es de 1 GHz. La amplitud de la onda que se emite es de 370V en la frecuencia seleccionada. La separación entre la antena emisora y la receptora es de 11,0 cm, y ambas se encontraban en un único receptáculo. En cada punto de medición se tomaron 256 señales, las cuales fueron promediadas y almacenadas previa medición del punto siguiente. Las imágenes de radar se obtienen mediante la acumulación de señales correspondientes a cada una de las sucesivas posiciones de medición.

FIGURA 2: DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN



Se realizaron mediciones con el georadar en un recipiente traslucido de 30 cm de altura, 22 cm de profundidad, y 80 cm de largo, el cual se encontraba lleno de arena sílficea (Fig. 2). El perfil vertical de suelos estaba conformado por 24.5 cm de arena húmeda no saturada ($w\% = 6$, $\gamma_d = 14.7 \text{ kN/m}^3$) y por debajo de éste 4.5 cm de arena saturada ($w\% = 30.2$, $\gamma_d = 14.7 \text{ kN/m}^3$). Con el georadar se obtuvieron imágenes del perfil de suelos descrito, antes y después de que se derramara en la superficie del mismo volúmenes conocidos de kerosene coloreado.

Descripción y Análisis de los Resultados

En la Fig. 3 se presenta la imagen obtenida con el georadar previo al derrame de kerosene (Francisca y Rinaldi 2001). En la misma pueden observarse las reflexiones producidas en cada una de las interfaces. Las mayores reflexiones se produjeron en las interfaces entre el aire y la superficie de la arena, y en el fondo de la celda. En la interfase entre la arena no saturada y la arena saturada también se obtuvo una clara reflexión pero de menor magnitud. Esto se debe a que en este caso el coeficiente de reflexión

complejo resulta inferior que en el caso de la interfase entre el aire y la arena-aire-agua (Tabla 1).

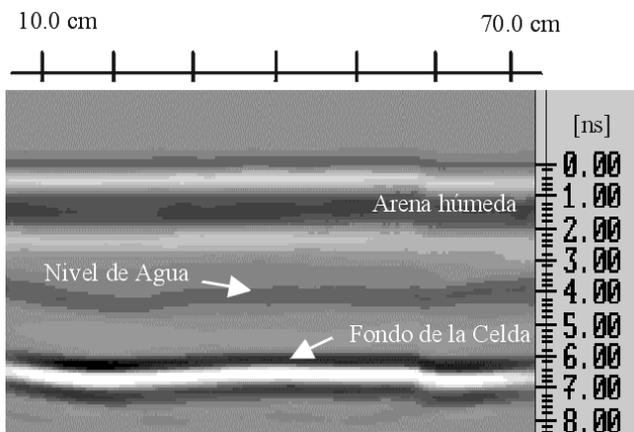
Luego de monitorear con el georadar el estado inicial de la celda llena con arena (Fig.3), se procedió a derramar kerosene en la superficie de la misma. El fluido se introdujo en el suelo en una sección ubicada a las 2/3 partes de la longitud de la celda. El kerosene fue introducido de a 1 litro cada 3 horas. Luego de que se derramaba cada litro de kerosene se midió mediante un piezometro la presión de poros en la sección inferior de la celda y la profundidad de la interfase entre el suelo limpio y el contaminado. Esto último se realizó visualizando, a través de las paredes de la celda, la posición del kerosene coloreado. En la Tabla 2 se presenta la presión de poros, y el espesor del estrato en donde se posiciona el kerosene, a medida que se fue derramando el contaminante. Los datos presentados en la Tabla 2 muestran que por cada litro de kerosene derramado se contamina un espesor medio de estrato de 1.8 cm. Por lo tanto, asumiendo que el contaminante reemplaza al aire en forma completa, el 87% de la fase fluida en los poros de la arena esta compuesta por el kerosene introducido.

TABLA 2: PRESIÓN DE POROS Y ESPESOR DEL ESTRATO CONTAMINADO LUEGO DEL DERRAME DE KEROSENE

Kerosene derramado [lts]	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Presión de poros en el fondo de la celda [cm]	4.5	6.0	7.2	8.4	9.8	11.3	12.6	13.6	14.9
Espesor del estrato contaminado [cm]	0	2.35	3.7	5.75	7.95	9.55	11.0	12.8	14.2

En las Figs. 4a y 4b se presentan las imágenes obtenidas con el georadar después de derramar 4 y 8 litros de kerosene respectivamente. En ambos casos es posible identificar una nueva reflexión producida por el efecto del kerosene. Esta reflexión se produce en una nueva interfase generada entre la arena - aire - agua y la arena - kerosene - agua. Es importante destacar que a través de las imágenes mostradas (Fig.4) no se puede identificar la posición en que fue derramado el kerosene. Asimismo, a través de la pared de vidrio de la celda (Fig. 2), se pudo constatar que en el estrato de arena parcialmente saturada, permanece atrapado parte del contaminante en el sector donde el kerosene fue derramado. Sin embargo, la presencia del mismo no produjo ningún cambio significativo en las imágenes de radar. Esto se debe a que el nivel de contaminación es muy bajo, con muy pequeños cambios de permitividad dieléctrica. En este caso, el coeficiente de reflexión resulta muy bajo y la presencia del fluido orgánico no es detectable con el georadar. *Francisca et al. (2000)* determinaron que para que las reflexiones en estratos de arena contaminada con orgánicos sean significativas, es necesario que el 30% o más del fluido de los poros del suelo este compuesto por el contaminante orgánico.

FIGURA 3: RADARGRAMA DEL SUELO LIMPIO



En la Fig. 5 se presentan las ondas electromagnéticas capturadas por la antena receptora en la sección en donde se derramó el kerosene para cuando se introdujeron 2, 4, 6, y 8 litros de contaminante. En la misma Fig. 5 se presenta como comparación la señal inicial obtenida previo al derrame del contaminante. Observe que en las señales registradas es posible identificar un nuevo pico que aparece entre los 22 y 24 ns y que se produce en la superficie del estrato donde se posicionó el contaminante. Observe que el pico de reflexión producido por el kerosene resultó muy poco sensible al contenido de orgánico introducido. Sin embargo, se observa una leve tendencia que muestra un aumento de la magnitud de la reflexión a medida que más kerosene se introduce en la muestra.

FIGURA 4: RADARGRAMAS AL DERRAMAR 4 (a) Y 8 (b) LITROS DE KEROSENE

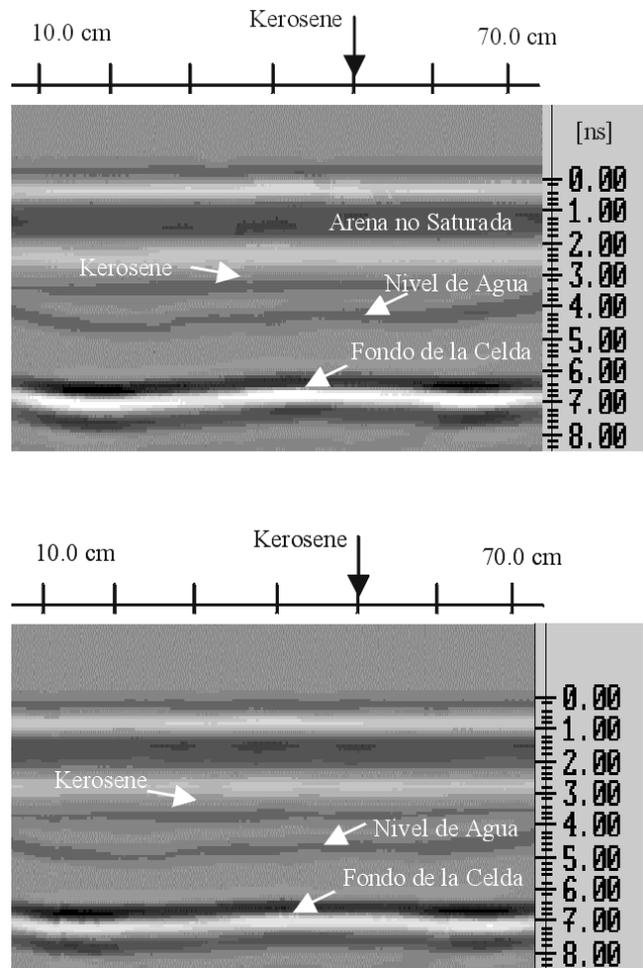
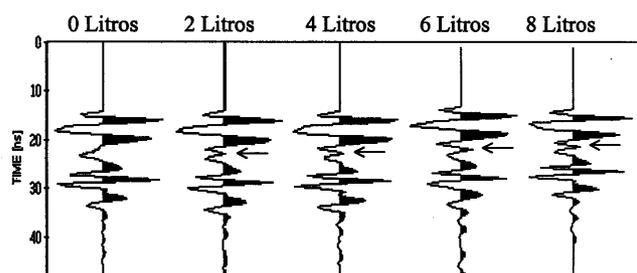


FIGURA 5: SEÑALES TÍPICAS REGISTRADAS



Análisis de las Reflexiones Capturadas por Georadar

En la Fig. 6 se muestra la influencia del coeficiente de reflexión en las reflexiones capturadas por el georadar. Para ello se realizaron simulaciones de la propagación y reflexión de ondas electromagnéticas. Por simplicidad se consideró interfaces entre materiales con similares valores para el ángulo de pérdidas $\tan\delta$, por lo cual el coeficiente de reflexión presenta componentes imaginarias nulas.

Observe que a medida que el valor absoluto del coeficiente de reflexión es mayor, las amplitudes de las reflexiones son más importantes. En los casos en que R se aproxima a cero, lo cual se produce cuando los cambios en las propiedades dieléctricas de los materiales son muy pequeños, las reflexiones producidas en la interfase son muy difíciles de detectar. Observe además, en los casos en que el coeficiente de reflexión adopta valores negativos, se produce un cambio de fase en las reflexiones producidas en la interfase. El signo asociado al coeficiente de reflexión permite diferenciar en que casos una onda electromagnética encuentra un material con una permitividad dieléctrica más alta y en que casos un material con una permitividad menor.

En la Fig. 7 se presentan simulaciones de propagación y reflexión de ondas en un perfil típico de suelos antes y después de que se produjera un derrame de contaminantes. En la misma Fig. 7 se muestra como es el procedimiento de reconstrucción de las señales, con las reflexiones producidas en cada una de las interfases. La amplitud, fase y posición de cada reflexión se obtuvo mediante el procedimiento descrito en párrafos anteriores. El perfil de suelos simulado consiste en un estrato de arena húmeda de 1 metro de espesor, a 1.0 metros de profundidad se encuentra el nivel freático, y a 1.5 metros de profundidad un estrato de suelos limosos. Se simula la pérdida en una tubería de un contaminante orgánico menos denso que el agua, el cual se deposita en su posición de equilibrio por encima del nivel freático. Se pueden observar las ondas electromagnéticas reconstruidas, con las reflexiones que se producen en cada una de las interfases, de acuerdo a las

propiedades dieléctricas de los diferentes estratos. Observe que cuando se produce el derrame del contaminante, en el estrato de arena húmeda contaminada se genera una nueva reflexión. La amplitud de la onda reflejada es baja debido al escaso contraste entre la permitividad dieléctrica de la arena limpia y la arena contaminada. Sin embargo, en la interfase se produce una reflexión que podría ser detectada con el georadar.

Como se observa en la Fig. 7, mediante el georadar es posible monitorear el desplazamiento de contaminantes en suelos. Con este equipo se pueden diferenciar sectores relativamente homogéneos y detectar anomalías, pero no se puede conocer con certeza cuáles son las causas que producen las reflexiones. En estudios geológico-ambientales es necesario contar con información adicional de perforaciones, litología del lugar y ensayos químicos que indiquen la presencia de contaminantes. A partir de esta información, y con las imágenes continuas obtenidas con el georadar se pueden mapear los contaminantes en el suelo mostrando la extensión de las zonas contaminadas.

Para el caso de la contaminación con sustancias inorgánicas, al modificarse principalmente la componente imaginaria de la permitividad, la principal influencia que se observa en el caso de las prospecciones con radar es la disminución de la profundidad de penetración de las ondas. Esto se debe a que al incrementar k'' y $\tan\delta$, las ondas enviadas por el georadar sufren un amortiguamiento mucho mayor, limitando la profundidad de penetración en el medio.

FIGURA 6: SIMULACIÓN DE LAS REFLEXIONES

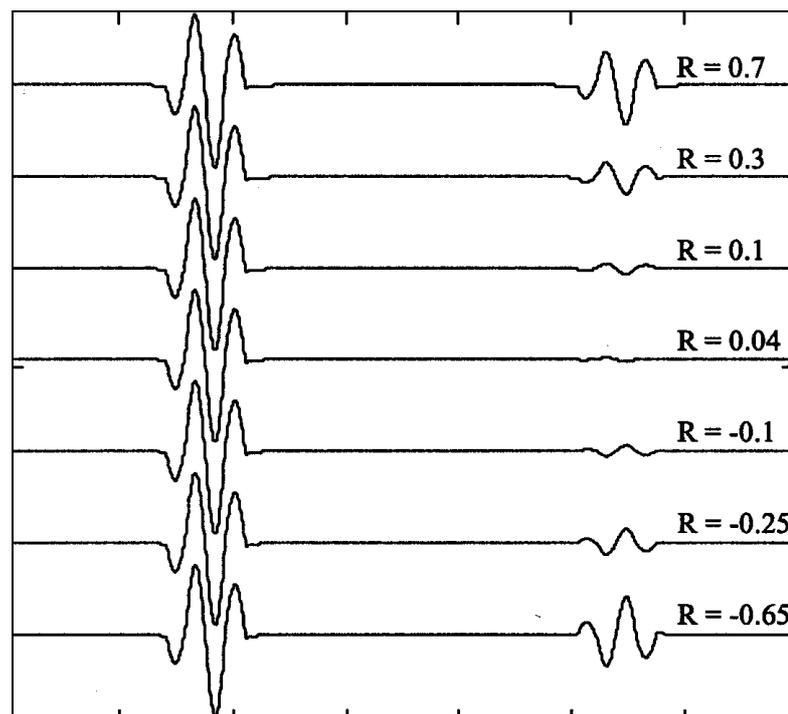
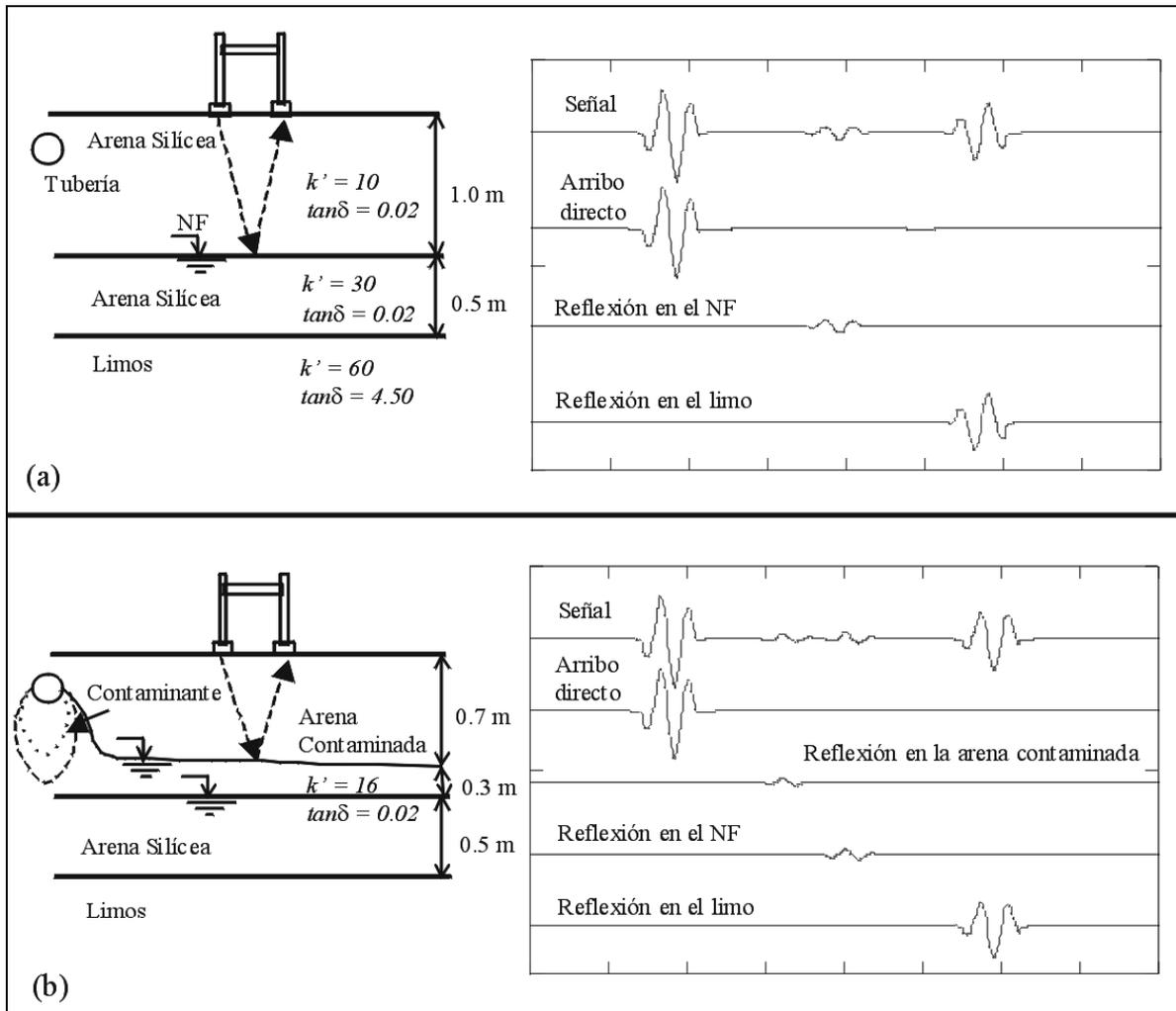


FIGURA 7: ANÁLISIS DE LAS REFLEXIONES EN INTERFASES LIMPIAS Y CONTAMINADAS



4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una descripción del principio de funcionamiento del georadar para el mapeo de sitios contaminados. Se analizó la propagación y reflexión de ondas electromagnéticas, y se evaluó la reflexión de ondas en estratos geológicos compuestos por suelos limpios y contaminados. Las principales conclusiones del presente estudio pueden resumirse de la siguiente manera:

- La permitividad dieléctrica de los suelos depende de las fases presenten en el mismo. Debido a ello, la presencia de contaminantes orgánicos o inorgánicos modifican k' y $\tan\delta$ del suelo.
- Cuando una onda electromagnética propagándose por el suelo encuentra un cambio de material, parte de la energía de la misma se refleja en la interfase y parte se transmite al nuevo medio. Cuando los cambios en las propiedades dieléctricas son mayores, mayor es el coeficiente de reflexión en la interfase, y son más altas las posibilidades de detectar la interfase con el georadar.
- Mediante el análisis de las reflexiones capturadas con el radar es posible identificar la presencia de interfaces, y cambios en k' y $\tan\delta$ del suelo. Las variaciones en el coeficiente de reflexión R (Tabla 1) entre interfaces encontradas con frecuencia en estudios geológico-ambientales, demuestran la potencial aplicación del georadar para detectar contaminantes orgánicos e inorgánicos en suelos.
- El análisis de la amplitud y fase de cada una de las reflexiones permite identificar la naturaleza y propiedades del medio en el cual se reflejan las ondas capturadas por el georadar.
- En estudios geológico-ambientales, el georadar permite identificar sectores contaminados. Las imágenes obtenidas servirían de complemento para los ensayos químicos que indiquen la presencia de contaminantes, obteniendo información continua y mostrando la extensión de las zonas contaminadas.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ANNAN P., 1992.
Ground Penetrating Radar Workshop Notes.
Sensors & Software Inc. Ontario.
- ARULANANDAN K. Y SMITH S .S., 1973.
Electrical Dispersion in Relation to Soil Structure. J. of the Soil Mechanics and Foundation Division,
ASCE, Vol. 99: 1113-1133.
- BARBER W.B. Y MOREY R., 1994.
Radar Detection of thin Layers of Hydrocarbon Contamination.
GPR'94 Proceeding of the Fifth International Conference on Ground Penetrating Radar Volume III: 1215-1228.
- BAKER P.L. Y MONASH U., 1991.
Fluid, Lithology, Geometry, and Permeability Information Form Ground Penetrating Radar for Some Petroleum Industry Applications.
Society of Petroleum Engineers SPE 22976: 277-287.
- BREWSTER M.L., ANNAN A.P., GREENHOUSE J.P., KUEPER B.H., OLHOEF G.R., REDMAN J.D. Y SANDER K.A., 1995.
Observed Migration of Controlled DNAPL Release by Geophysical Methods.
Ground Water Vol. 3 N° 6: 977-987.
- CARCIONE J.M., MARCAK H., SERIANI G. Y PADOAN G., 2000.
GPR Modeling Study in a Contaminated Area of Krzywa Air Base (Poland).
Geophysics Vol. 65 N° 2: 521-525.
- CIMADEVILLA, 1996.
Prospección Geofísica de Alta Resolución Mediante Georadar Aplicación a Obras Civiles.
CEDEX Laboratorio de Geotecnia 198 pp. Madrid.
- DARAYAN S. LIU C. SHEN L. C. Y SHATTHUCK, 1998.
Measurement of Electrical Properties of Contaminated Soil.
Geophysical Prospecting Vol. 46: 477-488.
- FETTER, 1992.
Contaminant Hydrogeology.
Prentice Hall, 500 pp. New Jersey.
- FRANCISCA F.M., 2001.
Evaluación de los Suelos Contaminados con Fluidos Orgánicos Mediante Ondas Electromagnéticas.
FCEfyN, UNC Tesis Doctoral, 285 pp. Córdoba.
- FRANCISCA F.M. Y RINALDI V.A., 2001.
The Potential Application of the GPR to Detect Organic Contaminants in Sand.
XVth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul.
- FRANCISCA F.M., RINALDI V.A. Y SANTAMARINA J.C., 2000.
Detección de Hidrocarburos Mediante Georadar.
GeoBa 2000 Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería en Fundaciones: 71-80.
- KIELY 1999.
Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión.
McGraw Gill, 1331pp. Madrid.
- KNIGH Y ENDRES, 1990.
A New Concept in Modeling the Dielectric Response of Sandstones: Defining a Wetted and Bulk Water System.
Geophysics Vol. 55 N° 5: 586-594.
- MAZAC O., BENES L., LLANDA I., Y MASKOVA A., 1990.
Determination of the Extent of Oil Contamination in Groundwater by Geophysical Methods.
Investigation in Geophysics N° 5 Geotechnical and Environmental Geophysics Vol III: 107-112.

RINALDI V.A., REDOLFI E. Y SANTAMARINA J.C., 1997.

Propiedades Dieléctricas del Loess y su Influencia en las Mediciones con Georadar.
Encuentro de Geotécnicos Argentinos GT'97: IV.7.1 a IV.7.16.

RINALDI V.A. Y FRANCISCA F.M., 1999.

Impedance Analysis of Soil Dielectric Dispersion (1 MHz to 1 GHz).
ASCE, Journal of Geotechnical Engineering Vol. 2: 111-121.

SANTAMARINA J. C. Y FAM M., 1997.

Dielectric Permittivity of Soils Mixed with Organic and Inorganic Fluids (0.02 GHz to 1.30 GHz).
Journal of Environmental & Engineering Geophysics Vol. 2 No 1: 37-51.

THEVANAYAGAM S., 1995.

Frequency-Domain Analysis of Electrical Dispersion of Soils. J. Geotechnical Engineering
ASCE 121 No 8: 618-628.

VON HIPPEL, 1954.

Dielectric Materials and Applications.
The Technology Press of MIT. Boston



Caracterización hidrogeomorfológica y análisis de crecidas de la cuenca del cañadón de La Quinta

Comodoro Rivadavia. Chubut

Hirtz, Néstor - Blachakis, Andrés

Resumen

El presente trabajo tiene por objeto efectuar una caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del arroyo La Quinta, que se desarrolla hacia el oeste de la ciudad de Comodoro Rivadavia.

Durante tormentas importantes la descarga hídrica concentrada proveniente de dicho cañadón provoca desbordes del canal evacuador, fuertes escorrentías y anegamiento de un importante sector de la urbanización.

En base al análisis de estas crecidas, particularmente la acontecida en abril de 1998, se brindan algunas pautas para el manejo hídrico de la cuenca tendientes al control de la escorrentía durante estos eventos climáticos excepcionales.

1. INTRODUCCIÓN

El cañadón del Arroyo La Quinta, se inicia en la meseta o "pampa" del Castillo, ubicada al oeste de la urbanización, a 700 metros de altitud y se desarrolla conformando una estrecha y profunda depresión de 22 Km. de longitud, flanqueada por los faldeos de cerros de pendientes moderadas a altas, labradas por la erosión hídrica. Ingresa al área urbanizada, por el centro del Barrio Moure y luego de atravesarla mediante un tramo canalizado y entubado desagua en el mar.

La elevada pendiente de las márgenes hace que el flujo por las cárcavas y afluentes de segundo orden alcance rápidamente el cauce principal que circula subparalelo al eje del cañadón, por donde desciende el caudal colectado hacia la urbanización en forma más atenuada debido a la

menor pendiente e importante extensión del mismo.

El fuerte gradiente hidráulico en los tributarios antes mencionados propicia una importante erosión hídrica sobre los sedimentos sueltos que se ven escasamente protegidos por una cubierta vegetal arbustiva con un grado de cobertura medio a bajo.

Las partículas erosionadas (con fracciones dominantes entre arena fina y arcilla) se depositan a partir del quiebre superior de pendiente (por debajo de los taludes escarpados, sobre elevados) conformando el depósito de coluvio o manto coluvial.

Sus cauces son de régimen temporario, estacional. La mayor parte del tiempo permanecen secos, mostrando arroyadas solo en las avenidas provocadas por precipitaciones importantes, en el período de otoño e invierno. En dicho caso, los caudales pueden llegar a ser torrenciales durante un corto lapso de tiempo. El impacto más negativo se localiza a partir del punto de síntesis de la cuenca, donde se concentra la descarga, al atravesar la urbanización.

Entregado: 17 de Setiembre de 2001 ■ Aceptado: 28 de Setiembre de 2001

Universidad Nac. de la Patagonia, S. J. Bosco. Fac. Cs. Naturales.
Cát. Geología Aplicada. Ciudad Universitaria
(9000) Comodoro Rivadavia. Chubut. Tel/fax: (0297) 4559615/16.
e-mail: nhirtz@unpata.edu.ar

2. CLIMA

El clima es árido a semiárido, frío y seco con precipitaciones promedio del orden de 245 mm para el lustro 1940/90, con fuertes variaciones, que van de mínimos anuales de 120 mm a máximos de 450 mm. El período anual de máxima aridez se extiende de septiembre a febrero. En otoño e invierno las precipitaciones son más abundantes.

Presenta como rasgo característico sus fuertes y persistentes vientos provenientes del oeste, lo cual hizo que la ciudad se desarrollara en los sectores bajos y abrigados, ascendiendo por las faldas de los cerros y los cañadones a medida que la demanda de espacio resultaba más acuciante.

La velocidad media del viento se encuentran entre 30 y 40 km/h, con máximos durante temporales (que suelen prolongarse varios días), de más de 150 km./h. En consecuencia se tiene una baja humedad ambiente promedio y una altísima evapotranspiración.

Las temperaturas son en general bajas, con una media anual de 12,8 °C, y una importante amplitud térmica en los registros anuales absolutos de 40 a 45 grados (-6 en invierno a 37 en verano). Las mínimas se registran en los meses de junio y julio, donde son habituales las heladas. También se registran esporádicas nevadas en el período de mayo a agosto.

En este contexto, la consecuencia más impactante del clima sobre el ambiente es la desertificación y los procesos dominantes son la erosión eólica generalizada, hídrica por escorrentía sobre faldeos y cañadones, aluvionamiento en lluvias intensas y salinización en bajos de drenaje restringido. Las lluvias suelen ser torrenciales, con alto poder erosivo, debido a la escasa cubierta vegetal de carácter arbustivo.

3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA

El drenaje del área estudiada está dominada por los cañadones de La Quinta y Azul, de rumbo este-oeste, que descargan sus aguas hacia el mar a través del sector sur de la urbanización. En la figura 1 se puede apreciar la ubicación de ambos.

El Cañadón Azul, con 10 Km. de extensión y 3 Km. de ancho, presenta severos procesos de saturación del terreno, niveles freáticos cercanos a la superficie y elevado tenor salino en el sector este, definido como bajo semicerrado. Esta problemática fue tratada en forma particularizada en dos publicaciones previas (*Grizinić 2000, Hirtz 2000*) y dos informes inéditos para el Municipio de Comodoro Rivadavia (*Grizinić, Hirtz 1996, 1997*).

En la presente entrega se efectúa una caracterización general de ambos, desarrollando en forma particularizada la problemática de las crecidas sobre el cañadón de La Quinta.

Las sedimentitas de la Formación Patagonia o Chenuque (*Bellosi 1990*) conforman los núcleos de lomadas y serranías que se comportan como interfluvios y áreas positivas en general. Son predominantemente arcilitas. Los bancos de arenisca ubicados en el tramo medio y superior de los faldeos, sobre ambas márgenes del valle protegen a los sedimentos subyacentes, debido a su mayor compacidad relativa, conformando terrazas estructurales que inclinan suavemente hacia el Sudeste.

Los depósitos son de origen marino y están ampliamente desarrollados en la región, con buena continuidad areal en su conjunto.

El origen marino de estos materiales es de significativo interés a la hora de analizar las causales de la salinización de las aguas subterráneas, que se produce por el progresivo lavado de los sulfatos, cloruros y otras sales minoritarias, provocado por las aguas circulantes, en su recorrido a través de los sedimentos.

El paisaje geológico se completa con depósitos modernos, de acarreo fluvial, eólicos y de remoción en masa que cubren en un elevado porcentaje a los afloramientos rocosos.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS GEOFORMAS

4.1. Faldeo de pendiente elevada

Conforma la franja sobreelevada del faldeo, generalmente estrecha, con pendientes pronunciadas, que desciende desde los relictos de terrazas estructurales superiores. Su mayor desarrollo se localiza en el sector oeste, como se aprecia en el mapa de la figura 1.

Geológicamente se compone predominantemente de facies de arcilitas de la Formación Patagonia, que se encuentran expuestas o subaflorantes, cubiertas por una delgada cubierta de detritos de faldeo y coluvio, con incorporación de arenas eólicas en sectores protegidos de la erosión de los fuertes vientos del oeste. Los materiales sueltos y la roca somera meteorizada se encuentra sujeta a procesos de inestabilidad de laderas: remoción en masa y erosión hídrica. Debido a ello y a lo riguroso del clima, se desarrolla en forma parcial una cubierta vegetal arbustiva, de baja densidad, fijada a este sustrato inestable.

A medida que se desciende por el faldeo, el espesor del regolito y el coluvio aumentan su espesor, pasando, mediante un quiebre importante de pendiente, al tramo inferior de la ladera, con inclinaciones moderadas a bajas.

Componen geoformas relictuales, elongadas en dirección este - oeste conformando, junto con las terrazas estructurales, los flancos de los cañadones. El cañadón Azul, ubicado al sur, desemboca en el bajo salinizado de los barrios Niacó y Juan XXIII y el cañadón de La Quinta, que recibe afluentes del faldeo norte, desemboca, luego de atravesar

FIGURA Nº 1: MAPA GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO CAÑADÓN AZUL Y CAÑADÓN DE LA QUINTA

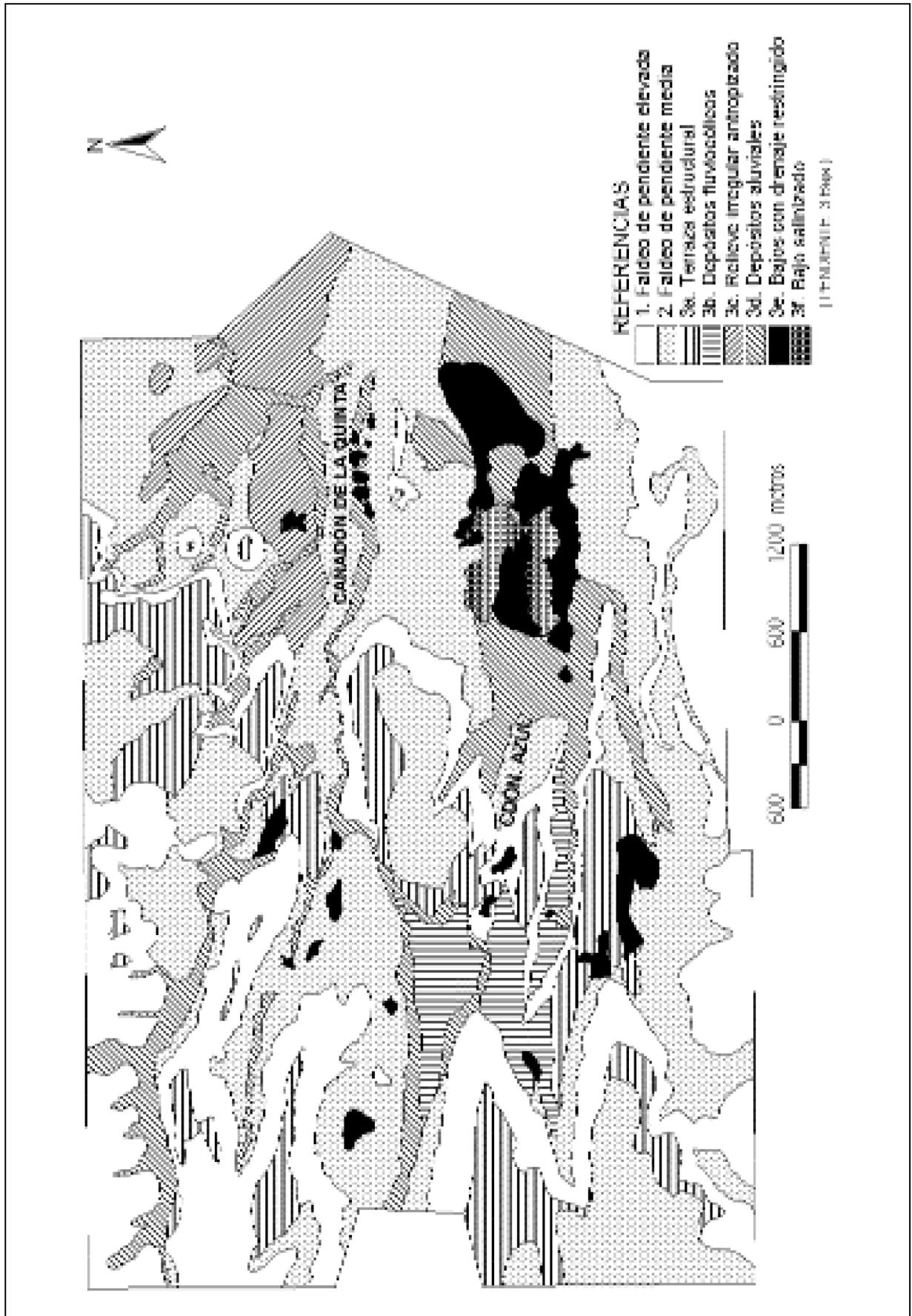
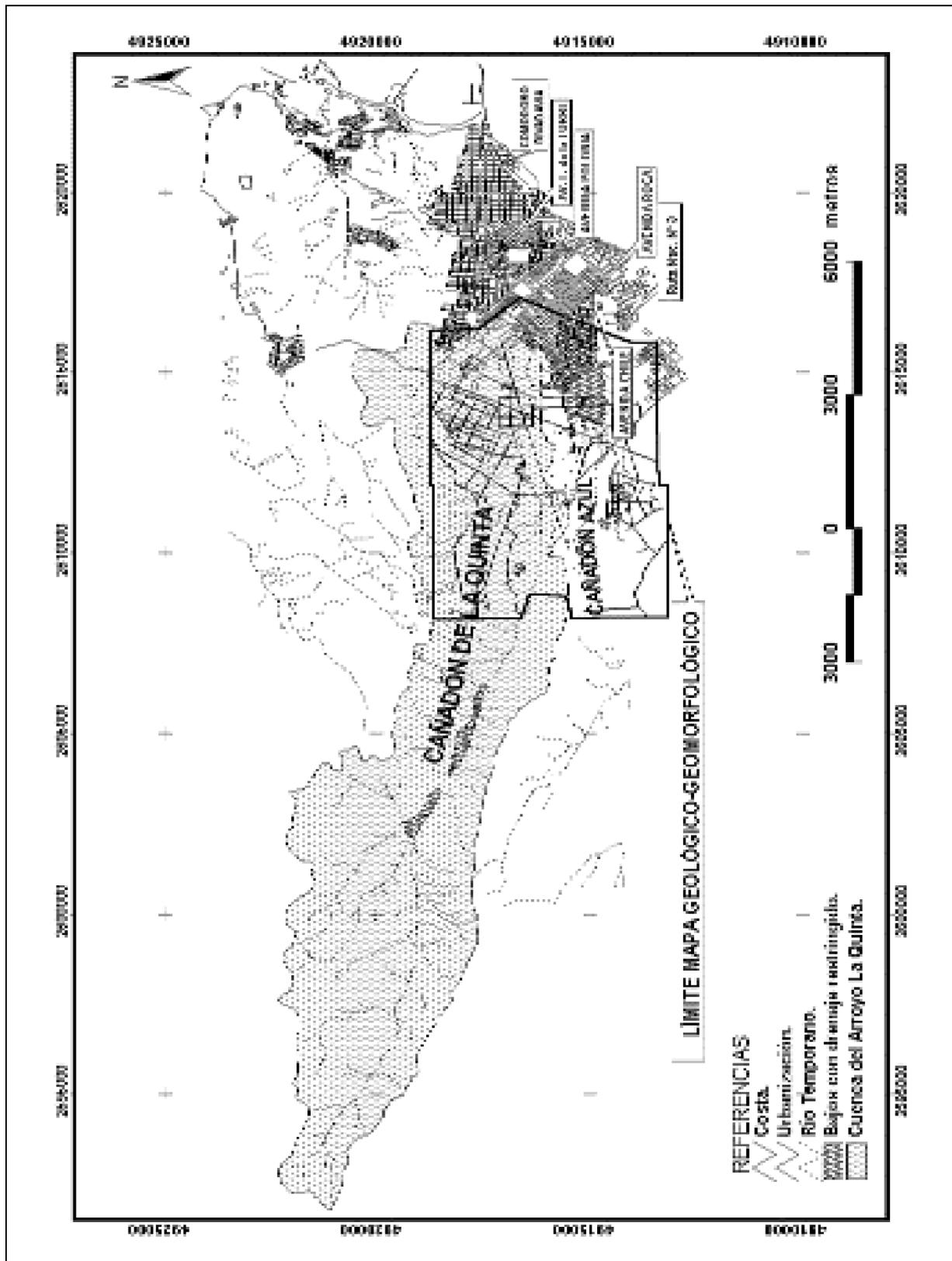


FIGURA N° 2 : MAPA HIDROLÓGICO CAÑADÓN DE LA QUINTA



un estrechamiento natural, en el barrio Moure donde se inicia su canalización por la avenida Roca, hacia el mar.

Desde el punto de vista de la hidrología superficial se desarrollan las primeras cárcavas o tributarios de orden 1, sujetos a una intensa actividad erosiva durante las tormentas, e hidrogeológicamente constituyen sectores que pueden interceptar topográficamente niveles someros de circulación de aguas subterráneas (dentro de las coquinas y areniscas que conforman los niveles de terraza) en períodos de importante recarga, provocando su aparición en superficie a modo de "lloraderos" o manchas de humedad que se insumen rápidamente hacia niveles inferiores.

4.2. Faldeo de pendiente media

Corresponde a áreas semiplanas, con algunas ondulaciones, labradas por la erosión. La roca se encuentra cubierta por coluvio de granulometría fina (arenas finas, limos y arcillas), con espesores variables, superiores en general a un metro. Se desarrollan por debajo del quiebre de pendiente que establece el límite con el faldeo sobreelevado.

Fueron utilizados en determinados sectores para ocupación humana (caminos, barrios, quintas y cordón forestal), mediante obras correctivas de desmonte, nivelación y canalización.

Durante períodos lluviosos estos sectores se comportan como niveles locales de recarga, y pueden ayudar mediante su infiltración, al lavado lento de los suelos incorporando sales en su recorrido y conduciéndolas a zonas más bajas. A ello se suma la insumisión por acción antrópica, (fundamentalmente pérdidas en las líneas y riego excesivo), que en sectores específicos, como el cordón forestal han evidenciado un fuerte impacto por barrido de sales hacia el sector bajo del cañadón Azul.

Descendiendo topográficamente, pasan a depósitos de fondo de valle, a través de un quiebre de pendiente, más suave que el antes mencionado.

4.3. Geoformas con pendiente baja

4.3.a. Terraza estructural

Son superficies planas a levemente onduladas con suave buzamiento regional, compuestas por niveles de areniscas competentes coronadas por un banco resistente de coquina, pertenecientes a la Formación Patagonia, que se preservan por su mayor resistencia a la erosión y a procesos de remoción, protegiendo los estratos infrayacentes. El más desarrollado, localizado a mitad del faldeo sur del Cerro Chenque, entre los 100 y 120 m s.n.m., presenta afloramientos aislados, de escasa extensión, como se aprecia en el mapa de la figura 1.

4.3.b. Depósitos Fluvioeólicos

Los sedimentos eólicos se encuentran ampliamente distribuidos en la mayoría de los sedimentos modernos dada la persistencia en el tiempo e intensidad del agente de transporte en la región, no obstante, dentro del área de trabajo se le asigna únicamente un origen fluvioeólico estricto a depósitos de arenas finas con relieve monticular u ondulado, generados al abrigo de los cerros, en el sector oeste del cañadón Azul.

4.3.c. Relieve irregular, antropizado

Como se puede apreciar en la figura 1, esta geoforma se encuentra mayormente limitada por la unidad 2 (talud inferior), antes descripta, pero ha sido diferenciada pues presenta un nivel de complejidad adicional debido a que posee una superficie irregular, modelada fundamentalmente por erosión fluvial localizada, que ha provocado la disección del área. La urbanización sobrepuesta ha incrementado la restricción del drenaje superficial y subsuperficial en áreas bajas, favoreciendo la saturación de las arcillas expansivas patagonianas en épocas de lluvias.

4.3.d. Depósitos aluviales

Corresponden a geoformas planas y terrazadas sobre el piso de los cañadones, compuestas por materiales finos (predominantemente arenas finas, limoarcillosas), depositados por los cursos temporarios, y restringidos a los cauces actuales con escaso desarrollo areal, y orientación dominante oeste - este a noroeste- sureste. Los cauces permanecen secos la mayor parte del año, generando anegamientos localizados y procesos de erosión- sedimentación durante las avenidas fluviales importantes.

Como se adelantara, de los dos cañadones principales, el de La Quinta presenta el mayor riesgo de inundación en su tramo final, a partir de la Avenida Lisandro de la Torre, donde se produce la descarga hacia el mar por el canal de la Avenida Roca.

4.3.e. Bajos con drenaje restringido

En la figura 1, se observa su distribución sobre los cauces en las zonas medias y bajas de los cañadones. En general son de escaso desarrollo areal, a excepción del ubicado en el tramo final del cañadón Azul, donde se genera un severo proceso de salinización asociado a niveles freáticos muy cercanos a la superficie con elevado tenor salino.

El sector ya presentaba una severa restricción al drenaje de carácter natural, a la cual se le sumó el efecto de endicamiento producido por la urbanización sobrepuesta con el desarrollo de los barrios Juan XXIII, Niaco, Cerro Solo y Coviserco.

El fondo del cañadón, está caracterizado por un elevado grado de dificultad en el escurrimiento subsuperficial

debido a la baja permeabilidad de los sedimentos limoarcillosos por donde circula, y una elevada concentración salina localizada.

Este último proceso se desarrolla al punto de conferirle a las aguas subsuperficiales características propias de salmueras. Las aguas de circulación regional de carácter cloro sulfatadas sódicas, se concentran en el bajo debido a la restricción de flujo y sufren una intensa evaporación por encontrarse cercanas a la superficie.

4.3.f. Bajo salinizado

El sector más afectado por este proceso se ha convertido en un salitral con una costra salina en superficie. Su desarrollo se aprecia en la figura 1. Además del escurrimiento superficial, el bajo recibe aportes de las aguas subterráneas del valle, derivadas de la circulación regional a través de la formación Patagonia, la infiltración directa de precipitaciones y la recarga que se produce por aguas de riego de sectores ubicados al oeste y noroeste.

El depósito está conformado por sedimentos finos, predominantemente limoarcillosos con niveles freáticos muy próximos a la superficie, entre 0,2 y 0,4 m. en los sectores críticos, y concentraciones salinas que ascienden a 118.000 mg/l.

5. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA Y RED HIDROGRÁFICA DEL CAÑADÓN DE LA QUINTA

Toda la escorrentía proveniente de la superficie que inclina hacia un cauce determina el aporte de la cuenca o subcuenca, encontrándose limitada por las divisorias de aguas. El caudal se va encauzando desde las cabeceras de los afluentes de menor orden, con la carga sedimentaria asociada, hacia los cauces de mayor orden. Para condiciones de clima y suelos uniformes, el caudal en el punto de descarga de la cuenca, aumenta proporcionalmente al área de la misma. Asimismo la intensidad de la onda de crecida se encuentra fuertemente afectada por la forma y pendiente de la cuenca, el diseño y densidad de la red de avenamiento, la capacidad de infiltración y retención de agua del terreno.

El cauce principal es transitorio, conduciendo agua solo en lluvias importantes. El sistema hidrográfico es exorreico, con desagüe en el mar mediante un tramo canalizado y entubado a lo largo de la Avenida Roca, por donde el flujo atraviesa la urbanización.

Debido a la necesidad de evaluar los respectivos parámetros, se efectuó una ajustada determinación del límite de la cuenca, establecido por la divisoria de aguas de mayor jerarquía, que se muestra en el plano general de la cuenca de la figura 2. Las divisorias de aguas y el sistema de drenaje se definieron en los fotogramas de escala 1:40.000 y se volcaron sobre la base cartográfica que contiene la

urbanización, compatibilizándola con la misma. Dicha información, ajustada y complementada con datos de campo, y de fotogramas de escala 1:5.000 y 1:8.000, se incorporó al SIG operado por el programa PC-Arc/info y se generaron las salidas gráficas mediante el programa Arc/View.

En el mapa general de la cuenca, se destaca como aspecto saliente, el carácter alargado de la misma, en sentido este - oeste, alcanzando el cauce principal que la recorre en toda su extensión, una longitud de 22 Km. Este aspecto resulta favorable en el retardo de la onda de crecida sobre el punto de descarga.

Asimismo, como aspecto secundario, se destaca un estrechamiento en la zona media de la cuenca, donde su ancho se reduce a 2,3 Km. para luego ampliarse en proximidad a la urbanización, hasta alcanzar los 12 Km., medidos transversalmente al eje principal.

En este último tramo, es posible subdividir al sector norte de la cuenca en cinco subcuencas pequeñas que descienden desde el faldeo sur de los cerros Chenque y Arenales. Ellas involucran a la urbanización ubicada más al oeste, como es el caso del Barrio San Cayetano, y parte del sector de quintas y cordón forestal.

El perfil longitudinal del cauce es en general cóncavo hacia arriba con un gradiente que disminuye a medida que se aproxima a la zona de descarga. Normalmente existen irregularidades y la principal en nuestro caso, ha sido generada por la resistencia a la erosión que ha presentado un banco de arenisca fosilífera que conforma una terraza estructural localizada por encima del sector oeste de la urbanización. Ello ha disminuido el gradiente sobre dicha terraza, aumentando inmediatamente por debajo de la misma en un tramo corto previo al cordón forestal.

El diseño de drenaje es, en general, subparalelo para los cauces de mayor orden jerárquico, manifestándose una tendencia a pasar al tipo dendrítico para los de orden 1 y 2.

La densidad de drenaje es moderada a baja y las vauadas poco profundas, quedando en períodos de sequía sus fondos tapizados de material arenoso fino con participación arcillosa. En épocas prolongadas sin escurrimiento, pueden verse parcialmente colmatados por estos depósitos sueltos de origen eólico, que son motivados por el intenso acarreo de materiales finos y su consecuente acumulación en faldeos protegidos del viento y en los fondos de los cañadones.

6. ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES

Se realizó un análisis de las precipitaciones desde el año 1966, a la fecha, observándose dos importantes registros mensuales en abril de 1980, con 154,6 mm y abril de 1998 (al cabo de 18 años) con 157 mm. En la tabla e histograma de la figura 3 se pueden comparar los valores diarios de ambos períodos.

En abril de 1998, la mayor concentración de la precipitación mensual se produjo en los días 21 y 22, como se aprecia en los histogramas y tablas de la figura 4. Particularmente el pico de crecida de la tormenta del día 21 provocó un severo impacto sobre el área de descarga dentro del ejido urbano, con anegamiento por desbordes de las vías de evacuación debido a que las mismas se vieron ampliamente superadas en su capacidad.

La descarga pluvial del día 21 fue concentrada y abundante, respecto a los registros habituales en la zona. La lluvia se inició abruptamente, superando los 5 mm. durante una hora, y luego se mantuvieron registros cercanos a los 10 mm/h., por 4 hs. (entre las 06:00 y 10:00 hs) a partir de las cuales comenzó una irregular pero sostenida declinación de los valores horarios, hasta su finalización el día 22.

En el período analizado, existieron precipitaciones que por su corta duración no generaron anegamientos, aunque pudieran haber alcanzado registros elevados, compatibles con los datos que brinda el mapa de isohietas del Servicio Meteorológico Nacional, que asigna un orden de magnitud de 20 mm./h. para un intervalo de recurrencia de 25 años, en la región de estudio.

7. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO CUANTITATIVO

Parámetros Hidrogeomorfológicos de la Cuenca del Arroyo La Quinta

Los parámetros analizados ponen de relieve las características de la cuenca respecto a su superficie, forma y diseño de la red de avenamiento.

7.1. Parámetros de la cuenca medidos de la cartografía

- a. *Superficie de la cuenca imbrífera*: Área total de la cuenca, delimitada por la divisoria principal, cuyas aguas son colectadas por la red de avenamiento y descargadas en el punto de síntesis del sistema.
 $M = 5.396,185 \text{ Has.} = 53,96185 \text{ Km}^2$
- b. *Perímetro de la cuenca*: Es el contorno definido por la divisoria de aguas.
 $P = 52,477 \text{ Km.}$
- c. *Diámetro mayor*:
 $D = 12,00 \text{ Km.}$
- d. *Diámetro menor*:
 $d = 2,3 \text{ Km.}$
- e. *Longitud del cauce principal*:
 $L = 21.913,75 \text{ m.} \approx 22 \text{ Km.}$
- f. *Desnivel real del cauce*:
 $H = 0,57 \text{ Km.}$

- g. *Desnivel virtual del cauce*:
 $H = 0,40727 \text{ Km.}$

7.2. Parámetros de la cuenca, calculados

a. *Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)*

Es la relación (expresada como cociente), entre el perímetro de la cuenca (P) y el de un círculo (C) de área equivalente al de dicha cuenca.

$$Kc = P/C = 52,477 / 26,0404 = 2,01$$

El resultado indica en qué medida la forma de la cuenca se puede asimilar a la de un círculo, (cuando $Kc = 1$, en esa situación el escurrimiento sería simultáneo y el tiempo de concentración mínimo). En nuestro caso el Kc es de 2,01 evidenciando una cuenca marcadamente alargada, lo que favorece la atenuación de las avenidas pluviales, con un escurrimiento gradual.

b. *Índice de Circularidad (Ic)*

Es la relación entre el área de la cuenca (A) y el área de un círculo del mismo perímetro que la cuenca (A_c). Cuando Ic se aproxima a 1, es mayor la posibilidad de concentrar las crecientes y si es menor (aproximándose a 0), la de atenuarlas.

$$Ic = A / A_c = 53,96185 / 219,142756 = 0,246$$

Para la cuenca del arroyo La Quinta la posibilidad de atenuar las crecidas es relativamente alta.

c. *Ancho Medio (Am)*

Es el cociente entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal.

$$Am = A/Lp = 53,96185 / 21,91375 \text{ (Km}^2/\text{Km)} = 2,462465 \text{ Km.}$$

d. *Factor de Forma (Ff)*

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del curso de agua más largo.

$$Ff = Am / Lp = 0.11237$$

El valor es bajo y ello resulta favorable ya que expresa, al igual que los indicadores precedentes, una buena capacidad de atenuación del pico de crecidas y por lo tanto, bajo riesgo de crecientes.

7.3. Parámetros de la Red de Avenamiento

a. *Densidad de Drenaje (Dd)*

Establece la relación entre la longitud total de la red (cursos temporarios) y el área drenada por la misma. La densidad de drenaje se encuentra condicionada por la litología (dureza), la permeabilidad, la vegetación y el clima.

$$Dd = L/A =$$

L = longitud total de cauces (Km.)

A = Área (Km²)

$$Dd = 132,661 / 53,96185 = 2,458422 \text{ (1/ Km.)}$$

FIGURA 3: ANÁLISIS COMPARATIVO DE PPTAC. DIARIA DE MES DE ABRIL DE 1998 Y 1980

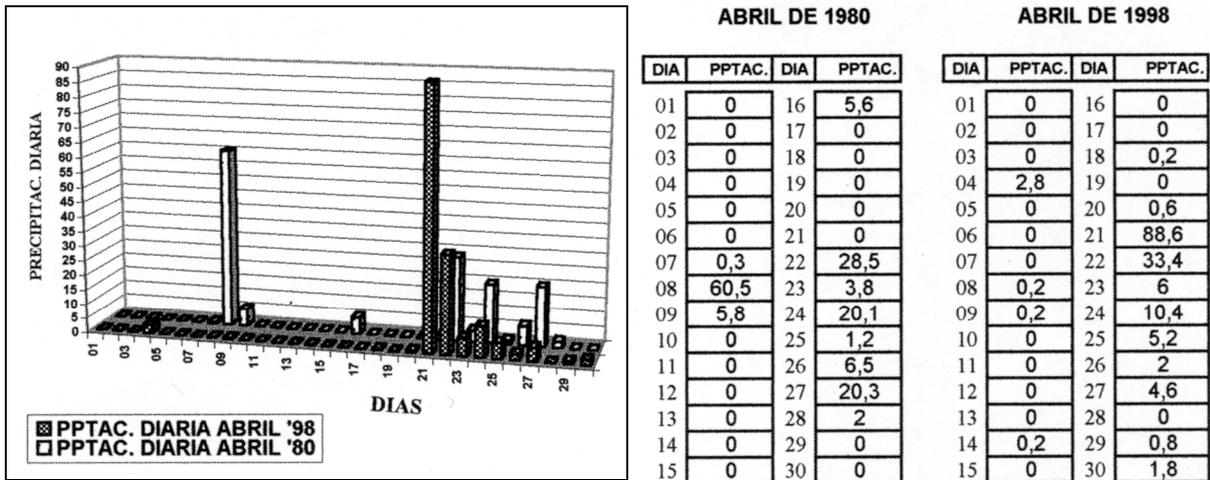
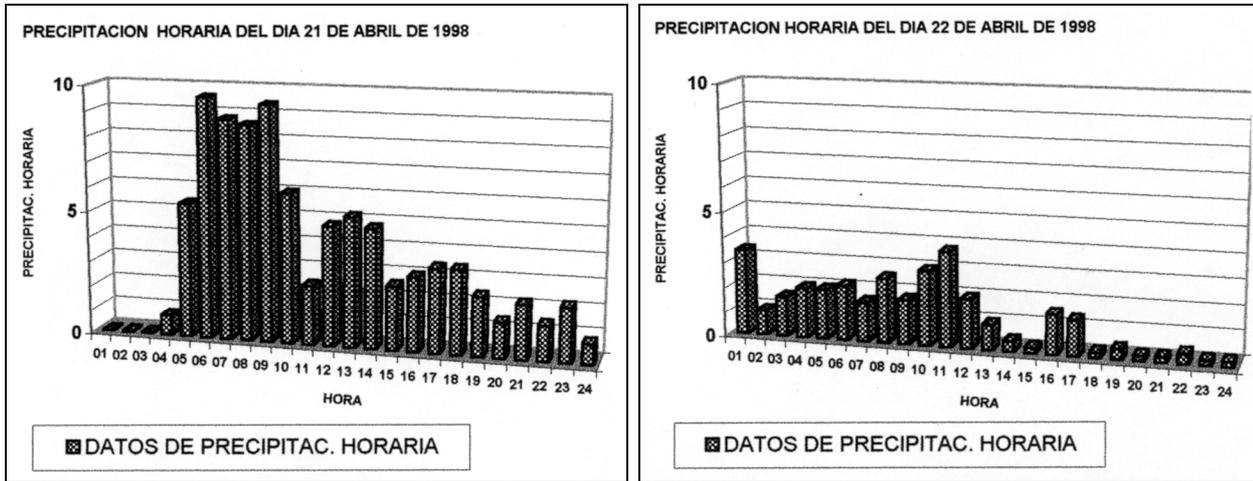


FIGURA 4: PRECIPITACIÓN HORARIA (mm) PARA LA TORMENTA DEL 21 Y 22 DE ABRIL DE 1998

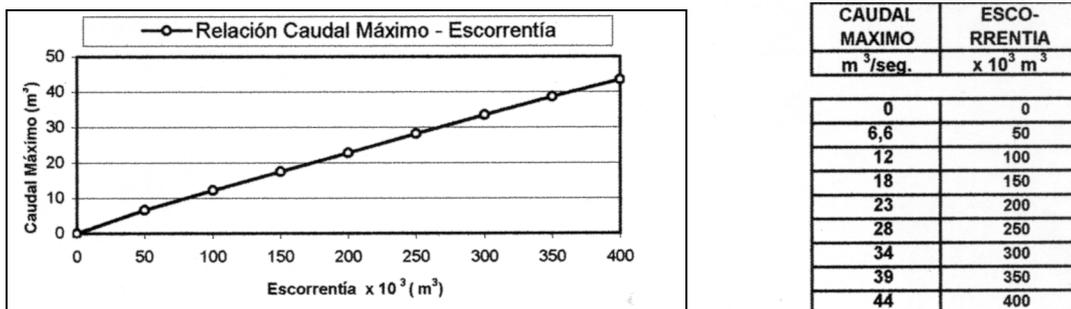


DE HORA	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TOTAL
A HORA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	DIARIO
LLUVIA	0	0	0	0,8	5,4	9,6	8,8	8,6	9,4	6	2,4	4,8	5,2	4,8	2,6	3	3,4	3,4	2,4	1,4	2,2	1,4	2,2	0,8	89 mm

DIA 22 DE ABRIL DE 1998																								TOTAL	
DE HORA	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	DIARIO
A HORA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	DIARIO
LLUVIA	3,4	1	1,6	2	2	2,2	1,6	2,6	1,8	3	3,8	2	1	0,4	0,2	1,6	1,4	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	33 mm

PRECIPITACION ACUMULADA DIAS 21 Y 22 :	122 mm
--	--------

FIGURA 5: RELACIÓN CAUDAL MÁXIMO VS. ESCORRENTÍA EN EL PUNTO DE SÍNTESIS



La Dd de 2,45 obtenida se considera baja, lo cual implica que la cuenca se encuentra pobremente drenada. En nuestro caso se estima que el valor obtenido obedece al clima semidesértico, con vegetación arbustiva rala y sedimentos eólicos permeables (arenas finas) distribuidos en faldeos y base del cañadón.

b. Frecuencia Fluvial (Ff)

Es la relación entre el número de cursos (N) y el área de la cuenca (A). Se encuentra vinculada con la capacidad de generar nuevos cursos.

$$Ff = N/A = 216 / 53,96185 \text{ Km}^2 \quad (\text{cauces /Km}^2)$$

N= N° total de cauces

A= Área en Km².

$$Ff = 4,0028 \text{ (cauces/Km}^2)$$

c. Infiltración Relativa (Ir)

Es el producto de la densidad de drenaje (Dd) por la frecuencia fluvial (Ff).

$$Ir = Dd \cdot Ff \text{ (en cauces /Km}^3)$$

Dd= densidad de drenaje (en 1/ Km.)

Ff= frecuencia fluvial (en cauces /Km³)

$$Ir = 2,458422 \times 4,0028 \text{ (1/ Km.} \times \text{cauces /Km}^2) = 9,84 \text{ (cauces /Km}^3)$$

d. Flujo no Encauzado (Fne)

Distancia media que recorre el agua, desde el punto que precipita, hasta el curso más cercano en el que se encauza. Se adoptó el valor correspondiente a 1/4 de la Densidad de Drenaje (Dd).

$$Fne = 1/4 Dd = 2,458422 / 4 \text{ (1/ Km.)} = 0,614 \text{ (1/ Km.)}$$

Es un valor elevado, debido a la baja densidad de drenaje que posee la cuenca.

e. Jerarquía fluvial:

Se establece en base a la asignación de jerarquías u órdenes de corriente a los cursos, en función al grado de bifurcación que presenta desde su origen en la divisoria de aguas. De este modo los de orden 1 corresponden a los cursos del inicio de la red que no poseen ningún tributario, (Strabler 1952). Los de orden 2 se generan por la confluencia de dos cursos de orden 1, y así sucesivamente hasta alcanzar el curso de mayor orden que concentra el flujo de toda la cuenca.

e.1. Grado máximo de ramificación:

Se obtuvo un grado máximo de ramificación de orden quinto para la cuenca.

e.2. Número de cursos:

Se agrupó la cantidad de cursos por número de orden. Los resultados se aprecian en la tabla 1.

e.3. Porcentaje de número de cursos de cada orden (% Cursos):

Relación porcentual entre la cantidad de cursos del orden considerado y el número total de cursos de la cuenca. Los valores se presentan en la tabla 1.

e.4. Longitud de cursos:

El resultado se muestra en la tabla 1, agrupados por número de orden.

e.5. Porcentaje de longitud de cursos de cada orden (% Long.):

Es la relación entre la longitud de los cursos del orden considerado y la longitud total de los cursos de la cuenca. Tabla 1.

TABLA 1: NÚMERO Y LONGITUD DE CURSOS POR ORDEN

Cursos de →	Orden 1	Orden 2	Orden 3	Orden 4	Orden 5
N° de Cursos	162	42	9	2	1
% de Cursos	75	19.44	4.2	0.92	0.46
Longitud -km	64,31745	37,14055	17,63263	1,28238	12,28799
% de Long.	48,48257	27,99658	13,29149	0,96666	9,26270

8. EVALUACIÓN DE CRECIDAS EN LA CUENCA DEL CAÑADÓN DE LA QUINTA

La presente evaluación tiene por objeto determinar con un grado aceptable de aproximación, las crecidas que se producen en el tramo final de dicho cañadón, más precisamente en su ingreso a la urbanización, generando en

avenidas pluviales excepcionales el anegamiento de un importante sector del sudeste del ejido urbano de Comodoro Rivadavia, que involucra parte de los barrios General Roca, Pueyrredón e Industrial.

La falta de datos de aforo y velocidades de escurrimiento en la totalidad de la cuenca y particularmente en

el punto de síntesis, (ingreso al área urbana, sobre el barrio Moure), imposibilita la determinación directa de los caudales instantáneos durante las crecidas, y la escorrentía total en cada tormenta como resultado de la acumulación de dicho caudal. Estos parámetros resultan esenciales para la planificación de obras de evacuación y/o contención del agua en las crecidas, a fin de lograr un adecuado manejo hídrico de la cuenca en cuestión, ya que existirían desbordes e inundaciones en caso de subdimensionamiento o costos elevados y obras excesivamente grandes en caso de sobredimensionamiento.

Existen varios métodos para determinar, en forma indirecta, dichos parámetros. En el presente estudio se aplicaron determinaciones propias, el Método Racional Generalizado (F. Ruble 1966) y antecedentes basados en la aplicación del Método Gaiman (Clerici 1985).

8.1. Determinación del Derrame Máximo Superficial

a. Tiempo de Concentración (t_c)

Se define de este modo al tiempo que tarda en llegar una gota de lluvia, desde el punto más alejado de la cuenca, hasta el punto de síntesis de la misma, donde se procura determinar el derrame. El mismo depende fundamentalmente de la longitud, desnivel virtual y características del cauce principal.

$$t_c = 182,61 \text{ minutos}$$

b. Precipitación Media Horaria Durante t_c : (R_{25})

La intensidad media de precipitación, en un período de recurrencia dado, decrece con la duración de la misma. El valor determinado, considerando una recurrencia de 25 años, fue de:

$$R_{25} = 8,571867 \text{ mm/h.}$$

c. Características de la Cuenca:

Coefficiente de Escorrentía

El Coeficiente de Escorrentía, "E", define la proporción del total de lluvia caída que escurrirá superficialmente y alcanzará el punto de síntesis de la cuenca. Dicho valor, oscilante entre 0 y 1, permite calcular el derrame superficial en el punto de interés, luego de ser deducida el agua que se evapora o es retenida por el suelo y la cubierta vegetal:

$$E = 0,2281$$

d. Derrame Máximo Superficial (Q)

Se denomina así al caudal máximo instantáneo, expresado en $m^3/\text{seg.}$ que escurre en el punto de síntesis o descarga de la cuenca, que en promedio, solo es superado una sola vez cada período dado de tiempo (identificado como intervalo de recurrencia "T").

$$Q = 23,26 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

e. Escorrentía

La escorrentía se encuentra estrechamente vinculada con el caudal máximo, manteniendo para la cuenca analizada, una relación aproximadamente lineal, como se muestra en la figura 5.

De este modo, para un caudal de $23,26 \text{ m}^3/\text{seg.}$, correspondiente al derrame máximo superficial para una recurrencia de 25 años, se le asigna una escorrentía total de 200.000 m^3 que circularán por el punto de síntesis de la cuenca durante la tormenta, volcándose sobre la urbanización.

9. MANEJO HÍDRICO PARA EL CONTROL DE CRECIDAS

Las avenidas pluviales importantes, particularmente la de abril de 1998, han evidenciado que la capacidad de evacuación del canal de la Avenida Roca se ve superada, generándose desbordes que provocan el anegamiento de un importante sector urbanizado sobre la Ruta Nacional N° 3.

Para evitar dicha inundación a la salida del cañadón, existen dos alternativas de intervención, basadas en la realización de obras correctivas y complementarias, que actúan: a) retardando la escorrentía a fin de que el arribo de la onda de crecida sea más gradual y atenuado en la zona de descarga sobre la urbanización o b) aumentando la eficiencia de evacuación al ingreso y a lo largo de la zona urbanizada.

En el proceso estudiado, la primer alternativa se logra con el emplazamiento de una o más presas pequeñas de tierra compactada, para la retención de aluviones.

Esta solución presenta varias limitaciones, entre ellas: produce una alteración del medio natural, existe riesgo de roturas de terraplenes, deslizamientos o flujos de terrenos inestables en estado de saturación (existen antecedentes de procesos de remoción en la región), erosión, tubificación del flujo, reducción de la capacidad de embalse por acumulación de sedimentos, (proceso muy activo en la región por transporte hídrico y eólico), etc.

En caso de producirse alguno de los procesos enunciados, resultaría difícil garantizar, a priori, una respuesta a nivel local en tiempo y forma, acorde a la magnitud y características del problema, debido a la posible limitación en la capacidad de respuesta para la resolución de eventuales problemas y mantenimiento de la funcionalidad de las obras, por restricciones presupuestarias, técnicas y operativas. Bajo esta perspectiva, la obra representaría un riesgo potencial elevado en el tiempo para la urbanización ubicada aguas abajo.

Además de los inconvenientes puntualizados, estas obras lograrían una solución parcial, ya que la generalidad

de la cuenca, como se ha expresado precedentemente, tiene una adecuada capacidad de atenuación natural de crecidas, y los desbordes sobrevienen fundamentalmente por la incorporación de aportes hídricos en proximidad al punto de síntesis de la cuenca del arroyo La Quinta y de cuencas menores que descargan sobre el canal de Avenida Roca, dentro del área urbana.

En base a lo expuesto, se considera más viable orientar la búsqueda de solución a través de la optimización de las obras de evacuación en las zonas bajas. Ello implica el mejoramiento del funcionamiento de las obras de canalización existentes y la generación de nuevas obras.

El canal que capta el flujo de las crecidas sobre el cañadón de La Quinta, ubicado sobre la Avenida Roca, es de hormigón, posee sección trapezoidal, de 3,2 m. de ancho en su parte superior, solera de 0,4 m. y altura entre 1,4 a 1,8 m. Recibe asimismo, parte del flujo de los barrios altos de la ciudad ubicados en el faldeo sur del Cerro Chenque mediante los pluviales de la calle C. Guastavino, y las Avenidas Lisandro de la Torre y J. Kennedy. En su tramo final, se encuentra entubado, recibiendo el aporte del pluvial de la Avenida Chile, que colecta las aguas del bajo salinizado del cañadón Azul.

Su capacidad de transporte resulta insuficiente y como consecuencia de ello sufre desbordes en varios puntos de su recorrido de aproximadamente 1500 metros, desde el barrio Moure hasta su entubación en el tramo final, mediante el cual desagua al mar. El primer y principal derrame se produce al cruzar bajo la Avenida Lisandro de la Torre, a la salida del referido barrio debido a la reducción de sección e incorporación de un importante aporte de flujo del pluvial que corre por esta avenida. En su recorrido se produce el rebalse en otros puntos, motivado por las reducciones de sección transversal en los cruces de calles y el inicio de la entubación.

Los desbordes del canal provocados por la lluvia del día 21 de abril de 1998, afectaron con fuertes escorrentías y anegamiento a aproximadamente 30 manzanas del sector bajo de la ciudad (algunos de ellos cubiertos con más de un metro de altura de agua) involucrando parte de los barrios Roca, Pueyrredón e Industrial, y generando asimismo la interrupción temporal de la circulación vehicular por la Ruta Nacional N° 3.

A fin de controlar dichos desbordes, se considera prioritario destinar el canal de Avenida Roca para desaguar exclusivamente el flujo proveniente del cañadón de La Quinta. Asimismo, a fin de incrementar su eficiencia se debe ampliar su sección transversal en los cruces de calles conflictivos (posiblemente elevando el nivel inferior de la estructura de la calzada).

En el tramo entubado que desemboca en el mar, también se debe evacuar exclusivamente el caudal del

canal ya que actualmente existe un empalme con el pluvial de la Avenida Chile, que incorpora el flujo proveniente del cañadón Azul. Es necesario, entonces, construir una vía de evacuación hacia el mar independiente para el agua proveniente de éste último.

Para captar los aportes transversales provenientes de los barrios altos, antes de su ingreso al canal de Avenida Roca, se debe construir un pluvial a lo largo de la Avenida Polonia, que corre paralela a la anterior, hacia el noreste. Ramales menores conectarán el flujo transversal a este último para optimizar el funcionamiento del sistema en forma integral. Prolongando dicho pluvial hacia el noroeste (cañadón del Barrio San Cayetano), se capta el flujo de la subcuenca "Terminal" que corresponde al extremo noreste de la cuenca de La Quinta, con una superficie de aproximadamente 600 has.

De este modo, se reduce la superficie a drenar en el sector más sensible de la cuenca, dada la rápida llegada de la onda de crecida, por su proximidad al punto de descarga sobre la urbanización. Si se procurara derivar un mayor caudal proveniente de La Quinta por el pluvial de Avenida Polonia, se podrían interconectar ambas vías en su ingreso a la urbanización.

10. CONCLUSIONES

El área estudiada corresponde al sector sur del ejido urbano, comprendiendo los cañadones de La Quinta y Azul. Este último presenta una problemática severa de salinización en los sectores bajos, que fuera abordada en un trabajo específico (*Griznik, Hirtz 2000*). La problemática del Arroyo La Quinta está relacionada con el anegamiento de un importante sector topográficamente bajo del área urbanizada, durante las crecidas.

En base al análisis morfométrico se aprecia que dicho Cañadón posee una adecuada capacidad natural de atenuación de crecidas. No obstante, de la evaluación de crecidas realizada, se desprende que la capacidad de evacuación del canal trapezoidal de la Avenida Roca resulta insuficiente, viéndose desbordado en varios puntos de su recorrido durante tormentas excepcionales, como se describiera precedentemente.

La sumatoria de condicionamientos al flujo que se producen a lo largo de la traza del canal, por reducciones en su sección transversal y aportes de otros pluviales, constituye la causa principal de que su capacidad se vea desbordada. Es necesario desarrollar obras correctivas y ampliatorias que permitan el adecuado funcionamiento del sistema de evacuación en forma integral, tal como se describe precedentemente en el título: manejo hídrico para el control de crecidas.

11. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BELLOSI, E. S., 1990.
Formación Chenque, registro de la transgresión Patagónica en la Cuenca San Jorge.
XI Congreso Geológico Arg. Actas 3 ;57-60.
- CLERICI, H.; GRECO, W.; ICHAZO, G.; PECILE, H.; SAINZ TRAPAGA, J.; SERRA, J. DIRECC. GRAL. DE ESTUDIOS Y PROY. M.E.S.O.P.CHUBUT, 1985.
Informe de Prefactibilidad Control Aluvional Arroyo La Quinta.
Inédito.
- GRIZINIK, M. Y N. HIRTZ, 2000.
Salinización en el Ejido Urbano de la Ciudad de Comodoro Rivadavia. Chubut. Argentina, Evaluación y Propuesta de Saneamiento.
I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza. Brasil.
- GRIZINIK, M. Y N. HIRTZ, 1996.
Estudio de la Salinización del Barrio Juan XXIII - Ciudad de Comodoro Rivadavia.
Inédito.
- GRIZINIK, M. Y N. HIRTZ, 1997.
Evaluación de la Salinización en las Fracciones 62a, 62c y 14 del Ejido Urbano de la Ciudad de Comodoro Rivadavia.
Inédito.
- HIRTZ, N., H. PREZ, M. GRIZINIK, A. TEJEDO, A. BLACHAKIS, M. STRONATI, S. CAVALLARO, 2000.
Uso de Mapas Temáticos en la Confeción de la Carta Geoambiental de Comodoro Rivadavia, Chubut. Argentina.
Rev. de Geol. Aplicada a la Ing. y al Ambiente. N° 14. 56-75. Buenos Aires.
- HIRTZ, N., M. GRIZINIK Y A. BLACHAKIS, 2000.
Evaluación Geohidrológica Aplicada al desarrollo Urbano de la Ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut. Argentina.
I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza. Brasil.
- RÜHLE, F., 1966.
Determinación del Derrame Máximo Superficial de las Cuencas Imbríferas. S.E.O.P - D.N.V.
Rev. La Ingeniería. N° 987.
- STRAHLER, A. N., 1952.
Dynamic basis of geomorphology. Geology Society America.
Bulletin 63: 923-938 pp.



Cartografía temática para la obtención de indicadores e índices de calidad ambiental

Hurtado, M. A. ¹ - Giménez, J.E. ¹ - Cabral, M. ² - Martínez, O. ^{1,2} - Gutiérrez, M. ² - Sánchez, C. ²

El presente trabajo ha sido realizado dentro del marco del Proyecto ELANEM (Euro-Latin American Network for Environmental Assessment and Monitoring) de la Comunidad Económica Europea.

Resumen

El presente trabajo se realizó en el marco del estudio sobre "Indicadores e Índices de Calidad Ambiental en la Cuenca de los arroyos Carnaval-Martín" que forma parte del Proyecto ELANEM (Euro-Latin American Network on Environmental Assessment and Monitoring). El área de estudio tiene una superficie de 123,6 km², comprende los partidos de La Plata y Ensenada, Provincia de Buenos Aires, y posee una población de 43.000 habitantes. Con tal fin se elaboraron mapas temáticos que posibilitaron conocer las características físicas del territorio estudiado y las modificaciones introducidas por actividades antrópicas. Se cuantificaron las problemáticas ambientales mediante indicadores de estado, presión y respuesta, que permitieron evaluar la situación ambiental, realizar comparaciones y efectuar seguimientos a través del tiempo.

La cartografía desarrollada comprende: mapas básicos de características naturales (topografía y pendientes, hidrología superficial y subterránea, geomorfología y suelos); de riesgos naturales (inundación y/o anegamiento); de características antrópicas (infraestructura, uso del suelo, densidad poblacional) y de cualidades significativas (naturalidad, vulnerabilidad de acuíferos, procesos degradativos, capacidad de uso del suelo).

Mediante la superposición de variables aportadas por estos mapas y cuantificando las superficies afectadas, se midieron algunos indicadores geoambientales con el objeto de determinar la situación ambiental actual. Cuando se dispone de material aerofotográfico secuencial en el tiempo, es posible realizar un seguimiento de los cambios producidos en el territorio, tanto en lo referente a las presiones como a las posibles respuestas institucionales a las problemáticas detectadas. Este análisis permite elaborar nuevas cartografías referidas a Conflictos y Recomendaciones de Uso del Territorio.

Entregado: 10 de Setiembre de 2001 ■ Aceptado: 25 de Setiembre de 2001

1. Instituto de Geomorfología y Suelos. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP.

Calle 3 No. 584. B1902CIX La Plata. C.E.:

e-mail: gs@museo.fcnym.edu.ar
elanem@sinctis.com

2. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha discutido ampliamente sobre la situación ambiental y la forma de gestionar los recursos naturales para alcanzar un desarrollo sustentable. Se pretende identificar y comunicar a los responsables de la gestión ambiental el estado del ambiente, qué presiones actúan sobre él, cuáles son las tendencias, el significado de los cambios para los seres humanos y ecosistemas

y cómo se está actuando ante tales situaciones. Una herramienta utilizada para tales fines son los indicadores ambientales, que se pueden aplicar a distintos niveles, desde el mundial al municipal. Los indicadores deben hacer perceptible una tendencia o fenómeno que no es fácilmente detectable; también deben cuantificar y simplificar información sobre fenómenos complejos (Berger, 1996). Los indicadores representan un instrumento para sintetizar y transmitir información de manera significativa, dentro del proceso de toma de decisiones. Pueden, a su vez, combinarse para obtener índices que reflejen cualidades complejas del medio y proporcionen criterios para evaluar la sustentabilidad de políticas, planes y actuaciones que afecten al ambiente (Cendrero Uceda, 1997).

El uso de indicadores ambientales comenzó a desarrollarse como consecuencia del Programa de Acción de Río 92. A partir del mismo se desarrollaron programas y proyectos orientados a la obtención de indicadores para cada capítulo de dicha agenda. En la búsqueda de un consenso respecto a los indicadores de desarrollo sustentable participaron organizaciones como la FAO, el Banco Mundial, el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), el Comité Científico sobre Problemas del Ambiente (SCOPE), el Instituto de Recursos del Mundo (WRI) coordinadas por el Departamento de Coordinación de Política y Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (UNDP/CDSD)

En 1999 inicia sus actividades el grupo ELANEM integrado por la Universidad de Cantabria (España, Institución Coordinadora), el International Training Center, ITC (Holanda) y las Universidades de Modena (Italia), Autónoma de Baja California (México), Central de Las Villas (Cuba), Federal de Goiás (Brasil), Concepción (Chile) y Nacionales de Jujuy, Río Cuarto y La Plata (Argentina). El objetivo del proyecto general es ensayar una metodología común para medir y monitorear la calidad ambiental en diferentes partes del mundo, con condiciones contrastantes, mediante el uso de indicadores e índices. Además de los indicadores genéricos que son comunes a todos los integrantes del proyecto, se han identificado indicadores específicos que reflejan peculiaridades naturales y antropogénicas significativas para la calidad ambiental de cada región. Se busca desarrollar un instrumento que ayude a entender las interacciones entre las actividades humanas y el estado de los ecosistemas, mejorando el manejo de los recursos naturales.

Para la cuantificación de muchos de los indicadores fue necesario caracterizar los diversos componentes del medio físico natural y antrópico (geomorfología, suelos, aguas, uso de la tierra, etc.) como así también los riesgos geológicos y las diversas degradaciones sufridas (inundación, contaminación, actividades extractivas del suelo). La cartografía ha sido una herramienta imprescindible para tal cuantificación. En el presente trabajo se expone la metodología de

elaboración de diferentes mapas temáticos y su aplicación a la obtención de indicadores e índices ambientales.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

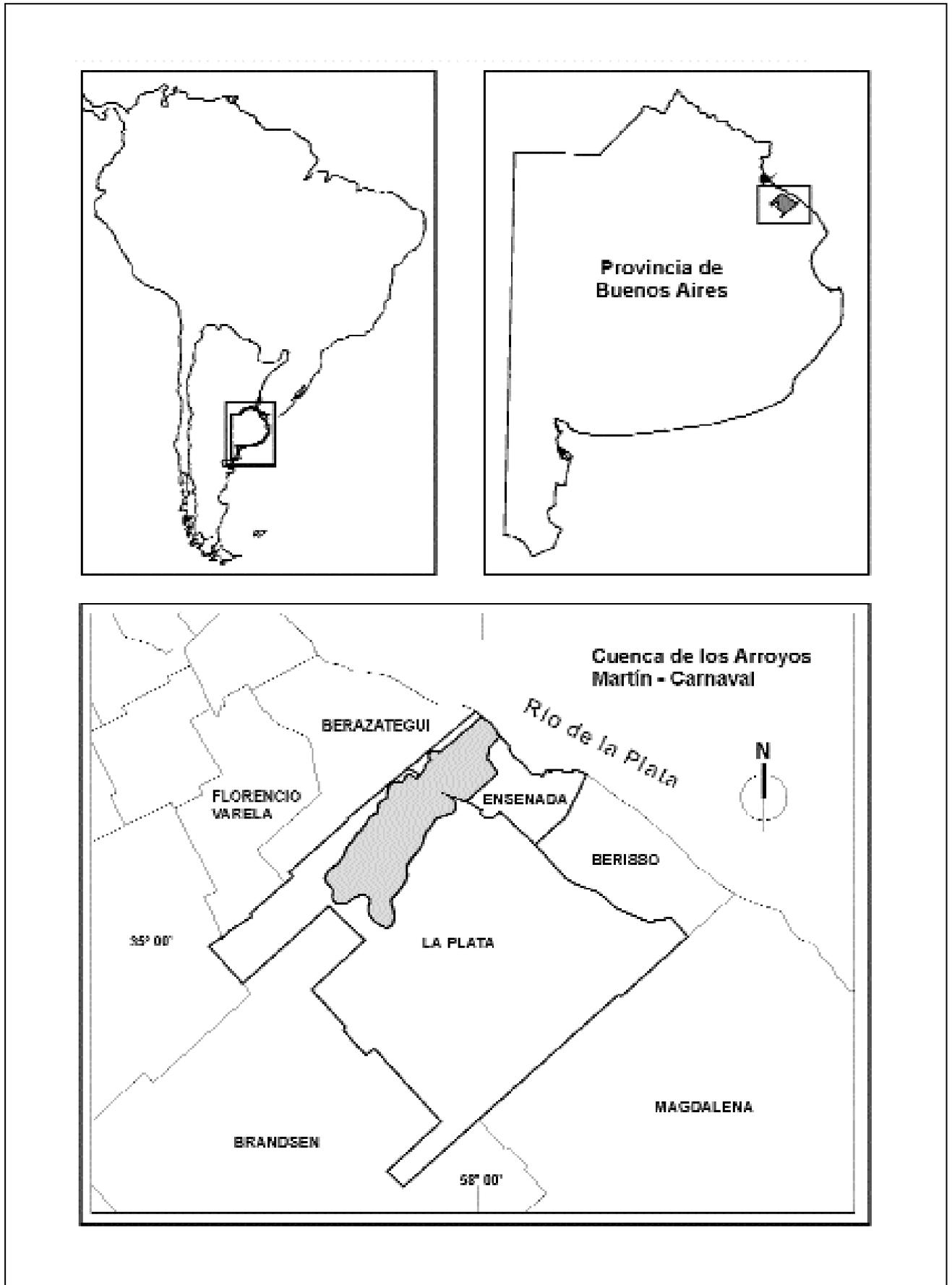
La cuenca de los arroyos Carnaval-Martín ha sido seleccionada como área de estudio por ser representativa de la región litoral del Río de la Plata (Fig. 1). Posee una diversidad de características naturales y usos de la tierra, incluyendo áreas urbanas, agrícolas, de servicios, etc. La cuenca incluye la Reserva Natural Punta Lara, considerada la selva en galería más austral del mundo. Por otra parte, está afectada por diversos riesgos naturales, procesos de degradación antrópica y conflictos de uso de la tierra. Cubre una superficie de 123,6 Km², extendiéndose en los Partidos de La Plata y Ensenada y cuenta con una población de 43.000 habitantes.

Geomorfología

Se han diferenciado en un primer nivel, de acuerdo con su origen, dos áreas geomorfológicas:

- a) *área continental* y b) *área costera*.
- a) El área continental abarca 80 km². Incluye la cuenca superior y media de los arroyos Carnaval-Martín y sus cotas varían entre 30 y 5 m s.n.m. Constituye una llanura muy suavemente ondulada que forma parte del extremo sudeste de la Pampa Ondulada. Sus sedimentos son depósitos loésicos eólicos, en algunos casos retrabajados por el agua. Los arroyos tienen un drenaje de tipo dendrítico y confluyen cerca del límite con el área costera. En un nivel inferior se han diferenciado las siguientes unidades geomórficas: interfluvio plano (divisoria con la cuenca del río Samborombón), interfluvios plano-convexos, pendientes, planicies de inundación y depresiones.
- b) El área costera abarca 44 km². Es un franja de 5-8 km de ancho situada en la cuenca inferior con alturas que varían entre 5 y 0 m snm en la línea de ribera del Río de la Plata. Es un área excepcionalmente plana o, en algunos casos, plano-cóncava. Al desembocar en la llanura costera, los arroyos Carnaval y Martín pierden energía por la chatarra del relieve, no pudiendo excavar su cauce hasta el Río de la Plata, por lo cual fue necesario construir canales para evacuar las aguas. Esta unidad está constituida por sedimentos fluviales recientes y marino-estuarinos, principalmente de textura arcillosa, donde se han diferenciado las siguientes unidades: 1) antiguo estuario interior, cordones conchales, llanuras de fango y bañados en sedimentos marino-estuarinos y 2) llanura aluvional y playa en sedimentos fluviales. Muchas de las geoformas y sedimentos son el resultado de ingresiones y regresiones del mar en el Holoceno.

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Suelos

Los suelos más representativos en interfluvios y pendientes del Area Continental son Argiudoles. Son suelos profundos, moderadamente bien drenados, con secuencia de horizontes A-Bt-BC-C. Los horizontes Bt son arcillosos y casi siempre muy expansivos. En las planicies de inundación y depresiones se encuentran suelos con drenaje deficiente (Argialboles), frecuentemente sódicos (Natracuoles), etc. La mayor parte de los suelos del Area Continental tienen buena aptitud para uso agrícola (clases I, II y III).

En la Planicie Costera los suelos dominantes son Vertisoles (Natracuertes). Tienen contenidos extremadamente altos de arcilla (60-75%), con una proporción importante de tipo esmectítico, que confieren alta capacidad de expansión-contracción. En la llanura aluvional, tienen amplia difusión los Fluvacuentes. Prácticamente todos los suelos del Area Costera tienen graves limitaciones por drenaje. Además, los Natracuertes tienen altos contenidos de sodio intercambiable y, a veces, de sales solubles. Debido a las características mencionadas, los suelos no son aptos para uso agrícola.

Agua

El agua subterránea es la principal fuente de agua para bebida y riego en la zona de estudio. Debido a su contaminación y caudal escaso y errático, las aguas de los arroyos Carnaval y Martín no son utilizadas con tales fines. El Río de la Plata es una enorme reserva de agua dulce, aunque en la cuenca estudiada aún no es explotado.

El sistema geohidrológico local está integrado por un acuífero freático asociado a otro semilibre (Pampeano) y un acuífero semiconfinado (Puelche), localizado entre los 40 y 50 m de profundidad y utilizado para servicio público y riego. Sin embargo, en muchos casos se recurre al acuífero freático por razones económicas. La calidad del agua de este acuífero fue especialmente considerada para establecer distintos indicadores como son los contenidos de metales pesados, hidrocarburos y nitratos, éstos últimos provenientes, tanto de pozos ciegos en zonas urbanas sin servicios cloacales, como de agroquímicos aplicados en la zona hortícola. Una de los problemas detectados en la zona hortícola es que la terminación deficiente de pozos para riego facilita el acceso de agua freática contaminada al acuífero más profundo (González *et al.*, 1999).

Riesgos geológicos y procesos degradativos

Inundación y anegamiento son los principales riesgos geológicos que afectan a la región. Las inundaciones son causadas por desbordes de los arroyos Carnaval y Martín y sus afluentes principales, afectando a sus planicies de inundación. Los vientos fuertes y persistentes del sudeste

(“sudestada”) son responsables de la elevación del nivel de las aguas del Río de la Plata y de la inundación de la Llanura Aluvional y de la Planicie Costera. Ésta además puede anegarse luego de fuertes lluvias como consecuencias del relieve plano o cóncavo y los suelos arcillosos poco permeables.

Una de las principales degradaciones ambientales del área de estudio es el uso extractivo del suelo, el cual es una verdadera actividad minera que conduce a la degradación de ese recurso natural al disminuir su productividad, compitiendo así con el uso agropecuario. Se puede diferenciar la extracción superficial (decapitación) y la profunda. La decapitación implica la extracción de la capa humífera (horizonte A) como materia prima para la fabricación de ladrillos artesanales y jardinería. El uso extractivo profundo genera grandes cavas, destinándose el material a la fabricación de ladrillos cerámicos y a subrasantes de caminos y relleno de terrenos. Dichas cavas se convierten en fuentes de riesgos para la vida y la salud de la población (Hurtado *et al.*, 2001).

Algunas actividades pueden contribuir a la contaminación del suelo, agua y aire. Una gran parte de la cuenca superior se encuentra bajo agricultura intensiva (horticultura y floricultura), donde se aplican altas cantidades de fertilizantes y plaguicidas. Los caminos Centenario y Belgrano, la autopista La Plata-Buenos Aires (en construcción) y la vía férrea que conecta estas ciudades pueden contribuir a la contaminación del aire y del suelo. Ingresos adicionales de contaminantes provienen de algunas industrias y de áreas urbanas sin servicios cloacales.

3. METODOLOGÍA Y CARTOGRAFÍA ELABORADA

Los distintos mapas temáticos se elaboraron a través de fotointerpretación y trabajo de campo, con datos aportados por análisis de laboratorio de suelos y aguas y recopilación de información de diferentes fuentes. La escala de trabajo fue 1:20.000. Para la confección de mapas, se utilizó el sistema CAD (Autocad 14) y la información fue clasificada en diferentes niveles y ajustados a la base catastral. Para la salida gráfica y cálculo de superficies se utilizaron Autocad 14 y ArcView 3.0. Este último permite representar los polígonos mediante los atributos del dibujo creado en el CAD. Mediante la función “Geoprocessing” se superpusieron algunos mapas temáticos para calcular diversos indicadores por cruzamiento y síntesis de información.

Mapas básicos

Mapas de curvas de nivel y de pendientes

Se realizaron a partir de las cartas planialtimétricas del Instituto Geográfico Militar en escala 1:50.000. La equidistancia de 2,50 m permitió destacar la distribución

de interfluvios plano-convexos, pendientes y vías de escurrimento del Area Continental. En cambio, en el Area Costera debido al relieve sumamente plano, dicha equidistancia no permitió visualizar los desniveles que, si bien pequeños, producen variaciones en el drenaje.

Mapa de hidrología superficial

Se delineó la red de drenaje mediante fotointerpretación sobre fotogramas aéreos, incluyendo las modificaciones antrópicas al drenaje superficial, como zanjas, canales y rectificaciones. Se establecieron las divisorias de agua principales y secundarias de la cuenca. Esta cartografía sirvió de base para la elaboración del mapa geomorfológico.

Mapa de geomorfología

La elaboración de este mapa incluyó la recopilación de información técnica y cartográfica, el estudio de procesos geodinámicos actuantes, el reconocimiento de materiales y geoformas por fotointerpretación y control de campo para verificar límites de unidades geomórficas y el análisis de las características de la red de drenaje natural y antrópica.

Mapa básico de suelos

La elaboración del mapa de suelos incluyó inicialmente tareas en común con el mapa de geomorfología, especialmente en lo que respecta a fotointerpretación y control de campo. Adicionalmente se realizó la caracterización morfológica de los suelos en calicatas o en cortes naturales o artificiales del terreno. Se efectuaron determinaciones físicas y químicas convencionales en laboratorio y análisis especiales de metales pesados (cadmio, plomo, cobre, cinc y cromo) y contaminantes orgánicos en muestras seleccionadas. Los suelos fueron clasificados de acuerdo con el sistema *Soil Taxonomy* (1999).

Mapas hidrogeológicos

Se caracterizó y monitoreó el acuífero freático a partir de una red de pozos de muestreo. En ellos se midieron nivel freático, nitratos, nitritos, metales pesados (cromo, cadmio, cinc, plomo y cobre), plaguicidas (organoclorados y organofosforados), hidrocarburos, aceites y grasas. Los resultados se volcaron en los siguientes mapas: ubicación de pozos de muestreo, isofreático, contaminación de nitratos, contenidos de contaminantes en acuífero freático y vulnerabilidad del acuífero freático.

Mapas de riesgos naturales

Mapa de riesgo de inundación y lo anegamiento

Se elaboró a partir del análisis de las unidades del mapa geomorfológico y del detalle de los suelos de cada una de ellas.

Mapas de características antrópicas

Mapas de uso de la tierra

El uso actual de la tierra se determinó mediante fotointerpretación con fotogramas aéreos de 1996, actualizado al año 2000 mediante trabajo de campo e imágenes satelitarias Landsat de ese año. Se diferenciaron los siguientes usos: urbano (alta, media y baja densidad), agricultura intensiva, agricultura extensiva/pasturas, ganadería extensiva, forestación, avicultura, industrial, servicios, countries, canteras, hornos de ladrillos, recreación, reserva natural y baldío.

Mapa de infraestructura

Este mapa se elaboró mediante fotointerpretación sobre fotogramas aéreos del año 1996 e imagen satelital del año 2000, con control de campo. Se indicó en dicho mapa el parcelamiento urbano, caminos y rutas, autopista Buenos Aires-La Plata (en construcción), vías férreas, poliducto y canales.

Mapa de densidad de población

El mapa se elaboró a partir de información del último *Censo Nacional* (1991). Los valores fueron actualizados al año 2000 considerando un crecimiento anual de la población de 1,1 %. La delimitación de las áreas se realizó a nivel de radio fracción censal que son las menores unidades censales.

Mapa de riesgo de contaminación

El mapa muestra la distribución de actividades y sustancias que pueden constituir un riesgo de contaminación de suelos y aguas. Se diferenciaron dos niveles de riesgos: nulo a bajo y medio a alto. Las áreas con riesgo nulo a bajo incluyen áreas urbanas con servicio cloacal, agricultura extensiva, pastoreo, forestación y reserva natural. Las áreas con riesgo medio a alto se han diferenciado de acuerdo con el contaminante potencial: hidrocarburos (poliducto con planta distribuidora y estaciones de servicio), nitratos (áreas urbanas sin servicio cloacal y explotaciones avícolas), agroquímicos (agricultura intensiva) y metales pesados (industrias y rutas con alta densidad de tránsito).

Mapas de cualidades significativas

Mapa de capacidad de uso de los suelos

El mapa básico de suelos fue reinterpretado, evaluando la aptitud de los suelos para el uso agrícola, ganadero o forestal. Se obtuvo así el *mapa de capacidad de uso de los suelos*, a nivel de subclase, según la clasificación del Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU.

Mapas de vulnerabilidad de acuíferos

Estos mapas se elaboraron teniendo en cuenta la profundidad del nivel freático para dos años, uno con el

nivel alto y otro bajo. Por otro lado, se consideraron las características de los suelos y subsuelo, particularmente las propiedades que inciden en la permeabilidad. Para el cálculo de la vulnerabilidad se utilizó el modelo DRASTIC.

Mapa de degradación del suelo por actividades extractivas

Como ya se indicó, las actividades extractivas constituyen la principal causa de pérdida de suelo en el área de estudio. Por lo tanto se consideró esencial elaborar el correspondiente mapa temático. En el mismo se diferenciaron 1) *Áreas decapitadas* y 2) *Canteras*. Para las áreas decapitadas se consideraron los hornos de ladrillos en explotación y sectores donde existió extracción del horizonte A y que en la actualidad se encuentran principalmente baldías o bajo uso ganadero extensivo. La delimitación se realizó mediante fotointerpretación ya que las áreas decapitadas presentan un patrón fotográfico particular que permiten delimitarlas con cierto margen de seguridad; complementándose la identificación con control de campo. Las áreas con decapitación antigua y luego recuperadas o bajo uso urbano resultan de difícil o imposible identificación.

Mapa de Unidades Ambientales Integradas

Este es un mapa síntesis en el que se han integrado unidades de varios mapas (geomorfología, suelos, etc.) en un pequeño número de unidades con características comunes desde el punto de vista ambiental denominadas *unidades ambientales integradas* (UAI). Se diferenciaron así cuatro unidades: 1) *Interfluvios* y 2) *Planicies de Inundación* en el Área Continental y 3) *Planicie Costera* y 4) *Llanura Aluvional* en el Área Costera. Los indicadores e índices desarrollados se aplicaron a estas cuatro unidades ambientales, para cada una de las cuales se obtendrá el correspondiente Índice de Calidad Ambiental.

Mapa de grado de naturalidad

Este es el único mapa con aplicación de los índices de calidad ambiental obtenido hasta el momento. De acuerdo con los cálculos indicados en la Tabla 1a, se obtuvieron para cada unidad ambiental un Índice de Naturalidad variable entre 1 y 0. Para la asignación de grados de naturalidad se usaron los siguientes intervalos de dicho índice: 5 (muy alto): 1,00-0,80; 4 (alto): 0,79-0,60; 3 (medio): 0,59-0,40; 2 (bajo): 0,39-0,20; 1 (muy bajo): 0,19-0,00. Los índices calculados (Tabla 1b) tienen relación razonable con una apreciación intuitiva de la situación ambiental en lo que respecta a naturalidad. Así, el índice más alto corresponde a la unidad Llanura Aluvional, con una superficie importante ocupada por la Reserva Natural Punta Lara. Sin embargo, su grado de naturalidad no llega a la categoría máxima (5) por la presencia de infraestructuras (rutas, urbanización de baja densidad). El índice alto de esta unidad no elevó significativamente el índice de

naturalidad del área de estudio debido a su escasa representación areal. Las demás unidades tienen un índice medio y bajo, habiendo influido principalmente la escasa presencia de ecosistemas climáticos, reemplazados principalmente por usos agrícola y urbano, influyendo también la intervención o contaminación en cursos de agua. Se obtuvo también el Índice de Calidad Ambiental de toda la cuenca ponderando los índices de cada UAI según su superficie.

4. IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES E ÍNDICES Y USO DE MAPAS TEMÁTICOS

La calidad ambiental ha sido analizada desde dos puntos de vista: *ecocéntrico* y *antropocéntrico*. Desde el punto de vista ecocéntrico la calidad ambiental está directamente relacionada con el grado de *naturalidad*. El criterio antropocéntrico tiene en cuenta las cualidades que contribuyen al bienestar humano; así, se considera al ambiente en sus funciones de: *fuentes de recursos*, *sumidero* y *proveedor de servicios/soporte*. Se prevé en un estadio más avanzado del proyecto incorporar indicadores socio-económicos. En cada caso los indicadores se agrupan de acuerdo con el esquema de *presión* (de las actividades sobre el ambiente), *estado* (del medio en la actualidad) y *respuesta* (de la gestión administrativa ante el deterioro). Además de los indicadores comunes a todos los grupos del proyecto, se han introducido indicadores específicos para reflejar problemáticas locales. Para cada una de las Unidades Ambientales Integradas (UAI) se obtendrá un Índice para las cuatro funciones del ambiente (naturalidad, fuente, sumidero y soporte/servicios). Cada índice tiene un valor numérico que varía entre 0 para la peor situación ambiental y 1 para la mejor. Se calcula luego el índice para cada función de toda el área de estudio, ponderando la superficie que ocupa cada UAI. El paso final es integrar los índices de dichas funciones para obtener el *Índice de Calidad Ambiental* de toda la cuenca.

Los mapas temáticos han tenido una importancia fundamental en esta metodología ya que varios de los indicadores se obtuvieron a partir de ellos, ya sea en forma directa o a través del cruzamiento de dos o más mapas (Tabla 2). En algunos casos, se complementó con información de otras fuentes, por ejemplo, vegetación y reservas naturales. En la mayoría de los casos, los cálculos se refirieron finalmente al Mapa de Unidades Ambientales Integradas. Un ejemplo de aplicación de los mapas temáticos es el indicador "Suelos de clase I, II y III gravemente degradados por decapitación", el cual ha sido considerado al evaluar la función Fuente de Recursos del ambiente. La unidad de medida del indicador es el porcentaje de suelos decapitados respecto a la superficie de suelos clases I, II y III de cada UAI. Esto requirió el cruzamiento de los mapas de: 1) *degradación del suelo por actividades extractivas* 2) *capacidad de uso de los suelos* y 3) *unidades ambientales integradas*.

FIGURA 2: MAPA DE GRADO DE NATURALIDAD

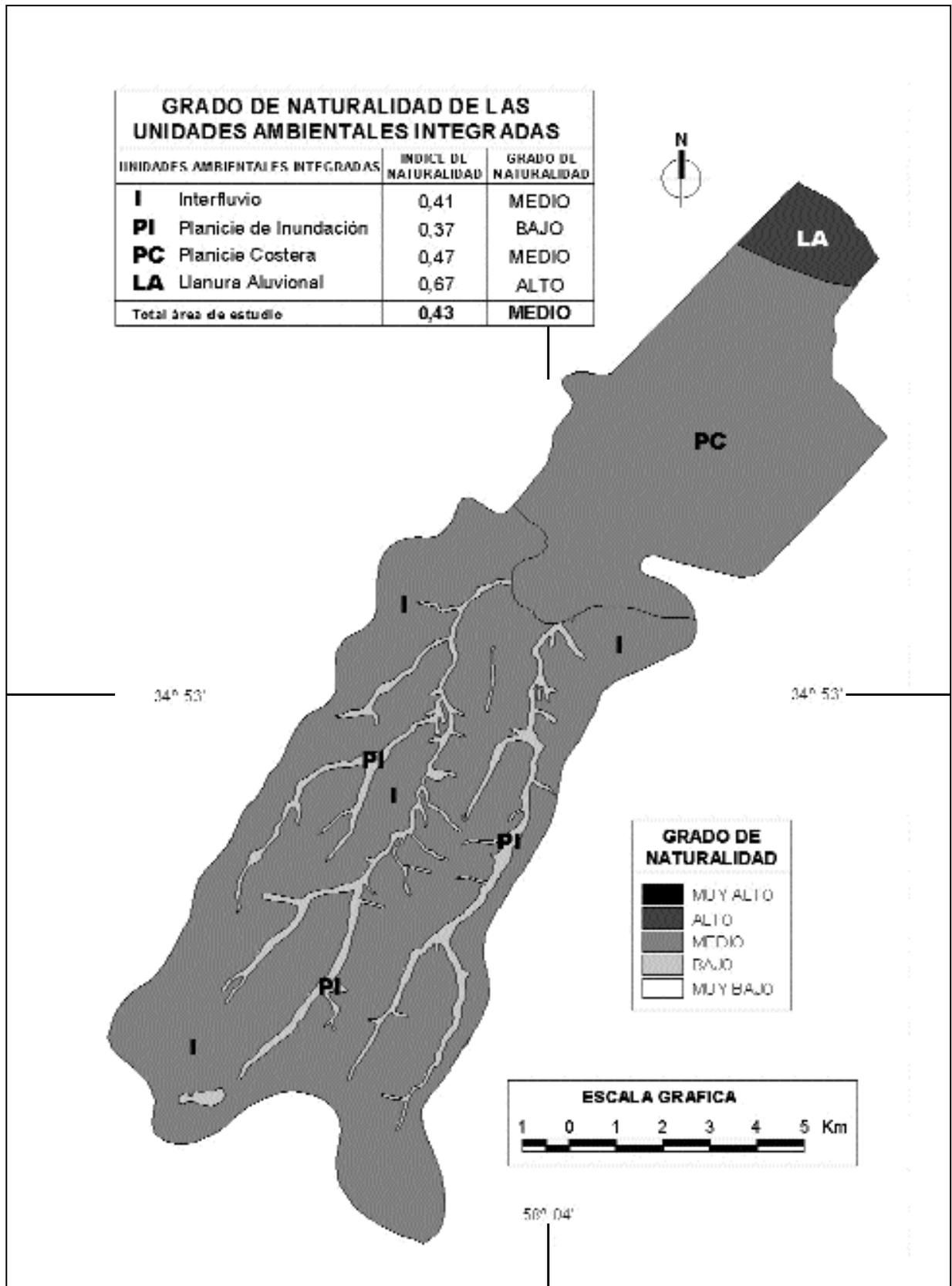


TABLA 1a. NATURALIDAD. LISTA DE INDICADORES, DATOS MEDIDOS, VALORES E ÍNDICES DE NATURALIDAD DE LAS UNIDADES AMBIENTALES INTEGRADAS

Indicadores	Unidad de medida	Intervalo		Interfluvios		Planicies de inundación		Planicie costera		Llanura aluvional	
		1	0	Dato medido	Valor	Dato medido	Valor	Dato medido	Valor	Dato medido	Valor
Presión	Km/Km²	0	>5	0,23	0,95	0,22	0,96	0,32	0,94	1,37	0,73
Estrado											
Cobertera de ecosistemas climáticos	%	100	0	10	0,10	20	0,20	65	0,65	80	0,80
Grado de intervención en cursos de agua	%	0	100	-	-	80	0,20	100	0,00	100	0,00
Cursos fluviales contaminados	%	0	100	-	-	100	0,00	100	0,00	100	0,00
Area con riesgo de contaminación respecto zona de acuíferos	%	0	100	40	0,60	90	0,10	30	0,70	20	0,80
Especies de vertebrados de interés	No/No total	1	0	0,17	$\frac{0,17}{0,29}$	0,22	$\frac{0,22}{0,14}$	0,23	$\frac{0,23}{0,32}$	0,21	$\frac{0,21}{0,36}$
Respuesta											
Territorio protegido	%	100	0	0	0,00	0,00	0,00	15,78	0,16	91,64	0,92
Índice de Naturalidad					0,41		0,37		0,47		0,67

TABLA 1b. SUPERFICIES E ÍNDICES Y GRADOS DE NATURALIDAD DE LAS UNIDADES AMBIENTALES INTEGRADAS Y DEL ÁREA DE ESTUDIO

<i>Unidad ambiental integrada</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Índice de Naturalidad</i>	<i>Grado de Naturalidad</i>
Interfluvios	73,62	0,41	3 Medio
Planicies de inundación	8,50	0,37	2 Bajo
Planicie costera	37,81	0,47	3 Medio
Llanura aluvional	3,72	0,67	4 Alto
Total Área de Estudio	123,65	0,43	3 Medio

Cada uno de los índices puede ser representado en un mapa. Como un ejemplo de la metodología se incluye la elaboración del Índice de Naturalidad (Tabla 1), el cual se ha reflejado en el correspondiente mapa temático (Mapa de Grado de Naturalidad, Fig. 2).

Los indicadores e índices ambientales son herramientas

importantes para traducir y presentar información en forma concisa, fácilmente comprensible y manejable por gestores de política ambiental, no especialistas y público en general (Neimanis y Kerr, 1996). De acuerdo con esta premisa, los mapas constituyen una de las formas más efectivas para representar la información provista por los indicadores e índices.

TABLA 2. MAPAS TEMÁTICOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES

Naturalidad	<i>Indicador</i>	<i>Mapas temáticos</i>
	Densidad de vías de comunicación	Infraestructura
	Cobertera de ecosistemas climáticos	Geomorfología Suelos Uso de la tierra Vegetación
	Área con riesgo de contaminación respecto a zona de acuíferos	Vulnerabilidad del acuífero freático Isofreático Suelos Uso de la tierra
	Territorio protegido	Uso de la tierra
Fuente de recursos		
	Territorio dedicado a monocultivo	Uso de la tierra
	Áreas dedicadas a actividades extractivas	Uso de la tierra. Degradación de suelos por actividades extractivas
	Crecimiento de las actividades extractivas	Uso de la tierra (1956,1965,1972,1985,1996)
	Población en relación con suelos de alta calidad	Capacidad de uso de los suelos Densidad de población
	Diversidad de hábitats	Geomorfología Suelos Vegetación
	Área ocupada por árboles, arbustos y pastizales naturales	Uso de la tierra Vegetación
	Suelos de la clase I,II y III dedicados a la agricultura	Uso de la tierra Capacidad de uso de los suelos
	Suelos de clases I,II y III gravemente degradados por: 1) decapitación, 2) cavas, 3) urbanización	Capacidad de uso de los suelos Degradación de suelos por actividades extractivas (1) (2) Uso de la tierra (3)
	Área de suelos clase I, II y III protegidos	Uso de la tierra. Capacidad de uso de los suelos

Sumidero	
Producción ganadera intensiva	Uso de la tierra
Area ocupada por vaciaderos industriales	Uso de la tierra
Nitratos en suelos	Suelos Riesgo de contaminación
Metales pesados en suelos	Suelos Riesgo de contaminación
Contaminantes en aguas subterráneas (nitratos, metales pesados, agroquímicos, hidrocarburos)	Ubicación de pozos de muestreo Contaminación por nitratos Contenido de contaminantes Riesgo de contaminación
Soporte-Servicios	
Densidad de población	Densidad de población
Territorio sujeto a riesgos naturales	Topografía y pendientes Geomorfología Riesgos de inundación y/o anegamiento
Area construida afectada por riesgos naturales	Uso de la tierra Topografía y pendientes Geomorfología Riesgos de inundación y/o anegamiento
Red de comunicaciones afectada por riesgos naturales	Infraestructura Riesgos de inundación y/o anegamiento
Superficie ocupada por canteras	Degradación de suelos por actividades extractivas
Canteras recuperadas o protegidas	Degradación de suelos por actividades extractivas
Sitios de interés cultural o natural	Uso de la tierra
Territorio degradado	Degradación de suelos por actividades extractivas Riesgo de contaminación

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BERGER, A.R. 1996.
The geoinicator concept and its application: an introduction.
En A.R.Berger & W.J. Iams (eds.) Geoindicators. Assessing rapid environmental changes in earth systems. 1-14. A.A.Balkema. Rotterdam.
- CENDRERO UCEDA, A. 1997.
Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones.
Naturzale. 12:5-25.
- GONZÁLEZ, N.; HERNÁNDEZ, M.A. Y RUIZ DE GALARRETA, V.A. 1999.
Investigación de la contaminación en el acuífero freático.
Cuenca de los arroyos Martín-Carnaval. Buenos Aires, Argentina.
En A. Tineo (ed.). Hidrología subterránea. Serie de Correlación Geológica No. 13: 195-202.
- HURTADO, M.; GIMÉNEZ, J.E; CABRAL, M.; DA SILVA, M.; MARTÍNEZ, O. Y SÁNCHEZ, C. 2001.
Implicancias ambientales de la actividad extractiva del suelo
y su comparación con el uso agropecuario en el Gran La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio y I Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Area del Mercosur. Mar del Plata. 28-31 marzo 2001. En Resúmenes (p. 17) y CD.
- NEIMANIS V. Y KERR A. 1996.
Developing national environmental indicators.
En A.R.Berger & W.J. Iams (eds.) Geoindicators. Assessing rapid environmental changes in earth systems. 369-381. A.A.Balkema. Rotterdam.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999.
Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.
United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 436. 2nd edition. Washington DC.



Mineralogía y usos industriales de sedimentos arcillosos de la provincia de La Rioja

Karlsson, Alicia - Ayala, Rosa - Mansilla, Lylian

Resumen

El aprovechamiento de las arcillas constituye un importante rubro de la industria extractiva de la región del Noroeste Argentino, en ella la provincia de La Rioja cuenta con las mayores reservas de material arcillosos, que esta relacionado principalmente con la Cuenca del Paganzo, estudiándose una serie de materiales arcillosos pertenecientes a diversos estratos sedimentarios presentes en el distrito Patquia-Amaná. Los materiales arcillosos se denominan "Arcilla Negra", "Arcilla Roja", "Arcilla Blanca" y "Silalina". El material fue estudiado desde el punto textural, realizándose las determinaciones mineralógicas de las fracciones arenosas y arcillosas, para determinar no solo las especies minerales, sino también sus diferentes variedades. La "Arcilla Negra" presenta 41% Kaolinita $1M_D$, 30% Illita $2M_1$ y 20% Cuarzo. La "Arcilla Roja" corresponde a 24% Nontronita, 33% Illita $2M_1$, 32% Kaolinita $1M_D$ y 10% Hematita. La "Arcilla Blanca Carbonática" corresponde a 52% Kaolinita desordenada, 35% Illita trioctaedrica, 7% Belleidita y 4% Aragonita. La "Silalina" se muestra como compuesta por 52% Palygorskite y 47% Kaolinita desordenada. Los usos industriales se corresponden con las características físicas, determinándose así útiles para: refractarios, cerámicos blancos, cementos blanco, industrias del papel, aceitera, cosmética y peletería entre las más importantes.

1. ZONA Y MATERIAL DE ESTUDIO

El aprovechamiento de las arcillas constituye un importante rubro de la industria extractiva de la región del Noroeste Argentino (Iñiguez 1968). Siendo dentro de la región del NOA la provincia de La Rioja la que cuenta con mayores reservas de material arcillosos, su producción se ha iniciado en la mitad del siglo pasado y se viene incrementando acorde con la evolución de la industria cerámica blanca, roja y refractarios.

En general la mayoría del material arcilloso productivo esta relacionado con la Cuenca del Paganzo, de carácter continental, que es la más extensa e importante de

la Provincia de La Rioja. La sucesión estratigráfica de la cuenca comienza con rocas cristalinas predominantemente graníticas del Precámbrico-Paleozoico inferior, en las que se apoyan en discordancia sedimentos continentales del Grupo Paganzo (Azcu y et al 1970) que contienen las formaciones Lagares del Carbónico, La Colina del Pérmico temprano y Amaná del Permo-Triásico.

En este trabajo se estudian una serie de materiales arcillosos pertenecientes a diversos estratos sedimentarios presentes en el distrito Patquia-Amaná. Los materiales arcillosos se denominan "Arcilla Negra", "Arcilla Roja", "Arcilla Blanca" y "Silalina".

El material perteneciente al producto denominado "Arcilla Negra" fue extraído de los yacimientos ubicados en el flanco occidental de la Sierra de Vilgo, distrito de Amaná, departamento Independencia, distante 86 km al

Entregado: 27 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 24 de Septiembre de 2001

Cat. de Métodos de investigación mineral, Universidad Nacional de Córdoba; Av. Sabattini 1672, (5014) Córdoba, Argentina.

e-mail: karlsson@onenet.com.ar

oeste de Patquia. El área muestra fuertes desniveles como consecuencia del fallamiento en bloque, se distinguen una sucesión de lentes arcillosos negros a grises intercalados con bancos de arcosa rosada. El yacimiento viene siendo explotado en forma continua desde la década de los años 50, se calculó una reserva de 400.000 tn.

Estos materiales pertenecen a la base del grupo Formación Lagares, constituidos por lentes de arcillas carbonosas (Iníiguez 1968), que se disponen en mantos de hasta 4m. Esta cuenca es consecuencia de una sedimentación continental en un ambiente fluvial de baja energía de transporte.

El material perteneciente al producto denominado "Arcilla Roja" fue extraído de los yacimientos presentes al oeste del cerro Horcobola, en el departamento Facundo Quiroga, a 15 km al NO Del Carrizal. En la zona se destaca una sucesión de conglomerados y areniscas con intercalaciones pelíticas, sobre las cuales se dispone un banco de 1,5 m de arcilla verde laminada, luego 4 m de areniscas y finalmente 3 m de arcilla color morado, con niveles areniscosos intercalados, el rumbo predominante es N-S.

Este material arcilloso muy impurificado pertenece a la Formación La Colina (Paganzo II), sedimentos continentales, con ambientes de deposición fluvio-lacustre, abanicos aluviales y canales fluviales. Esta Formación Pérmica temprana pertenece a los depósitos de la base del Paganzo.

El material "Arcilla Blanca" está asociado a depósitos de pirofilita emplazados en la región morfoestructural denominada Sistema de Famatina, sobre el flanco occidental de la sierra del mismo nombre a 40 km de la localidad de Villa Unión, departamento Lavalle, se disponen en una faja de alteración hidrotermal donde predomina la silificación y sericitización, de color blanquecino, que totaliza unos 5 km en sentido N-S y algunas centenas de metros de ancho. La mineralización se originó por efectos hidrotermales sobre metamorfitas de bajo grado, del Ordovícico inferior.

El material "Silalina" corresponde a un material precedente de eventos volcánicos de naturaleza riolítica a andesítica, que tuvo lugar durante el terciario. El material estudiado pertenece a un yacimiento localizado en el departamento independencia, pedanía Iglesia a 8 km de la localidad de Paganzo. El área es suave, con escasas lomadas, la litología aflorante corresponde a los Estratos Calchaqueños. Estos depósitos cineríticos arcillosos se presenta en cuerpos lenticulares que se disponen a lo largo de centenas de metros y 50 a 80 m de ancho a modo de lomadas alargadas en dirección NNO-SSO. Se han indicado una reserva del orden de 600 tn.

2. MÉTODO DE ESTUDIO

El material fue estudiado desde el punto textural, realizándose determinación mineralógicas de las fracciones

arena y arcilla. La fracción de dos micrones fue concentrada sin destrucción de cementos previos. Se plantea el estudio roentnográfico del material arcilloso para determinar no solo la especie mineral, sino también sus diferentes variedades. Se confeccionan preparados orientados, corridos con tubo de cobre y monocromador de hierro, las posiciones de los picos (XRD) son corregidas con silicio en polvo. Por medio de la cuantificación areal de refracciones se determina semi-cuantitativamente los porcentajes de los minerales mayoritarios. Los minerales se determinan por comparación de los valores de las reflexiones (fig. 1) con las tarjetas del "Joint Committee of Powder Diffraction Standard" (JCPDS), o con valores citados en la bibliografía indicada al pie de las tablas.

3. RESULTADOS

La muestra denominada "Arcilla Negra" corresponde petrológicamente a una lutita negra, carbonosa, untuosa al tacto y algo lajosa. Presenta 55% de limo grueso compuesto por cuarzo, feldespato y mica. Alrededor de 9.5% de materia orgánica. Las pérdidas por calcinación a 900°C es de 14%. La composición química corresponde a 35,52% Al_2O_3 y 54,97% SiO_2 . El análisis de la composición mineral (tabla I) corresponde a 41% Kaolinita 1 M_D (JCPDS n° 6-0221), 30% Illita 2 M_1 (JCPDS n° 9-334) y 20% Cuarzo (JCPDS n° 5-0490).

La muestra denominada "Arcilla Roja" es un material areno limoso pardorrojizo sin estratificación, bien masivo. Presenta 50% de material arenoso fino a limoso compuesto por cuarzo, feldespato y micas. Muestra como características físicas distintiva comportarse como un material levemente expansible, mal conductor de la electricidad y con pérdida del 9% por calcinación a 900°C. Su composición química es de 6.5% de óxidos de hierro, 35,3% Al_2O_3 y 58,2% SiO_2 . Su composición mineral (Tabla II) es de 24% Nontronita, 33% Illita 2 M_1 (JCPDS n° 9-334), 32% Kaolinita 1 M_D (JCPDS n° 6-0221) y 10% Hematita (Blacke et al 1966).

El material denominado "Arcilla Blanca Carbonática" es un material arcilloso blanco suave al tacto. Como características físicas distintivas muestra ser un material levemente expansible y mal conductor de la electricidad. Su composición química corresponde a 44.51% SiO_2 y 34.80% Al_2O_3 . La composición mineral (tabla III) es de 52% Kaolinita desordenada (JCPDS n° 12-447), 35% Illita trioctaedrica (JCPDS n° 9-343), 7% Belleidita (MacEwan 1961) y 4% Aragonita (JCPDS n° 5-453).

El material denominado "Silalina" se muestra como un sedimento limo arcilloso de color blanco, con alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y con composición química de 60% SiO_2 y 40% Al_2O_3 . La composición mineral (tabla IV) es de 52% Palygorskite (JCPDS n° 21-550) y 47% Kaolinita (JCPDS n° 12-447).

FIGURA 1: DIFRAGTOGRAMA

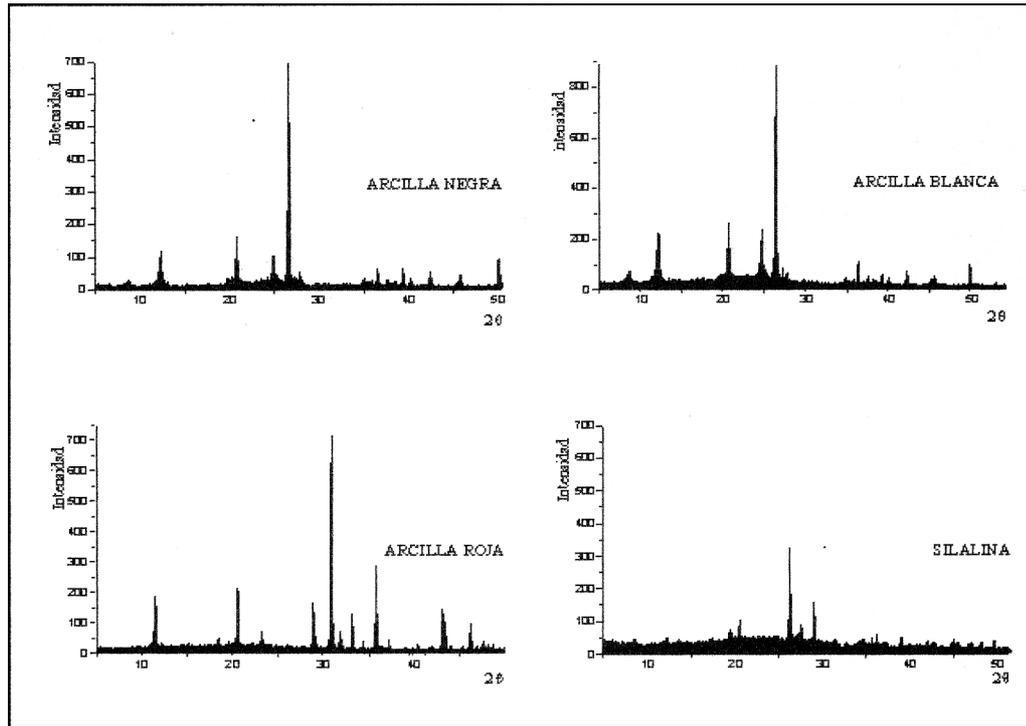


TABLA 1: ANÁLISIS ROETNOGRÁFICO DE ARCILLA NEGRA

Distancias Interespacial	Intensidad de la Reflexión		
	Kaolinita	Illita	Cuarzo
9.97		10	
7.20	50		
4.47	10	10	10
4.10	50	10	
3.51	50		
3.27		100	100
3.16	20	20	
2.51	20	20	
2.41	20	20	20
2.24	10	10	10
2.20		10	
2.09	10	10	
1.95	30	30	
1.79		10	
	270	240	140
%	41	30	20

Los minerales determinados corresponden a:
 Kaolinita1 M_D (JCPDS n° 6-0221) • Illita 2 M₁ (JCPDS n° 9-334)
 Cuarzo (JCPDS n° 5-0490)

TABLA 2: ANÁLISIS ROETNOGRÁFICO DE ARCILLA ROJA

Distancias Interespacial	Intensidad de la Reflexión			
	Nontronita	Illita	Kaolinita	Hematita
9.60	10			
7.71			50	
7.67			50	
4.76	20			
4.31	50	50		
3.83	20	20	20	
3.08		40	40	
3.05	30		30	
2.88		100		
2.80			30	
2.69		40		40
2.59	10	10		
2.50	60	60	60	60
2.46		10		
2.41	10	10	10	
2.22	10	10	10	10
2.09	60			
2.08			30	30
1.99		10		
1.95		40	40	
1.90	10			
1.88			20	
1.86	20		20	
	310	430	410	130
%	24	33	32	10

Los minerales determinados corresponden a:
 Nontronita (KEELING, 2001) • Illita 2M₁ (JCPDS n° 9-334)
 Kaolinita1M_D (JCPDS n° 6-0221) • Hematita (Blacke et al 1966)

TABLA 3: ANÁLISIS ROETNOGRÁFICO DE ARCILLA BLANCA CARBONÁTICA

Distancias Interespacial	Intensidad de la Reflexión			
	Kaolinita	Illita	Belleidita	Aragonita
10.29		40		
7.25	80			
5.05		10		
4.50	10	10	10	
4.27	80			
4.17	10			
3.70	10	10		
3.60	80			
3.40				10
3.36	100	100		
3.26	10			10
3.21	10			
2.57	20	20	20	
2.50		10		
2.46		30		
2.39	10		10	
2.34	30			
2.29	30			
2.24			20	
2.13		30	30	
1.99	20			
1.98	30	30		30
1.82	60			
	590	400	90	50
%	52	35	7	4

Los minerales determinados corresponden a:

Kaolinita desordenada (JCPDS n° 12-447) (*Brindley 1946*)

Illita trioctaédrica (JCPDS n° 9-343) • Belleidita (*McEwan 1961*)

Aragonita (JCPDS n° 5-453)

4. DISCUSIÓN

Dentro del grupo de las esmectitas encontramos nontronita en el sedimento arcillosos "Arcilla Roja" asociado con óxidos de hierro, esta especie presenta una sustitución parcial de hierro por aluminio en las hojas tetraédricas distorsionando y debilitando la red, lo que genera la pérdida de las reflexiones más intensas y de más alto ángulo (*Keeling et al 2000*). Las montmorillonitas y nontronitas son comunes en sedimentos jóvenes sin diagénesis (*Uesbi - ma et al 2001*).

La "Arcilla Blanca Carbonática" muestra la presencia de belleidita, determinada por las reflexiones similares al mineral determinado por (*McEwan 1961*). Esta belleidita se presenta como término límite de la serie isomorfa de la montmorillonita, no mostrando diferencias apreciables con la misma, algunos estudios recientes interpretan a algunas belleiditas como mezclas o interestratificados de illita e esmectita, esta generalmente asociada a ambientes básicos.

TABLA 4: ANÁLISIS ROETNOGRÁFICO DE SILALINA

Distancias Interespacial	Intensidad de la Reflexión	
	Palygorkita	Kaolinita
10.41	60	
7.07		40
5.10	50	
4.55	60	60
4.30	60	60
4.10	50	50
3.68	50	
3.79		100
3.23	60	
3.00	40	40
2.72	30	30
2.53	40	40
2.47		30
2.29	30	30
2.21		30
2.10	30	
2.00		30
1.81	20	20
	580	560
%	52	47

Los minerales determinados corresponden a:

Palygorskita(JCPDS n° 21-550) (*Bradley 1940*)

Kaolinita (JCPDS n° 12-447) (*Brindley 1946*)

La kaolinita desordenada tipo "fireclay" se presenta asociada al material arcilloso de origen hidrotermal y al volcánico. Según (*Brindley et al 1946*) queda indicada porque la reflexión 7.15 Å se desplaza a 7.20 Å, son minerales pocos definidos con supresión no predecible y debilitamiento de algunas reflexiones y con reflexiones menos nítidas que las kaolinitas bien cristalizadas. Estas kaolinitas pueden interpretarse como un enlace entre kaolinita y haloisita (*Iñigo et al 2000*). El politipo de kaolinita 1M_D que se presenta en el material sedimentario asociado al Paganzo sería desordenadas en la dirección de los ejes b y a.

La variedades de illita que encontramos en general se corresponde a la 2M, con dos capas monoclinicas levemente desordenada y con menos potasio y mayor grado de hidratación que las trioctaédricas, lo anterior esta indicado por la variabilidad de la reflexión (001) con definición pobre de la línea. Solo en el material arcilloso de origen hidrotermal se presenta el politipo trioctaédrica procedente del material original rico en micas cuya fuente primaria la constituyen las rocas ígneas en clima árido aluviales con condiciones de alteración no muy drásticas.

La referencia de la presencia de palygorskita a aumentado en los últimos años debido a la perfección de las técnicas de análisis. Esta queda definida por la reflexión 10.5 muy intensa y su alta capacidad de intercambio

(Neaman *et al* 2000). Es típica de sedimentos continentales de cuencas poco profundas formadas por alteración de cenizas volcánicas de edad terciaria.

5. CONCLUSIÓN

En el área de estudio se han determinados materiales arcillosos de diversa composición mineral, habiendo determinado sedimentos con kaolinitas desordenadas, lo que les confiere algo de plasticidad y mayor CIC e Illita dioctaédricas y trioctaédricas. Estos minerales arcillosos son acompañados de esmectitas poco frecuentes como nontronita y belleidita, que le confieren a los sedimentos mayor plasticidad y CIC. Asociado a los sedimentos vulcanogénicos encontramos arcillas “zeolíticas” como la Palygorskita.

Esta destacada variedad de material arcilloso condiciona los usos industriales, correspondientes con las características físicas intrínsecas. Así la muestra denominada

“Arcilla Negra” debe ser calcinada para eliminar la materia orgánica, dando un material de baja plasticidad y CIC, pero con temperaturas de fusión cercana a 1000°C. Todo lo anterior lo hace apropiado para cerámicas refractarias, cerámicas blancas, cementos blancos, industria del papel e industria del cosmético. La muestra denominada “Arcilla Roja” es un material plástico, con CIC moderado y fusión a 900°C, siendo su uso industrial apropiado como refractarios, cerámicos blancos, cementos blanco, industria del papel e industria aceitera. El material denominado “Arcilla Blanca Carbonática” es un material levemente plástico, de CIC moderado y fusión de cerca de 900°C, esto lo hace útil para refractarios y fabricación de cerámica aislante. El material denominado “Silalina” presenta baja densidad, alta CIC y punto de fusión de 800°C, los usos industriales están indicados para arcillas decolorantes, purificadores de agua, desodorantes, fabricación de cementos livianos, fabricación de cerámicos livianos y en la industria de la peletería.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AZCUY, C.L Y J.R. MORELLI, 1970.
Geología de la Comarca Paganzo –Amana.
El grupo Paganzo: formaciones que la componen y sus relaciones. RGA 24:405-459.
- BLACKE, R.Z., R.E. HESSEVICK, T. ZOLTAI Y L.W. FINGER, 1966.
Hematita structure.
Amer.Mineral. 51:123-129
- BRADLEY, W.F., 1940.
The structural scheme of attapulгите.
America mineralogist 25:405-410.
- BRINDLEY, G. Y K. ROBINSON, 1946.
The structure of kaolinite.
Mineralogical Magazine 27:242-253.
- IÑIGUEZ, A. M., 1968.
Minerales de arcillas interestratificadas en los sedimentos del Paganzo, Provincia de La Rioja.
Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie, Vol. VI: 272-300.
- IÑIGO, A.C, D. TESSIER Y M. PERNES, 2000.
Use of x-ray transmission diffractometry for the study of clay-particle orientation at different water contents.
Clays and Clay Minerals Vol. 48:682-692
- KEELING, J.L., M.D. RAVEN Y W. P. GATES , 2000.
Geology and characterization of two hydrothermal nontronites from weathered metamorphic rocks at the Uley graphite mine, South Australia.
Clays and Clay Minerals Vol. 48:537-548
- MACEWAN, M.C.D., 1961.
The montmorillonite minerals.
Mineralogical Society of Great Britain 143-207.
- NEAMAN, A. Y S. ARIEH, 2000.
Kinetics of hydrolysis of some palygorskite-containing soil clays in dilute salt solutions.
Clays and Clay Minerals Vol. 48:708-712.
- UESHIMA, M. Y K. TAZAKI, 2001.
Possible role of microbial polysaccharides in nontronite formation.
Clays and Clay Minerals Vol. 49:292-299.



Procesamiento de imágenes digitales: una aplicación para análisis de curvas de nivel y cálculo de volúmenes

Minkoff, Darío¹ - Fernández, Sandra¹

Resumen

Partiendo de fotografías que describen la silueta de curvas de nivel, se presenta una metodología por la cual se llega a una reproducción digital que puede ser analizada en una PC. La metodología permite analizar cualquier característica geométrica tanto de la curva en sí como del volumen generado por las curvas de nivel. Para esto se cuenta con algoritmos desarrollados en MATLAB en los cuales las imágenes formadas por filas y columnas de pixels son interpretadas como un sistema de coordenadas x e y . Esta interpretación final de los objetos a analizar le confiere una gran flexibilidad a la metodología, ya que termina siendo un problema meramente geométrico a partir de la representación discreta de la silueta de las curvas de nivel.

La aplicación estudia la forma de la cavidad de pozos de erosión y la posición de la máxima profundidad que se produce en modelos a escala de estribos de puentes para unas determinadas condiciones de flujo y sedimento. Para esto se concibió una técnica que consiste en definir curvas de nivel a partir de fotografías sucesivas de la cavidad de erosión conteniendo agua a niveles pre-determinados entre 0.5 y 1 cm.

La metodología consiste en digitalizar una imagen en planta en la que se distingue el borde de la curva de nivel o la silueta que esta encierra, junto con un valor de cota y puntos de referencia donde se pueda extraer la escala. Esta imagen es pretratada con un software de procesamiento de imágenes digitales (Photoshop, Paint Shop Pro, etc) donde se realiza la segmentación de la silueta de la curva en color blanco con el fondo de la imagen en color negro. El resultado es una imagen binaria donde la silueta de color blanco esta representada por pixels que tienen valor 1 (encendido), mientras el fondo color negro tiene asignado valor 0 (apagado).

Posteriormente se analiza en MATLAB donde se interpreta como una matriz que contienen estos 0's y 1's. Cada elemento de la matriz es un parche cuadrado que junto con la escala representa una porción perfectamente medida de la figura segmentada. Con operaciones matemáticas con estas celdas se puede llegar a calcular en forma discreta áreas, perímetros, momentos de inercia, etc. Luego se calcula el volumen con los datos de área y cota entre dos curvas de nivel sucesivas.

Entregado: 20 de Junio de 2001 ■ Aceptado: 01 de Octubre de 2001

1. Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Alem 1253.
(8000) Bahía Blanca. Argentina.

e-mail: dminkoff@ceia.uns.edu.ar
sanfer@criba.edu.ar

1. OBJETIVO

Dado el interés práctico del tema, que se relaciona con fallos de puentes, en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid se realizaron ensayos sistemáticos de erosión en estribos de puentes como etapa experimental de la tesis doctoral "Estudio experimental de la influencia de mezclas de sedimentos arenosos bimodales en el proceso de socavación de estribos" (Fernández 2000).

El avance del estribo de un puente o espigón en el canal principal crea una obstrucción y una perturbación al estado de equilibrio del transporte de sedimento en un río aluvial. El flujo se acelera, creándose un complicado sistema de vórtices que se considera que son la causa principal de erosión. El resultado es que el lecho alrededor del obs-

táculo es erosionado (Fig. 1).

El objetivo principal del trabajo es calcular el volumen y perímetro del pozo de socavación que se produce alrededor de un estribo. Estos datos se utilizarán para evaluar la magnitud de la erosión y los parámetros que influyen en ella.

2. PROCESO DE OBTENCIÓN DE IMÁGENES

El modelo de lecho móvil elegido para el presente trabajo de investigación fue un canal diseñado para estudiar cuidadosamente la erosión y depósito en el fondo de un río alrededor de pilas de puentes y otras obstrucciones. La sección de trabajo es un tanque plano de sección rectangular, de 213 cm de longitud, 61 cm de ancho y 14 cm de profundidad, en cuyo fondo se puede ubicar una capa de material granular de 7 cm de espesor (Fig. 2).

Para estudiar la forma de la cavidad de erosión y la posición de la máxima profundidad, fue necesario realizar el levantamiento completo de su topografía. Para esto se concibió una técnica que consiste en definir curvas de nivel a partir de fotografías sucesivas de la cavidad de erosión conteniendo agua a niveles predeterminados entre 0.5 y 1 cm.

Para ello, una vez finalizado el ensayo, se provoca el descenso del nivel del agua dentro de la cavidad de erosión mediante una válvula de desagote. Cuando se alcanza el nivel de agua deseado se detiene el descenso, se realiza la lectura del nivel de la superficie de agua mediante un limnómetro. Se colocan tachuelas en la zona de erosión, perfectamente ubicadas con el limnómetro en un sistema de coordenadas (x, y, z), con el propósito de resaltar las zonas de erosión y depósito a la vez de obtener la escala de la fotografía (Fig. 3).

Para hacer resaltar el espejo de agua en la foto se le genera un color uniforme mediante adecuada iluminación. Esto se logra buscando una configuración de reflectores a

FIGURA 1: FOTOGRAFÍA DEL LECHO EROSIONADO

Luego de un ensayo en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid

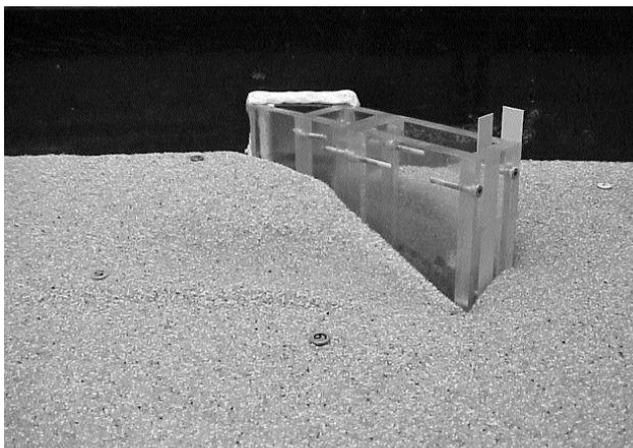
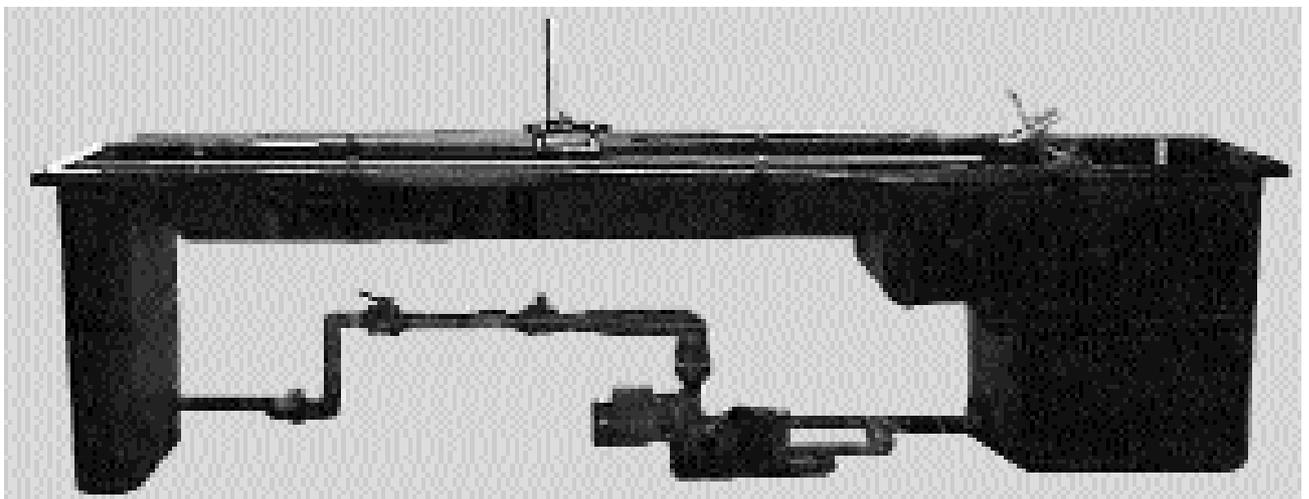


FIGURA 2: FOTOGRAFÍA DEL CANAL EMPLEADO PARA LOS ENSAYOS DE EROSIÓN



los cuales se les antepone un papel semitransparente que torna difusa la iluminación. Una fuente luminosa suspendida desde el techo provoca una reflexión en el menisco cóncavo permitiendo de este modo que el contorno esté siempre visible. En las Fig.3 y Fig.4 se observa la coloración uniforme del espejo de agua.

Logrado esto, se dispara la cámara y se obtiene la imagen. Las fotografías fueron conseguidas con una cámara digital SONY Mavica FD91 que graba directamente las imágenes como archivos en un disco de 3 1/2. La cámara digital va adosada a un carro que se puede desplazar a lo largo del canal y con un sistema de sujeción que le permite hacer coincidir el eje óptico vertical con el borde vertical del estribo. Repitiendo esta tarea para distintos profundidades de agua dentro del pozo de erosión, se obtienen las curvas de nivel del pozo con fotografía digital que servirán de base para el cálculo del volumen y perímetro (Fig. 4).

FIGURA 3: FOTOGRAFÍA MOSTRANDO LA CONFIGURACIÓN GENERAL DE EL CANAL DE ENSAYO.

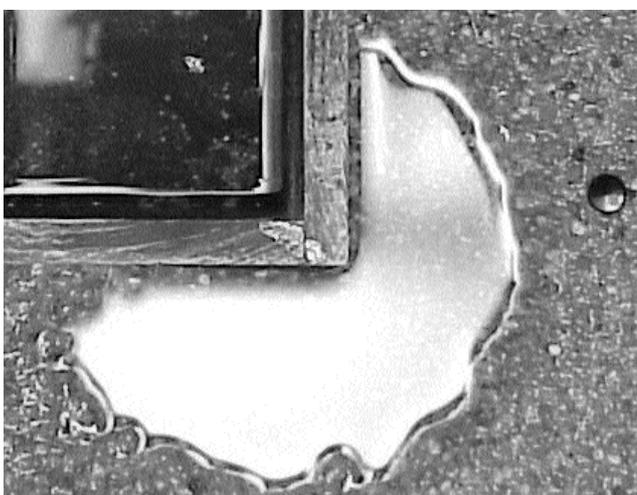
Se observan las tachuelas de referencia y la posición del estribo.



FIGURA 4: SERIE DE ENSAYOS DE DONDE SE OBTENDRÁN LOS VALORES DE ÁREA Y PERÍMETRO



FIGURA 5: SELECCIÓN TÍPICA DE LA ZONA A ESTUDIAR



3. METODOLOGÍA

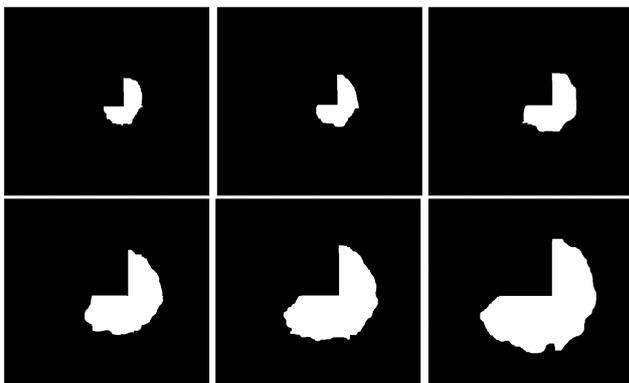
Las imágenes digitalizadas a ser analizadas conforman una matriz de pixels que varían según el modelo de cámara con que fueron obtenidas. Actualmente estos valores oscilan entre los 1024x768 y 1600x1200 pixels. En estas fotos se deben observar la configuración de las tachuelas y la posición exacta de los estribos entre otras (Fig. 3) para obtener la escala. Por lo tanto existe un exceso de información si solo se pretende analizar la forma del espejo de agua. Luego es necesario recortar la imagen de forma tal que contenga solamente la porción a estudiar con lo que se logran matrices mas pequeñas, lo que a su vez trae requerimientos menores en memoria y tiempo de cálculo (Fig. 5).

Para aislar digitalmente la silueta se utilizan herramientas que toman el espectro de colores como una tabla de valores numéricos (*Matlab Image Processing Toolbox User's Guide*). Por lo tanto colores similares difieren numéricamente poco entre sí. Luego se puede realizar una selección a partir de una frontera de color (de valor). De ahí la importancia de la uniformidad de colores en el elemento a estudiar.

No todas las imágenes resaltan la silueta del objeto como se desea. En ocasiones se debe realizar la selección siguiendo el contorno del espejo de agua. Básicamente se emplean dos herramientas distintas del programa *Paint Shop Pro*. La primera es la varita mágica (*Magic wand*) que selecciona el objeto directamente. La segunda es la herramienta mano libre (*Free hand*) que selecciona el borde del objeto, el cual queda escogido al conectar los puntos inicial con el final de la selección del borde.

Posteriormente le es asignado el color blanco a la selección. Invertiendo la selección se obtiene todo el resto de la imagen, a la cual se le asigna el color negro. El resultado es una figura binaria donde el color blanco esta representado por 1's y el color negro queda representado por 0's. Esta operación se llama segmentación. Aplicando este procedimiento al resto de las imágenes se obtienen las siluetas de todos los espejos de agua (Fig. 6).

FIGURA 6: ESPEJOS DE AGUA SEGMENTADOS PERTENECIENTES A UN ENSAYO



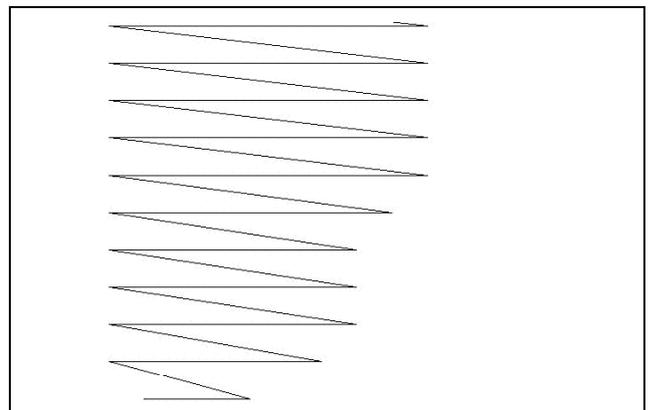
Todas las selecciones de los espejos de agua se crearon con el mismo tamaño en filas y columnas de pixel. Además la cámara fotográfica se mantuvo fija en altura y posición durante el ensayo. Por lo tanto la matriz que contiene los objetos es un sistemas de coordenadas del cual se conocen además la escala de cada objeto. Esta se obtuvo a partir de las distancias entre tachuelas correlacionadas en la foto (pixels) con la medida en el modelo (cm).

Cada elemento de la matriz es un parche cuadrado. El área de cada curva de nivel se obtiene contando todos estos elementos y aplicando la correspondiente escala. Así sucesivamente se pueden obtener cualquier otra característica geométrica. *Matlab* posee funciones que dan estos

parámetros tomando una imagen binaria, las cuales pertenecen al *Image Processing Toolbox*. La función *imfeature* calcula entre otros el área, momentos de inercia, centro de gravedad, etc.

El perímetro se calcula como la suma de las distancias entre todos los pixels contiguos. Para esto, se pasan los elementos que componen el borde a un arreglo de *filas* y *columnas* (f,c). Se plantea un problema porque la función que encuentra estos elementos trabaja barriendo la matriz por filas y columnas, dando un elemento ordenado en zig-zag (Fig. 7).

FIGURA 7: GRÁFICO DEL OBJETO SIN ORDENAR DONDE SE OBSERVA LA CONFIGURACIÓN EN ZIG-ZAG



Por lo tanto se planteó y se desarrolló un algoritmo que ordene estos elementos. El mismo trabaja tomando un píxel de partida y calculando la distancia entre si mismo y todos los demás. El siguiente ordenado sería el que se encuentre a menor distancia entre todos. Así sucesivamente se completa la secuencia a partir del próximo ordenado.

Se debe tener la precaución que el borde del objeto a analizar sea uniforme y no presente perturbaciones como son pixels salientes en bordes muy desparejos (Fig. 8). En esta figura se presenta la silueta de una curva de nivel (en blanco) y el borde del mismo a la derecha (línea de pixels en color negro). Se puede distinguir que en las zonas resaltadas un mismo punto del borde está representado por mas de un píxel. Esto claramente dará errores en el algoritmo de ordenación. Para una mejor aclaración se han distinguido dos tipos de perturbaciones, aunque tengan características similares.

Para la perturbación A, (Fig. 9) se observa que el sentido de ordenación sería A, B... F... hasta finalizar, pero C tiene a D y C' a una misma distancia. El algoritmo puede tomar cualquiera de los dos caminos. Si optara por D seguiría con E, F y así hasta finalizar el recorrido con el píxel que antecede con A y cerraría con C'.

Para la perturbación B (Fig. 10) el sentido normal de ordenación sería A, B... E... hasta finalizar. En cuyo caso quedarían B' y C' para unirse al píxel que antecede con A. Pero B tiene a igual distancia a B' y C. Lo mismo con

FIGURA 8: SILUETA DE UNA CURVA DE NIVEL DONDE SE OBSERVAN PERTURBACIONES TÍPICAS EN EL BORDE

Producto de que este sea muy desparejo

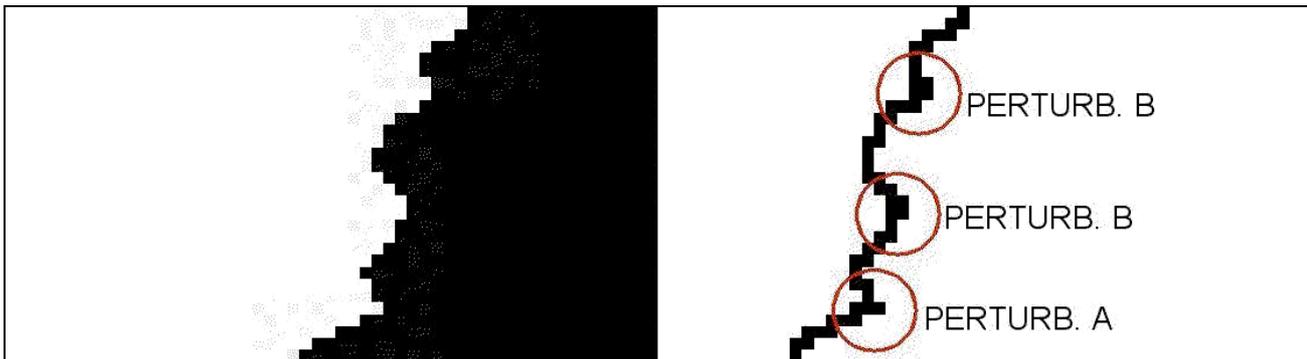


FIGURA 9: BORDE DE UN OBJETO DONDE SE OBSERVA UNA PERTURBACIÓN A EN EL BORDE

Producto de una segmentación de mala calidad

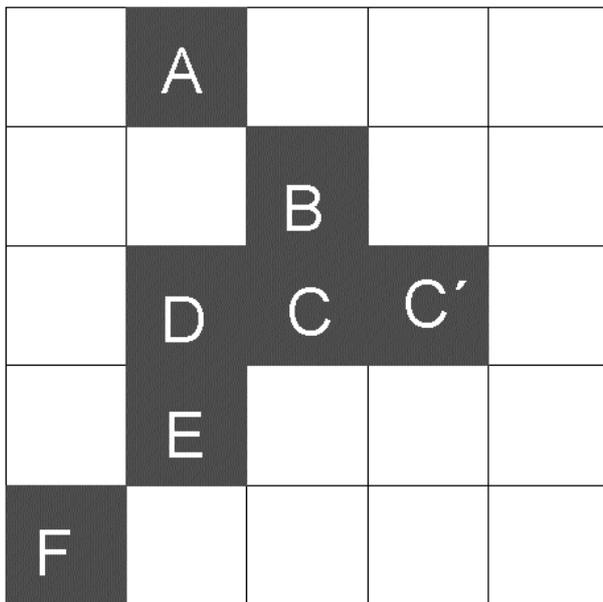
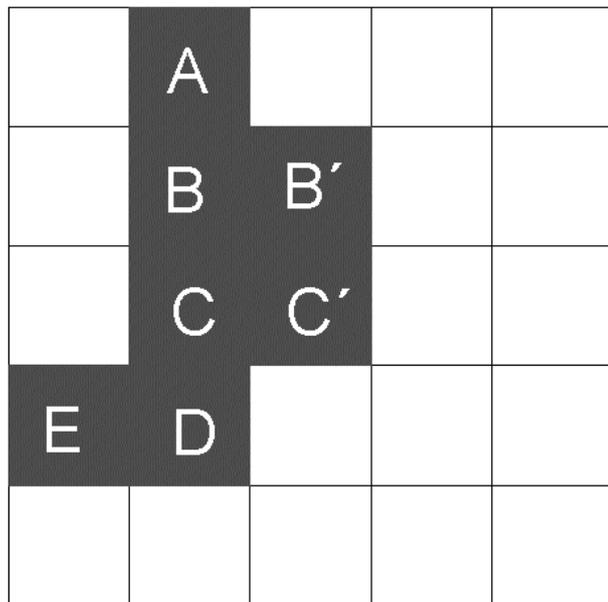


FIGURA 10: BORDE DE UN OBJETO DONDE SE OBSERVA UNA PERTURBACIÓN B EN EL BORDE

Producto de una segmentación de mala calidad



C que tiene a igual distancia a C' y D. Cualquier camino que tome el algoritmo arrastrará errores.

Estos tipos de errores se pueden corregir al segmentar el espejo de agua, o posteriormente se pueden eliminar del arreglo al cual pertenecen. La primera forma consiste en aplicar algún filtro sobre la fotografía. La segunda opción es aplicable con el programa aquí desarrollado.

Una vez que el borde se encuentra ordenado queda por corregir el efecto dentado que se produce por estar este compuesto de pixels (Minkoff et al, 2000). Esta otra perturbación induce errores apreciables solamente en la determinación del perímetro, y no en las otras variables de interés. La solución adoptada para disminuir esta alteración es promediar cada píxel con los de su entorno inmediato tomando 1, 2 o 3 elementos a cada lado dependiendo

de la cantidad de pixels que compongan el borde. A menor cantidad de pixels del objeto, menor número de elementos tomados de su entorno.

La operación se puede repetir si el resultado no es visualmente aceptable. Pero aplicar mas de una o dos veces esta especie de filtro puede llegar a deformar el objeto, en especial los pertenecientes a espejos de agua pequeños. Esto se debe a que sus bordes están formados por una cantidad pequeña de puntos (Minkoff et al, 2000).

El siguiente paso es el cálculo del volumen del vaso formado por el efecto de la erosión. Se utiliza la fórmula del troncocono: volumen= promedio de las áreas por la altura. Así sucesivamente para cada espejo de agua, la suma da el volumen total.

4. CALIBRACIÓN DEL MÉTODO

Del procedimiento interesa obtener el área y el perímetro de espejos de agua. Ambas medidas se obtienen midiendo sobre un plano. El volumen se obtiene por una fórmula simplificada que correlaciona la medida del área con la cota entre dos espejos de agua sucesivos. Por lo tanto la calibración se realiza primero sobre las medidas tomadas en el plano y luego sobre el volumen hallado. Posteriormente se comparan los resultados con el procedimiento manual utilizado en la tesis doctoral (Fernández 2000).

Área y perímetro

Se analizan cinco figuras generadas con Autocad de las cuales se pueden obtener en forma exacta áreas y perímetros (Fig. 11). Luego se analizan con este método y se comparan errores hallados. La razón de la forma caprichosa se debe a que hasta ahora no se podían analizar figuras en las cuales, si se toma posición en el centro de gravedad, un segmento de recta no podía cortar el borde en más de 1 punto (Minkoff 2000).

De todas las variables geométricas que se pueden hallar solo se analizan las mencionadas anteriormente por cuestiones de simplicidad. Los resultados de área se muestran en la tabla 1, mientras que el perímetro en la tabla 2.

Volúmenes

Se comparan volúmenes de funciones matemáticas perfectamente conocidas halladas a partir de integración entre 0 y la correspondiente cota vs. el mismo volumen obtenido con la fórmula del troncocono y el área real. Las funciones son sólidos de revolución alrededor de un eje: x , x^2 y x^3 . El objetivo es ver el comportamiento de esta fórmula simplificada.

Con el objeto de visualizar como influye el área para el cálculo del volumen se presenta una comparación gráfica de éstas (Fig. 12). En la misma, las áreas pertenecientes a las parábolas cuadrática y cúbica se han multiplicado por 10 para adaptarlas a una escala que permita una comparación visual inmediata.

Por otro lado, a partir de un ensayo típico se podría realizar una interpolación entre áreas de dos cotas sucesivas. El efecto sería obtener una mejor aproximación del valor de volumen a partir de una mayor cantidad de datos de área y mas cercanos (Fig. 13). Se presentan las diferencias en dos ensayos distintos, realizando una interpolación polinomial de igual grado a la cantidad de valores de áreas con las que se cuentan (Figs. 14 y 15). En todos los casos se utilizó la fórmula del troncocono para hallar el volumen.

FIGURA 11: FIGURAS ANALIZADAS PARA CALIBRAR LA METODOLOGÍA PRESENTADA

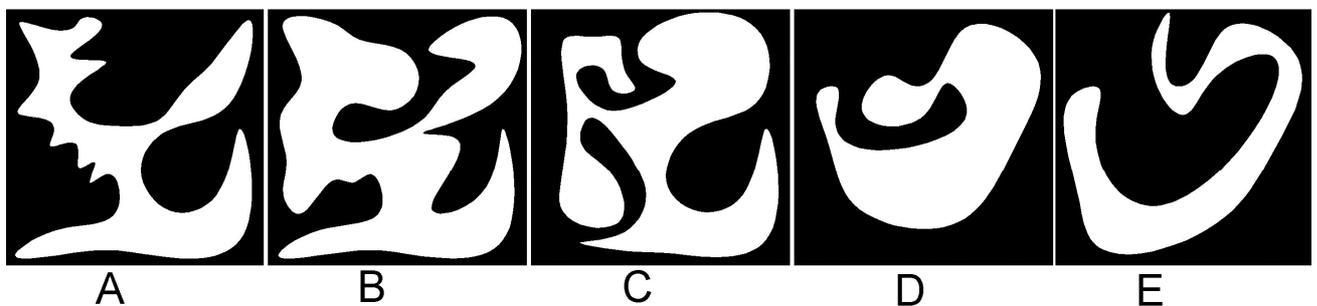


TABLA 1: ÁREAS OBTENIDAS CON EL MÉTODO PRESENTADO VS. RESULTADOS EN AUTOCAD Y EL ERROR COMETIDO

Figura	Método DIP	Autocad	Error %
	Area		
A	52.5	53.5	1.9
B	79.7	80.9	1.6
C	69.4	67.2	-3.3
D	53.4	54.2	1.4
E	41.7	42.5	1.9

TABLA 2: PERÍMETROS OBTENIDOS CON EL MÉTODO PRESENTADO VS. RESULTADOS EN AUTOCAD Y EL ERROR COMETIDO

Figura	Método DIP	Autocad	Error %
	Perímetro		
A	75.5	76.0	0.8
B	84.3	84.8	0.6
C	81.2	80.2	-1.3
D	47.8	48.1	0.5
E	62.6	62.9	0.5

FIGURA 12: GRÁFICO QUE ILUSTRA EL ÁREA VS. COTA PARA CADA TIPO DE SÓLIDO DE REVOLUCIÓN

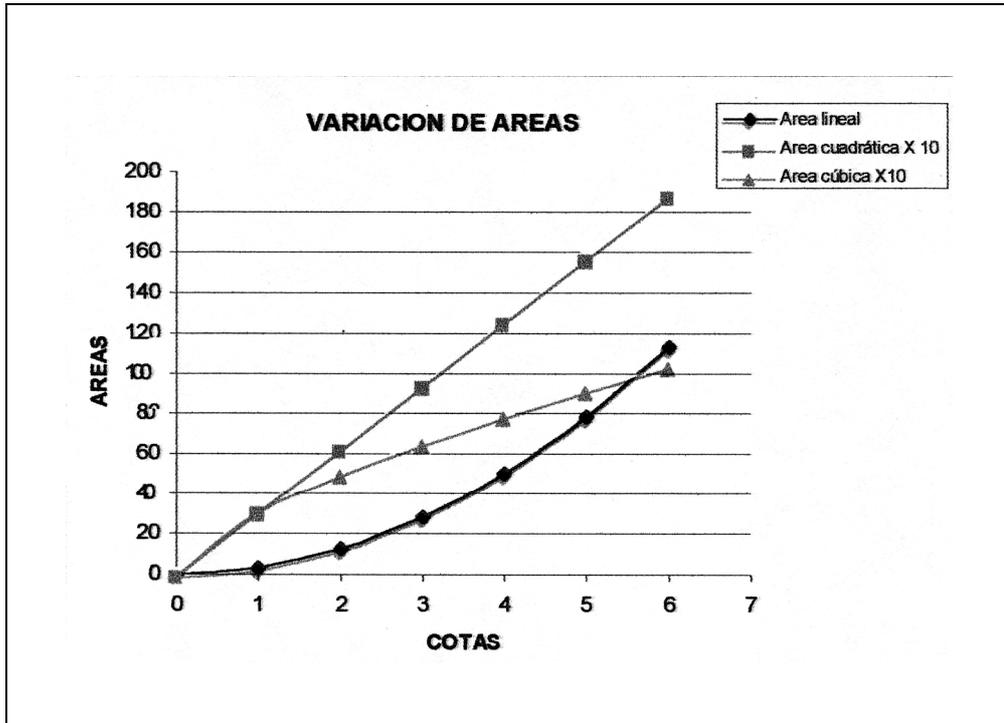


FIGURA 13: ESQUEMA DEL CÁLCULO DE VOLUMEN EN EL CASO QUE SE REALICE UNA INTERPOLACIÓN DE LAS ÁREAS

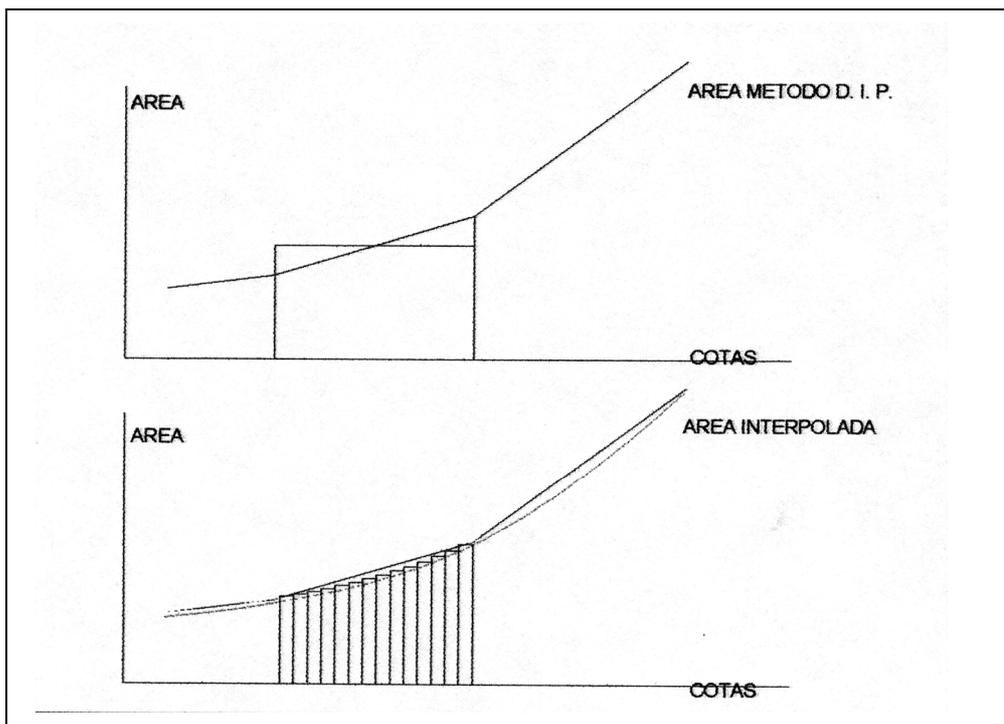


FIGURA 14: GRÁFICO DE VOLÚMENES Y ÁREAS HALLADOS DIRECTAMENTE EN MATLAB EN COMPARACIÓN A LOS OBTENIDOS INTERPOLANDO EL ÁREA

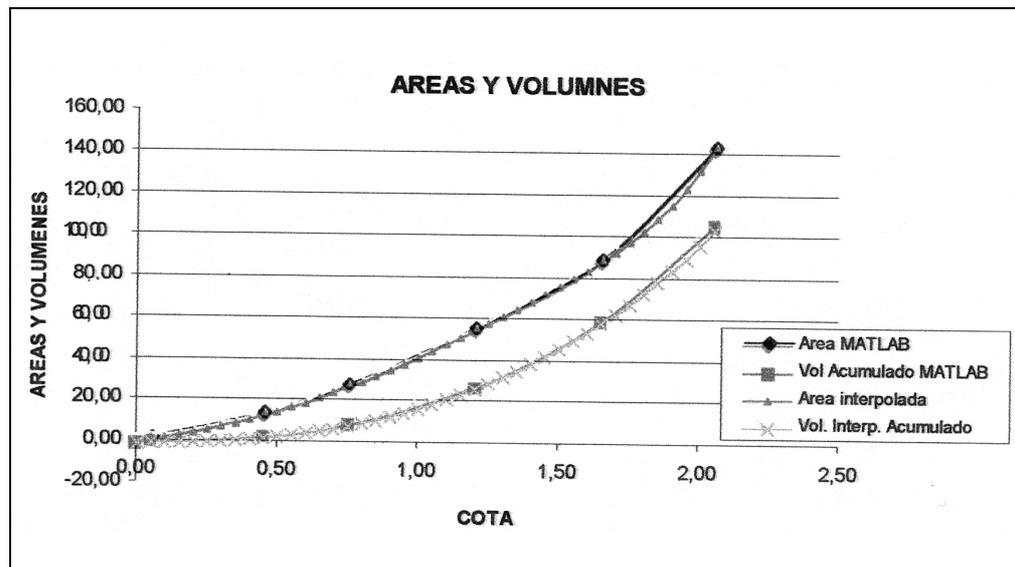
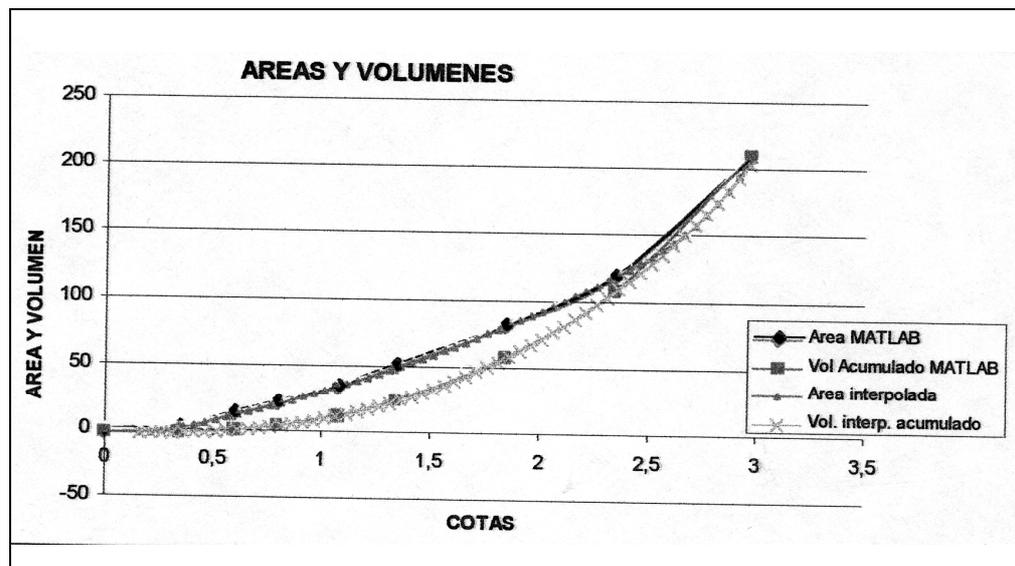


FIGURA 15: GRÁFICO DE VOLÚMENES Y ÁREAS HALLADOS DIRECTAMENTE EN MATLAB EN COMPARACIÓN A LOS OBTENIDOS INTERPOLANDO EL ÁREA



Comparación con la metodología anterior

Al momento de presentar la tesis, los valores de volumen y perímetro de pozos de erosión en estribos se obtuvieron con una metodología más laboriosa. Básicamente consistía en describir la forma de cada objeto manualmente en Autocad. Luego se obtenían los valores de área y perímetros uno a uno para colocarlos en una planilla de cálculo. Aplicando la escala y con la fórmula del troncocono se obtenía el volumen.

Se analizan los volúmenes entre las dos metodologías. Se presentan ensayos para 2 granulometrías distintas

de arenas y tres distintas inclinaciones de los estribos de puente (Figs. 16 y 17).

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De la comparación entre los resultados de áreas y perímetros (Tablas 1 y 2) surge que los errores se encuentran acotados con valores no muy elevados. En realidad la precisión depende de la resolución de la imagen (relación píxel / cm). Para todas las figuras analizadas la cantidad de pixels que componen la silueta se mantuvo arriba del mínimo recomendado de 15000 (Minkoff 2000). De esta

FIGURA 16: GRÁFICO DE LOS VOLÚMENES HALLADOS CON EL PRESENTE MÉTODO VS. LOS HALLADOS CON LA METODOLOGÍA ANTERIOR PARA LA MUESTRA 1

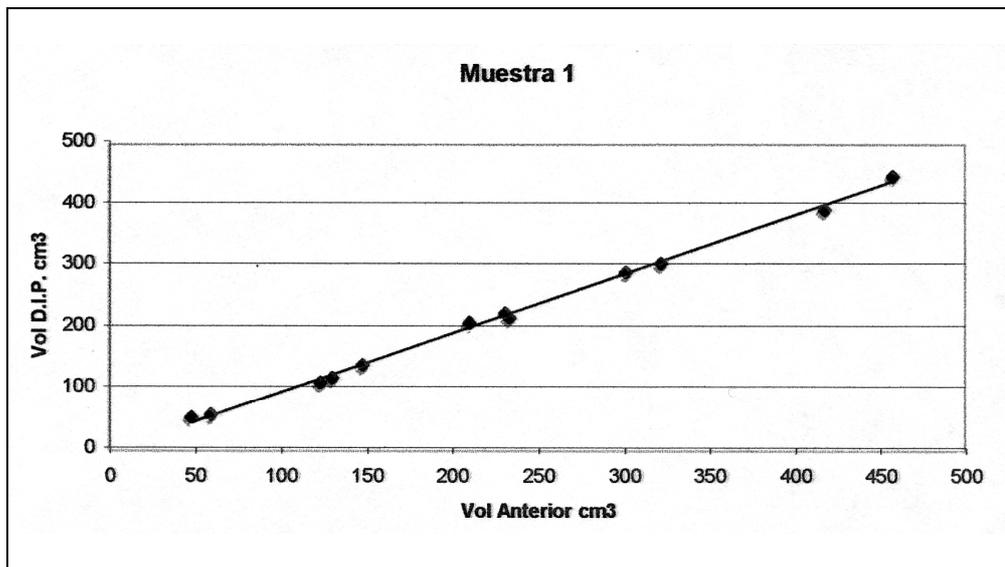
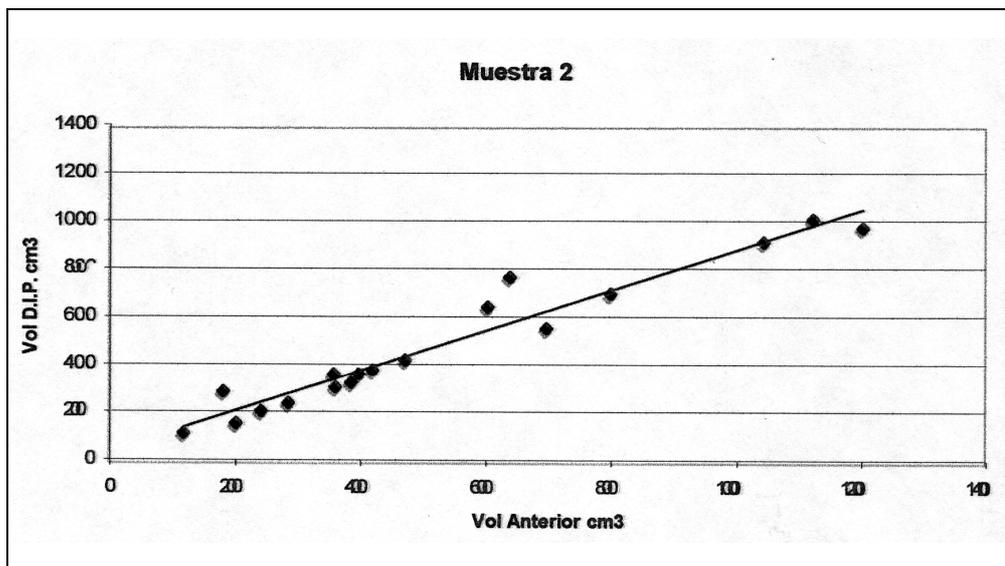


FIGURA 17: GRÁFICO DE LOS VOLÚMENES HALLADOS CON EL PRESENTE MÉTODO VS. LOS HALLADOS CON LA METODOLOGÍA ANTERIOR PARA LA MUESTRA 2



forma los errores se mantienen por debajo del 5% para condiciones ideales de análisis.

Manteniendo estos márgenes de relación píxel / cm en cualquier tipo de imagen, la metodología se extiende hacia otras aplicaciones. Extensiones inmediatas y similares serían el estudio de crecidas de ríos, volúmenes de agua en embalses, movimientos de suelo a cielo abierto, avance de zonas incendiadas, estudio de áreas de cultivos entre otros. En todos estos casos el trabajo mayor sería realizar una adecuada fotografía de la zona a estudiar, en donde

además se pueda obtener la escala.

Observando la figura 12 y la tabla 3 se desprende que la variación del área afecta la precisión en la fórmula del volumen empleada. Cuando esta variación es constante (área cuadrática en la Fig. 12) no se cometen errores en la determinación del volumen (Tabla 3 fila 10). O sea que la primera derivada del área respecto de la cota se debe mantener constante o con poca variación para no cometer un error apreciable. Esto para figuras con forma regular y semejantes, lo cual se adapta a las analizadas aquí.

TABLA 3: COMPARACIÓN DE VOLÚMENES HALLADOS A PARTIR DE INTEGRACIÓN VS. LA FÓRMULA DEL TRONCOCONO

	COTAS	0	1	2	3	4	5	6
Lineal	Area	0	3.14	12.57	28.27	50.27	78.54	113.10
	Vol. integ. acumulado	0	1.05	8.38	28.27	67.02	130.90	226.19
	Vol. interp. acumulado	0	1.57	9.42	29.85	69.12	133.52	229.34
	Diferencia volumen %		-50.00	-12.50	-5.56	-3.13	-2.00	-1.39
Cuadrado	Area	0	3.14	6.28	9.42	12.57	15.71	18.85
	Vol.integ. acumulado	0	1.57	6.28	14.14	25.13	39.27	56.55
	Vol. interp. acumulado	0	1.57	6.28	14.14	25.13	39.27	56.55
	Diferencia volumen %		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cúbico	Area	0	3.14	4.99	6.53	7.92	9.19	10.37
	Vol. impeg. acumulado	0	1.88	5.98	11.76	19.00	27.56	37.34
	Vol interp. acumulado	0	1.57	5.64	11.40	18.62	27.17	36.95
	Diferencia volumen %		16.67	5.84	3.12	1.99	1.40	1.05

Cuando se interpolan valores de área entre cotas sucesivas no se obtiene una ganancia significativa en la precisión (Figs. 14 y 15). Los errores para el volumen acumulado en ambos casos se mantuvieron en el orden del 3%. Debido a esto y a que se arrastran errores en la determinación de la escala, en el valor de los parámetros geométricos obtenidos entre otros, esta solución no se emplea. El pequeño ajuste en el resultado final no compensa el trabajo requerido.

Respecto de la metodología utilizada en la tesis y analizando las Figs. 16 y 17 se concluye que ambas dan resultados idénticos. Estas similitudes ratifican las metodologías mutuamente. En la muestra 2 se observa que en el orden de los 600 cm³ existe una pequeña dispersión en un

par de valores. Estos volúmenes fueron calculados por tres personas distintas con el método presentado, y en todos los casos se obtuvieron valores muy similares. Por lo tanto se infiere que no hay errores significativos inducidos por el operador.

El alto grado de automatización de ésta metodología ofrece significativas ventajas respecto de lo usado anteriormente. Esto es debido principalmente a dos causas: la primera es que la determinación del borde la realiza un programa con una intervención mínima del operador, mientras que antes se describía punto a punto. luego, si la precisión aumenta con la cantidad de puntos que describen el borde, el trabajo también aumenta con la forma anterior, mientras que ahora aumenta con la resolución de la imagen.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

FERNÁNDEZ, S. N., 2000.

Estudio experimental de la influencia de mezclas de sedimentos arenosos bimodales en el proceso de socavación de estribos.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral. Dos volúmenes.

IMAGE PROCESSING TOOLBOX USER'S GUIDE, 1998.

by The MathWorks, versión 2

MINKOFF D., 2000.

Análisis de arenas mediante procesamiento de imágenes digitales.

Informe de Beca, Universidad Nacional del Sur, 45 pp.

MINKOFF D. PÉREZ D. Y PERILLO G., 2000

Análisis de arenas mediante procesamiento de imágenes digitales

Revista de la Geología Aplicada a la Ingeniería y a Medio Ambiente. (No.15): 64-73.



Modelado digital de la depresión de las lagunas encadenadas del oeste aplicado a la gestión ambiental

Buenos Aires

Navarro, E.¹⁻² · González Uriarte, M.¹

Resumen

El área situada en el centro-oeste de la provincia de Buenos Aires es parte de una zona seriamente afectada por el anegamiento general de campos. La cuenca de aportes que se extiende principalmente hacia el sur y el oeste del sistema de lagunas, abarca 2.578.000 has, de las cuales el 36% tiene riesgo importante de anegamiento y 85.870 has forman parte de la gran depresión cerrada que las contiene. Si bien la explicación geológica de diversos autores sobre el origen de esta morfología no es coincidente, a los fines funcionales la sectorización interna de la cuenca es clara y topográficamente bien definida, según lo acreditan publicaciones precedentes de los autores de este trabajo.

A partir de la idea de coincidir con las tendencias dinámicas naturales, se ha considerado como objetivo evaluar a través del modelado digital la capacidad receptora de excesos hídricos de la gran depresión cerrada que contiene los cuerpos de agua principales, Epecuén, del Venado, del Monte, Cochicó y Alsina. Esta depresión general ha sido delimitada previamente y reconocida como un área crítica, por el riesgo de anegamiento masivo ya que en ella se emplazan dos ciudades cabecera de Partido, Guaminí (Partido de Guaminí) y Carhué (Partido de Adolfo Alsina).

El método se basa en el análisis planialtimétrico de cartografía topográfica regular del Instituto geográfico Militar, escala 1:50.000, con vectorización de las curvas de nivel de la información analógica y transformación en imágenes raster, empleando para esto, un sistema de información geográfica. A los efectos de estimar la capacidad receptora en el cálculo volumétrico de la depresión, se consideró un rango altitudinal situado entre 95 y 110 m s.n.m. que, respectivamente, corresponden al nivel mínimo de la laguna más profunda y el límite de endorreísmo, advirtiendo sobre la indefinición existente respecto al piso real de esta laguna y al nivel exacto de la divisoria, debido a la escala de información cartográfica.

El volumen total se logra por integración de los volúmenes parciales que se obtuvieron a partir de la delimitación de áreas correspondientes a curvas de nivel cerradas consecutivas, con equidistancia 2,5 y 5 metros, considerándose en cada caso el promedio entre un volumen de máxima y uno de mínima, resultantes de multiplicar el valor del área respectiva por el desnivel que significa la equidistancia.

Asumiendo que al presente existen excesos ya acumulados, que se pueden referenciar a niveles hídricos de 100 m s.n.m. para Lago Epecuén, 102,5 m s.n.m. para las lagunas del Venado y del Monte, 105 m s.n.m. Cochicó y 107,5 m s.n.m. para Laguna Alsina, se concluye que para el total de la depresión aún persiste una capacidad receptora de 4743.57hm³.

Entregado: 22 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 17 de septiembre de 2001

1. Dto de Geología – UNS – San Juan 670 - Bahía Blanca.

2. PAID - CIC

e-mail: enavarro@criba.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

Ubicación

La zona de estudio se ubica en el centro-oeste de la Provincia de Buenos Aires, República Argentina, entre los 36°10' y 37° 15' de latitud sur y los 61°45' y 63°44' de longitud oeste. En ella se destaca la presencia de cinco cuerpos de agua principales que de oeste a este se reconocen como lago Epecuén-La Paraguaya y lagunas del Venado, del Monte, Cochicó y Alsina-Inchauspe, ocupando Epecuén-La Paraguaya, la parte más deprimida de la depresión.

La cuenca de aporte a este sistema se ha comprobado (González Uriarte y Navarro, 1995) que alcanza 2.578.000 has, comprendiendo en distinta proporción, dentro de la Provincia de Buenos Aires, a los partidos de Adolfo Alsina, Guaminí, Salliqueló, Puán, Saavedra y Coronel Suarez y en la provincia de La Pampa, a los departamentos de Utracán, Guatraché y Atreucó (Fig. 1).

Problemática Geoambiental General

Históricamente en la Provincia de Buenos Aires la ciclicidad de las sequías y de las inundaciones es un fenómeno recurrente, registrado desde el siglo XVI a la fecha, según lo establece Ardissonne (1937), quien desarrolló una estadística a partir de datos de esa época. Esta alternancia de períodos ocasionó diversos daños en la región que derivaron en distintos problemas políticos y socio-económicos (González Uriarte y Navarro 1988, 1995), (Monachessi 1995), el más grave de los cuales, debido al creciente asentamiento humano en región, resultó ser la desaparición de la villa turística de Lago Epecuén en 1985.

Ya en 1884 Florentino Ameghino, expresaba con relación al fenómeno inundación/sequía, "... todo esfuerzo y todo trabajo que tendieran a evitar uno de esos males sin contemplar el otro, ocasionaría, probablemente, más perjuicios que beneficios..." y "... entreviendo la íntima relación que existe entre las sequías y las inundaciones, abrazándolas en un solo problema cuya solución debería preservarnos de unas y de otras", para continuar diciendo respecto a los canales de desagüe, "...si no son el complemento de obras más eficaces y de mayor consideración, reportarán más perjuicios que beneficios".

Los problemas a los que se vio afectada la región en particular, durante los períodos húmedos, trajo como consecuencia que se proyectaran y desarrollaran un conjunto de obras, en algunos casos ingenieriles (IATASA 1994) y en otros de tipo agronómico como la forestación (Banco de la Provincia de Buenos Aires 1995), tendientes a paliar estas dificultades. En todos los casos, es importante tener presente el modelo morfológico de la región que permita

realizar una gestión hídrica eficiente, sobre todo de los excesos que se acumulan durante los períodos húmedos.

2. OBJETIVO

En este marco la zona de las Encadenadas del Oeste se vio afectada en diversas épocas por problemas generados por los déficit y excesos hídricos, siendo particularmente estos últimos los que mayores inconvenientes ocasionaron. Diversas medidas de remediación y restauración se llevaron adelante, tendientes a paliar los daños ocasionados por estos excesos. Por esta razón, y teniendo presente el modelo conceptual geomorfológico de la zona, este trabajo plantea como objetivo, desarrollar el cálculo estimativo de la capacidad receptora parcial y total de la gran depresión que contiene al sistema lacunar principal.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis areal se utilizó información planialtimétrica proveniente de la cartografía regular del Instituto Geográfico Militar en escala 1:50.000 relevadas entre 1952 y 1957 con equidistancias de 2.5 y 5 metros, correspondientes a las siguientes cartas: Saturno (3763-16-4), Estación Bonifacio (3763-17-2), Estación Alamos (3763-17-3), Laguna Alsina (3763-17-4), La Larga (3763-18-1), La Nevada (3763-18-3), Lago Epecuén (3763-22-1), Arroyo Venado 3763-22-2, Adolfo Alsina (3763-22-3), Estación Carhué (3763-22-4), Guaminí (3763-23-1).

Para el procesamiento de datos, se vectorizaron las curvas de nivel de la información analógica mediante el empleo de una tableta digitalizadora GENIUS. La información vectorial así obtenida fue tratada con el sistema de información geográfica IDRISI. De esta manera, se realizó la transformación de las imágenes vectoriales en imágenes raster, lo que permitió la cuantificación areal, en cada una de las áreas encerradas por las curvas. Dentro de las superficies lacunares, los pequeños sectores correspondientes a altos topográficos, que se expresan como curvas de nivel cerradas con valores crecientes hacia el centro, fueron restadas al considerar que las mismas no significan superficies disponibles para la acumulación de agua.

El volumen final se logra por integración de los volúmenes parciales, obtenidos al multiplicar los valores de superficie correspondientes a cada una de las curvas de nivel cerradas, consecutivas, por el valor de la altura de separación entre ellas, representado en este caso por la equidistancia de la cartografía (2,5m y 5m). Para cada situación se consideró un volumen de máxima, resultante de multiplicar la equidistancia por la superficie superior, y uno de mínima, que surge del producto con la superficie inferior (Fig 2). A los efectos de minimizar los errores por exceso y por defecto que se cometen al calcular los volúmenes de máxima y mínima respectivamente, se promediaron ambos considerándose como el valor estimado.

FIGURA 1: UBICACIÓN Y GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DE ENCADENADAS DEL OESTE

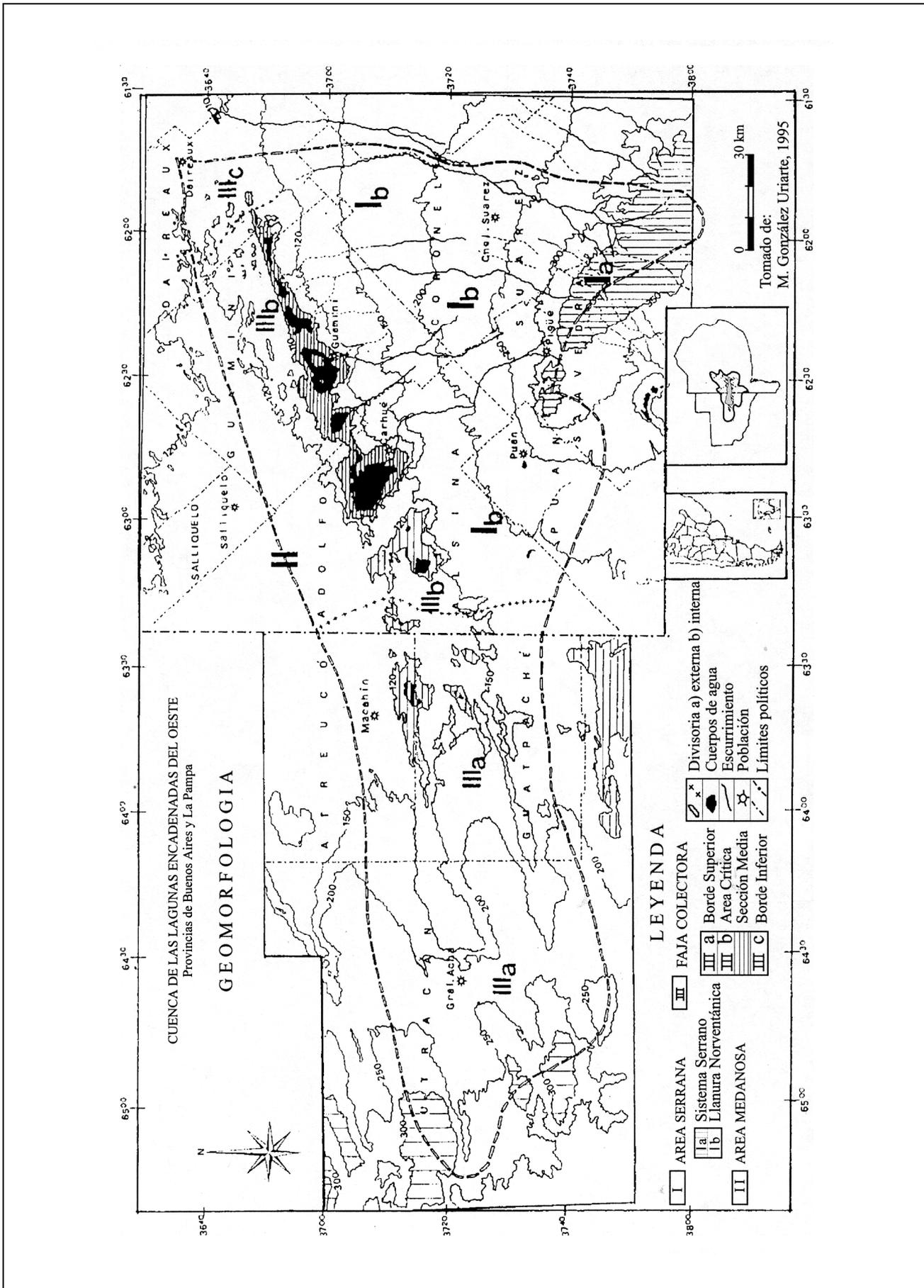
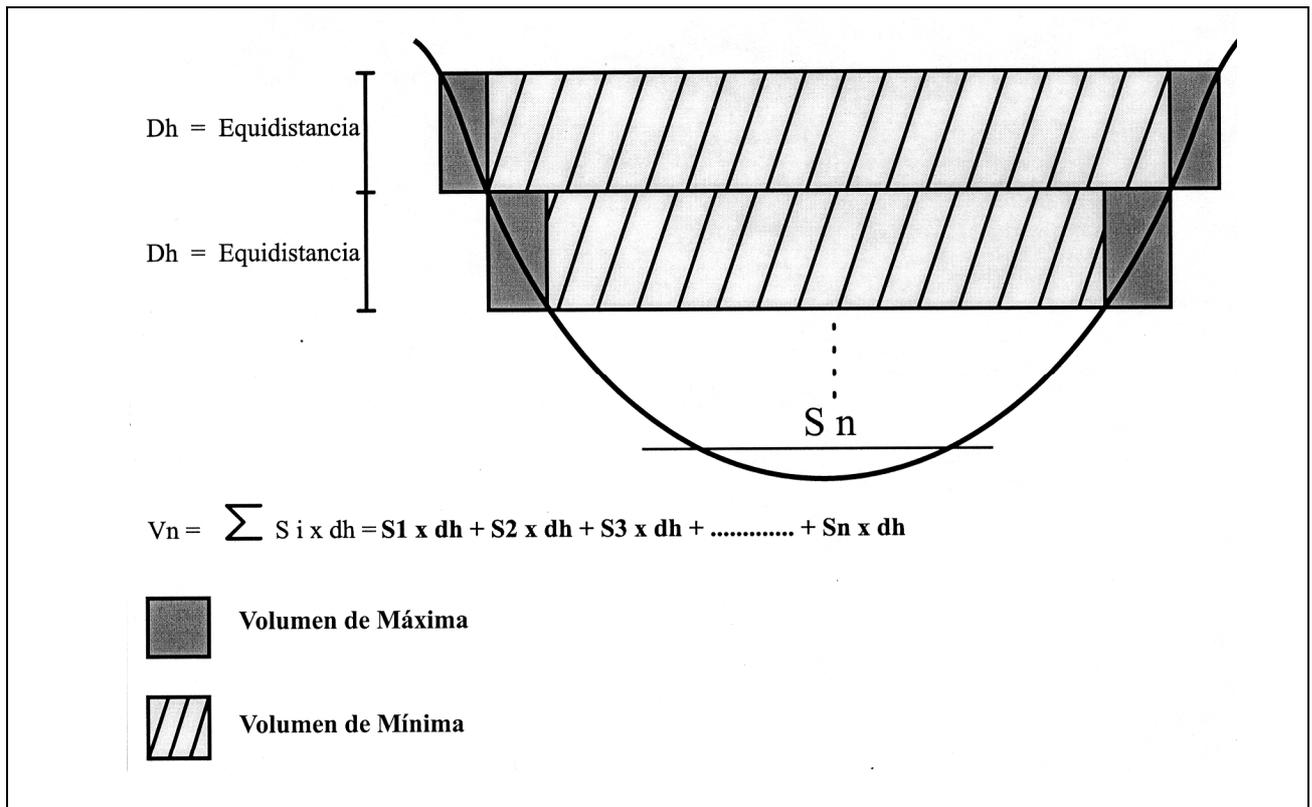


FIGURA 2: ESQUEMA DE INTEGRACIÓN DE VOLÚMENES



4. DISCUSIÓN

Geomorfología de la Región

La cuenca cuya mayor elongación tiene es de dirección oeste-sudoeste - este-noreste, se desarrolla en la convergencia de dos grandes geoambientes. En el sur está presente una planicie alta y homogénea que sin solución de continuidad llega al piedemonte de Ventania y en el norte, se trata de una planicie baja con espesa cubierta arenosa moderna.

En el área de la cuenca se reconocen tres tipos de unidades geomórficas principales (González Uriarte y Navarro 1988, 1995), asociadas a distintos rangos topográficos. En la vertiente meridional se reconoce la Llanura Norventánica denominada *Nivel de la Planicie General (Npg)* y las áreas en pendiente, identificadas como *Pendientes Frontales* con una disposición escalonada, que permite reconocer una sucesión de niveles decrecientes, identificados como *Primero y Segundo Nivel de Terraza (NT1) y (NT2)*. En el Norte se sitúa el *Nivel de Planicie Arenosa (Npa)* que no guarda simetría con los anteriores.

Todos estos niveles están situados a mayor altitud que la Faja Colectora y su consideración no es de interés al problema de endorreísmo en análisis. A los fines del presente del trabajo, el más importante de los sectores reconocidos es la zona deprimida central identificada como *Faja Colectora*.

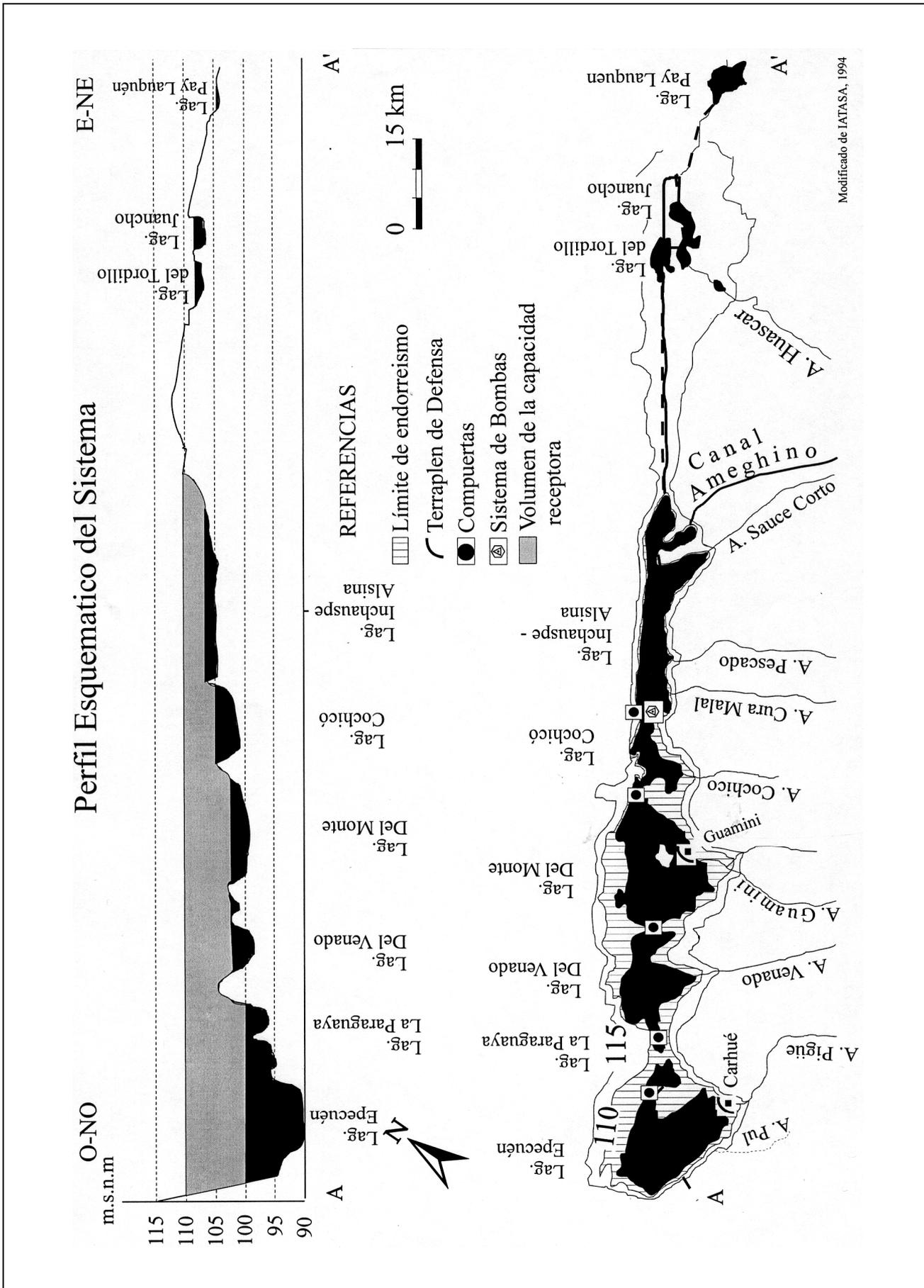
A su vez, dentro de ella se distinguen tres tramos, situándose el conjunto de las lagunas en estudio en la *Sección Central*, delimitada por la isolínea cerrada de 110 m s.n.m., cota que se adoptó como nivel límite del comportamiento endorreico, en función de la sensibilidad altimétrica de la cartografía disponible. Limitan esta unidad central hacia el oeste, un umbral de 120 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.), que la separa de la *Sección I*, y hacia el este, se abre por sobre los 110m s.n.m. la *Sección III*, que con un muy bajo gradiente se conecta sin solución de continuidad con la Cuenca del Arroyo Vallimanca.

La principal característica morfológica interna al sector en estudio está dada por el escalonamiento, en sentido contrario a la pendiente regional, que presentan los cuerpos lacunares, por lo que el Lago Epecuén constituye el extremo topográficamente más deprimido (Fig.3). Por esta razón, en trabajos previos (Navarro y González Uriarte 1997, 1999), se estableció la capacidad de almacenamiento y las superficies de inundación involucradas en el crecimiento de las lagunas Epecuén y la Paraguaya.

Consideraciones Hidrológicas

Partiendo de la premisa que precipitación, evapotranspiración y escurrimiento superficial y subterráneo son las variables climáticas más importantes que participan en el balance hídrico, diferentes autores han intentado realizar una valoración de las mismas.

FIGURA 3: TRANSECTA EN EL ÁREA CRÍTICA. LOCALIZACIÓN DE LAS DIFERENTES OBRAS EJECUTADAS



Paoli y Giacosa (1983) realizaron una comparación entre el comportamiento hidrológico general de las cuencas de pendientes y las de llanuras, analizando la precipitación como única variable de entrada. Establecen para las llanuras, que su escaso gradiente topográfico produce el efecto de "embancamiento", por lo que la circulación del agua se realiza con movimientos muy lentos. Destacan que todo esto facilita a su vez la infiltración, lo que favorece las reservas de agua en el suelo en forma más rápida que en zonas de pendientes. Consecuentemente, los excesos alimentan el acuífero aumentando el nivel del mismo, y particularmente durante los períodos húmedos prolongados, pueden llegar a aflorar en superficie, cuando el perfil de suelo queda saturado totalmente.

A partir del análisis topográfico se pudo establecer que el escurrimiento regional llega por las vertientes norte y sur *Gonzalez Uriarte y Navarro (1995)*. Para la vertiente sur, los volúmenes de aportes más importantes se dan a partir de las sierras, y el aporte local se da como consecuencia del trasvase entre lagunas. Esto último, fue destacado oportunamente por *Torrente y Bonorino (1988)*, quienes citan un caudal de 15m³/seg pasantes a través del terraplén de Rolito entre octubre y noviembre de 1986.

Los escurrimientos superficiales que alimentan el sistema son en general de escaso caudal y poco significativos en cuanto al volumen aportado. Entre los más importantes se encuentran los arroyos Pigüé y Pul, que llegan a la laguna Epecuén, siendo los máximos valores medidos durante un período húmedo de 13m³/seg y 9m³/seg, respectivamente (*Torrente y Bonorino 1988*).

Diferentes autores publicaron balances hídricos para la región. Entre otros, un informe realizado por el *Banco Provincia de Buenos Aires (1995)*, en el que se presentan dos balances, uno para un ciclo histórico que comprenden períodos húmedos y secos (1911/1970) y otro para un ciclo más corto (1971/1984), que se corresponde con años más húmedos. Estos balances fueron realizados para datos recogidos en las localidades de Pigüé, Trenque Lauquen y Coronel Suarez, y para ambos períodos, consideran dos intervalos de tiempo, abril-setiembre y octubre-marzo. Establecieron para el ciclo corto y una capacidad de campo de 200 mm, que el exceso hídrico promedio anual, constituyó el 12,1%, 17,2% y 12,1%, de la precipitación media anual para Trenque Lauquen, Coronel Suarez y Pigüé respectivamente, mientras que el déficit hídrico para esas mismas localidades, en el mismo orden representó el 1,3%, 0,1% y 1,8%.

Según los gráficos en los que se representan precipitación-*evapotranspiración* versus meses, las estaciones consideradas húmedas, en la que la precipitación supera a la *evapotranspiración* real, pueden ser agrupadas en dos intervalos, julio-noviembre y marzo-junio. De la misma forma para este ciclo, los autores establecen un acercamiento im-

portante de la *evapotranspiración* real a la potencial, lo que implica para estos ciclos de mayor humedad, una mayor disponibilidad de agua para la región.

Torrente y Bonorino (1988), estudiaron el funcionamiento hidrológico particular de la laguna Epecuén, para lo cual realizaron un análisis más detallado de las variables, evaluando registros históricos (1956-1985), de corto alcance (1980-1985) y registros mensuales para el lapso 1987-88, coincidente con un período húmedo. Las localidades en las que se analizaron y midieron las variables fueron Pigüé, Carhué y Guaminí, sobre puntos que representan diferentes ambientes morfológicos. La variable *evaporación* la obtuvieron a partir de tanques tipo "A", presentes en la cercanía de la laguna Epecuén y Coronel Suarez.

Pudieron establecer entonces que para el período histórico, las estaciones más húmedas resultan ser la primavera y verano, mientras que la más seca corresponde al invierno. Los excesos hídricos para este intervalo temporal se manifiestan en los meses de octubre y noviembre, mientras que los déficit se dan en enero y febrero. Para el período 1980/85 los excesos cuantificados según el método de Turc, constituyen el 29%, 29% y 32% de la precipitación media para Pigüé, Carhué y Guaminí respectivamente. Para este período, los excesos se extienden de abril a noviembre, mientras que los déficit se dan nuevamente en enero y febrero.

Estos autores establecen para el período comprendido entre abril de 1987 y febrero de 1988, que la tasa de *evaporación* anual medida en la localidad de Carhué alcanza los 1210mm, siendo para el balance hídrico, los meses de agosto y noviembre los de mayores aportes (sumatoria de la precipitación, *escorrentía* superficial y *escorrentía* subterránea), 172,8 mm y 212 mm respectivamente. Los meses de mayores pérdidas (*evaporación*) coincidieron con la estación de verano, correspondiendo a diciembre y enero los mayores valores (125 mm y 119 mm respectivamente). Con la presa de Rolito cerrada, que evita recibir los aportes de las otras lagunas, *Torrente y Bonorino (1988)* consideran que la laguna Epecuén alcanza su equilibrio con una lluvia de 790 mm de promedio anual.

Un valor de *evaporación* anual similar, fue obtenido por *Montesarchio (1990)* de 1247 mm, para quien también diciembre y enero son los meses de mayor capacidad de *evaporación* (208 mm y 195 mm, respectivamente).

Se puede establecer entonces, que la *evapotranspiración* constituye la única vía de evacuación natural del sistema y tiene dentro de la ecuación del balance hídrico, un valor poco significativo durante los períodos húmedos, en los que se dan los mayores aportes naturales.

5. RESULTADOS

Como antecedente metodológico, los autores del presente trabajo han desarrollado modelos matemáticos

sectoriales que comprenden a las lagunas Epecuén y La Paraguaya (1997, 1999), estas formulaciones permitieron vincular cota de laguna con volumen de almacenamiento y cota de laguna con superficie de inundación. El modelo geomorfológico regional permitió considerar a ambas lagunas como las más importantes a tener en cuenta, al ocupar la posición más deprimida del sistema y por otro lado, tomarlas en conjunto como una unidad funcional natural.

La superficie de inundación S pudo ser establecida a través de la siguiente función continua, $S = e^{(6.992 \ln(x) + 9.685)}$, en donde S es una variable dependiente expresada en

$$V = v_2 - v_1 = \int_{s_1}^{s_2} s \, ds = \int_{x_1}^{x_2} e^{[6.992 \ln(x) + 9.685]} \, dx =$$

$$= e^{9.685} \int_{x_1}^{x_2} e^{[6.992 \ln(x)]} \, dx \Rightarrow V = e^{9.685} / 7.992 (X_2^{7.992} - X_1^{7.992})$$

En donde V representa el espacio disponible para la acumulación de agua expresada en hectómetros cúbicos (hm^3) entre dos cotas cualesquiera x_2 y x_1 , comprendidas entre los extremos de 95 y 110 msnm, expresadas en hm.

Es de destacar que los 95 m s.n.m. se corresponden con el nivel mínimo de la laguna más profunda que la cartografía disponible permite definir, y 110 m s.n.m. el límite de endorreísmo. Existe una indefinición respecto al piso real de esta laguna y al nivel exacto de la divisoria, debida a la escala de la información cartográfica. Como la capacidad de almacenamiento entre 95 y 100 m s.n.m. esta dada básicamente por las lagunas Epecuén y la Paraguaya, sus valores pueden ser estimados a través de las formulaciones realizadas. Por esta razón, se procedió a cuantificar la capacidad receptora del resto del sistema, considerando como límite inferior los 100 m s.n.m. y como límite superior 110 m s.n.m. Para todo el sistema, no fue posible establecer una función continua que permitiera estimar en forma confiable estos valores, con un bajo error asociado, razón por la cual se procedió a integrar volúmenes de máxima y de mínima a los efectos de obtener un valor volumétrico promedio (Tabla 1).

6. CONSIDERACIONES FINALES

Se debe tener en cuenta que en la gestión ambiental, es importante tener previstas diversas alternativas que provean herramientas para poder ejecutar políticas de ordenamiento territorial, donde se armonicen las tendencias impuestas por los riesgos naturales y la posibilidad real de implementar medidas u obras de contención, remediación y restauración.

hectómetros cuadrados (hm^2) y x es la variable dependiente representada por la altitud de la laguna, respecto al nivel de mar, expresada en hectómetros (hm). Surge de la ecuación, que conforme va creciendo el nivel de las lagunas, la superficie inundada no crece de una manera lineal directa, sino que lo hace de forma exponencial. Tiene esto que ver no sólo con el escalonamiento de las lagunas, sino también con la forma general convexa de los bordes de la depresión que la contiene.

La capacidad volumétrica se obtuvo integrando elementos diferenciales de superficie, que quedaron expresados con la anterior ecuación, de la siguiente manera:

TABLA 1: ESTIMACIÓN VOLUMÉTRICA DE EXCESOS HÍDRICOS PARA ENACADENADAS DEL OESTE

Intervalo (m)	Máxima (hm^3)	Mínima (hm^3)	Estimado (hm^3)
100 - 102.5	501.08	424.83	462.95
102.5 - 105	1077.74	869.75	973.74
105 - 107.5	1503.94	1246.25	1375.08
107.5 - 110	2146.73	1722.05	1931.79
	5228.49	4261.88	4743.57

Por esta razón, no deben ser descartadas, en principio, ninguna de las posibilidades que impliquen el manejo de los excesos hídricos que constituye el principal conflicto del área en estudio. Considerando que la presencia de los dos núcleos urbanos de mayor importancia en la zona (Carhué, Partido de Adolfo Alsina y Guaminí, Partido de Guaminí), agudiza la situación sobre la tendencia natural concentradora que tiene el lugar, el presente trabajo pretende cubrir un vacío de información hidrológica básica, que aproxime a valores reales los volúmenes a ser considerados en caso de implementarse soluciones o de construir obras tendientes a su manejo.

Consecuente con esta idea, en este trabajo se estima la capacidad receptora receptora de la depresión que contiene al conjunto de lagunas del, dato que complementa al modelo que analizó sólo las consideradas estratégicas (Epecuén-La Paraguaya).

También se aclara que el dato que determina la capacidad receptora para el total de la depresión hasta los

110 m s.n.m., estimada en 4743.57hm³, resulta el volumen recepcionable a partir de niveles lacunares límite (Fig. 3). Estos valores surgen al asumir que ya existen excesos acumulados que en el caso se referencian en: 100 m s.n.m. para Lago Epecuén, 102.5 m s.n.m. para las lagunas del Venado y del Monte, 105 m s.n.m. Cochicó y 107,5 m s.n.m. para Laguna Alsina.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur que permitieron la posibilidad la realización del presente trabajo.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMEGHINO, F. 1884.
Las secas y las inundaciones en la Prov. de Buenos Aires.
Min. Asunt. Agric. Prov. Buenos Aires Publ. 4ta Edic. 1978. La Plata.: 77-214.
- ARDISSONE, R. 1937.
Las precipitaciones pluviales en la zona de Buenos Aires desde el siglo XVI hasta 1821.
Anales de la Sociedad Argentina de los Estudios Geográficos, tomo V, Buenos Aires. : 115-211.
- BANCO PROVINCIA DE BUENOS AIRES, 1995.
Diagnóstico ambiental de la Provincia de Buenos Aires.
Ediciones Banco Provincia, 245 pp. Buenos Aires.
- GONZÁLEZ URIARTE M. Y E. NAVARRO, 1988.
Carta Geomorfológica aplicada de la laguna Epecuén y adyacencias (Prov. de Buenos Aires).
Jorn. Geol. Bonaerenses. Actas: pp: 133-144.
- GONZÁLEZ URIARTE M. Y E. NAVARRO, 1995.
Caracterización Geomorfológica de la Cuenca de las Lagunas Encadenadas del Oeste Provincia de Buenos Aires.
IV Jorn. Geol. Bon., Noviembre 1995, Junin, Actas. pp: 205-213.
- IATASA, (1994).
Estudio de Sistematización de la Cuenca del Rio Salado 1° etapa: Plan Director para la Cuenca de las Lagunas Encadenadas del oeste y Cuenca Superior del Arroyo Vallimanca.
Etapa 1^{ra}, Informe final, Vol. II: Informe General, TI, Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. 1952/71.
Cartas topográficas Adolfo Alsina (3763-22), (3963-23-1), Saturno (3763-16-4), (3763-17-2), (3763-17-3), (3763-17-4), (3763-18-4), (3763-18-1), escala: 1:50000.
- MONACHESI, A., 1995.
La Movilidad del Paisaje Bonaerense: el agua y su manejo (Sistema de las Lagunas Encadenadas).
Revista Ateliers, N° 4, 45-64.
- MONTESARCHIO L.A, 1990.
Lagunas Encadenadas del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires: Descripción y análisis de sus características hidrográficas.
Revista Universitaria de Geografía – UNS, Volumen 4, 159-179, Bahía Blanca.
- NAVARRO E. Y M. GONZÁLEZ URIARTE. 1997.
"Estimación de las superficies de inundación y del espacio disponible para la acumulación de agua, Laguna Epecuén y la Paraguaya. (Hoja I.G.M 3763-22)".
VI Congresso Brasileiro da ABEQUA e Reunião sobre o Quaternario da America do Sul, Resúmenes Expandidos: Tema: Quat. y Med. Amb., pp: 362-366, Curitiba. Brasil.
- NAVARRO E. Y M. GONZÁLEZ URIARTE, 1999.
"Geomorfometría aplicada a la gestión hídrica del ecosistema de las lagunas Encadenadas del Oeste".
Revista del Instituto de Geología y Minería, de la Universidad Nacional de Jujuy, Vol. 12, No 1 – 1998, pp: 35-49.
- PAOLI C. Y R. GIACOSA, 1983.
Necesidades de investigaciones hidrogeológicas en llanuras.
Coloquio Intern. de Hidrología de Grandes Llanuras. Vol. I, Actas. Olavarría.
- TORRENTE. R. Y BONORINO, A. 1988.
Funcionamiento hidrológico de la Laguna Epecuén. Prov. de Buenos Aires.
2^{das} Jorn. Geol. Bon. Actas: 579-588. Bahía Blanca.



Zonificación de áreas afectadas por salinización para el estudio de la peligrosidad geológica en la hoja Mendoza

Regairaz; Maria Cecilia ¹ - Gonzalez, Maria Alejandra ²

Resumen

En la presente contribución se analizan los factores condicionantes y desencadenantes de la salinización en el sector de la Hoja Mendoza (32°00' - 33°00' y 67°30' - 69°00') y los principales peligros geológicos asociados a dichas áreas.

La zonación regional se realizó con antecedentes previos, análisis de campo y de laboratorio. Los factores considerados para el mapeo fueron: la geomorfología (fundamentalmente el relieve), las características del material originario (ej. la textura) de los suelos, la profundidad de la freática, y los valores de reflectancia en las bandas 1, 4, y 7 de la imagen Landsat TM. Para esta Hoja, las zonas salinizadas se localizan en relieves plano-cóncavos en general (ej. playas pedemontanas), muchas veces afectadas por freática superficial; y presentan originariamente sedimentos minerales (fluviales y/o lacustres) u orgánicos (turberas).

Este proceso afecta principalmente los sectores distales de los conos más recientes ("Conos Maipú y Palmira") del río Mendoza (las llamadas "series" Corralitos Norte y Sur, El Sauce, Rodeo y Barcala), las playas del piedemonte de Precordillera ("Planicies del Rosario y del Tulumaya", con las "series" Jocolí y Lavalle) y la planicie lacustre de Guanacache.

Esta zonación forma parte del mapeo de procesos geológicos para la carta de peligrosidad geológica de la misma área. Los principales peligros asociados a este proceso, asociados a los suelos de las áreas fuertemente salinizadas del área relevada son: baja capacidad de carga, corrosión y, en áreas afectadas por "revenición" (término local usado para suelos con gradiente salino creciente hacia superficie por influencia de freática superficial), alta probabilidad de licuefacción por sismos.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se encuadra dentro del Programa de Cartas Temáticas que lleva a cabo la DGAA-SEGEMAR. El presente forma parte de la realización de la Carta de Peligrosidad Geológica de la Hoja Mendoza, en la cual se incluye el mapeo de los procesos geológicos presentes en el

área, para su evaluación. Uno de estos, con gran participación areal lo constituye la salinización. La Hoja Mendoza (32°00' - 33°00' y 67°30' - 69°00') (Figura 1) está ubicada en el noroeste de la provincia homónima y el SE de la provincia de San Juan y abarca el este de la Precordillera y su piedemonte, los conos más recientes del río Mendoza ("Conos Maipú y Palmira") y gran parte de los depósitos eólicos arenosos de la llamada "Llanura de la Travesía".

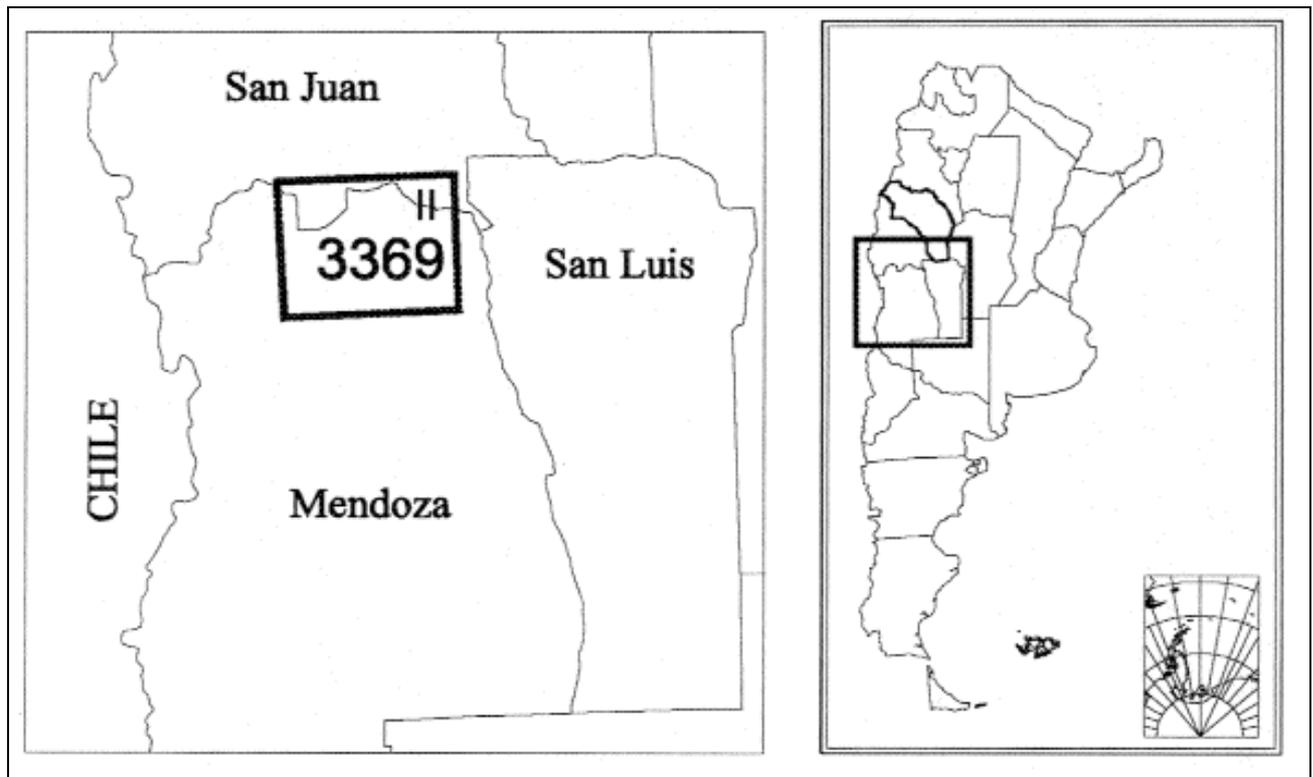
En algunos sectores intermedanosos de dicha llanura, localizados en el N y NE mendocino, la acumulación salina ha sido tan intensa que ha originado diversas sulfateras. La localización (ej. : Yesera Pampitas Blancas, La Batea y otras) puede consultarse en *Rodríguez (1966)* y en

Entregado: 03 de Setiembre de 2001 ■ Aceptado: 26 de Setiembre de 2001

1. IANIGLA - CRICYT - Instituto Argentino de Nivología y Glaciología y Ciencias Ambientales - Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Mendoza. Casilla de Correos 330.(5500) Mendoza e-mail: cecirega@lab.cricyt.edu.ar

2. SEGEMAR - DGAA - Dirección de Geología Ambiental y Aplicada. Av. Julio A. Roca 651, piso 8, sector 8, (1322) Ciudad de Buenos Aires e-mail: marigo@secind.mecon.gov.ar

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Cordini (1948) quienes atribuyen la génesis de las mismas al afloramiento de la freática y/o a la acumulación de aguas de escorrentía en sectores deprimidos del relieve (lacustres?).

En la imagen satelital del área de trabajo los sectores fuertemente salinizados (perfiles 5 y 6, Cuadro 2) que ocupan importantes superficies, presentan color blanco brillante en una combinación RGB en las bandas 1, 4 y 7. Otros sectores de menor salinidad fueron incluidos en el mapa basados en datos analíticos de estudios previos (perfil 1, Cuadro 1) o de muestreos de campaña para la Hoja Mendoza (perfil 4, Cuadro 2).

A partir de estos antecedentes y los datos de campo se realizó el análisis de los factores intervinientes, las correspondientes correlaciones y el mapeo para el estudio de la Peligrosidad Geológica.

2. FACTORES

Los factores que intervienen en la salinización del área de esta Carta, son múltiples y, algunos de ellos fueron tratados previamente (*Pacheco, 1981, Regairaz, 1989, Ferrer y Regairaz, 1993*). Del análisis de los Cuadros 1 y 2 se observa que los principales factores condicionantes para la formación de áreas salinizadas en la Hoja son la *geomorfología* (especialmente el *relieve*), las *granulometrías finas* (francas, franco-arcillosas y arcillosas) y el *clima* (sector NE de Mendoza es el de mayor aridez).

Con relación a la *geomorfología*, la concentración de

soluciones salinas se favorece en determinadas posiciones del paisaje tales como sectores distales de abanicos aluviales (del piedemonte de Precordillera o del sistema de conos del río Mendoza), playas pedemontanas, sectores deprimidos del relieve (lugares receptores de derrames tales como la Ciénega del Tulumaya, planicie lacustre de Guanacache y bajos sin desagüe o “ramblones” de la Llanura de la Travesía) y sectores marginales de los ríos. Por otro lado, sedimentos con *granulometrías finas*, especialmente la presencia de arcillas (perfil 6, de depósitos lacustres de Guanacache), retardan los procesos de lixiviación de sales solubles por su restringida permeabilidad.

En relación al *clima*, gran parte de los sectores más fuertemente salinizados de la Hoja Mendoza (ej.: perfiles 2 y 3, Cuadro 1 y perfil 6, Cuadro 2) se encuentran en el sector NE, área de influencia de la *estación meteorológica Encón* (32° 18' y 67° 50', 535 m s.n.m.). El valor de Evapotranspiración Potencial anual (calculada por fórmula de Blaney-Criddle, el más adecuado para sectores áridos e hiperáridos) de esta estación es el más alto de la provincia, conjuntamente con la estación Retamo (32° 27' y 67° 24', 525 m s.n.m.), también ubicada en el extremo NE de Mendoza y cercanas al límite con la provincia de San Juan. Ambas estaciones revelan un marcado déficit hídrico si se compara la evapotranspiración con la disponibilidad de precipitación anual (ver valor de Encón en Cuadros mencionados).

CUADRO 1: PERFILES DE SUELO CON GRADIENTE DE SALINIDAD DESCENDENTE

geomorfología	ubicación (coordenadas)	Clima	prof. (cm)	textura	salinidad (microS/cm)	clase salina (*)	vegetación natural
piedemonte Precordillera (1)	sector distal abanicos aluviales	Mendoza PMA: 214,2 mm/año TMA: 16,7 °C ETPot.: 1.558,7 mm/año	0 - 5	EA	590	nula	monte xerofítico ↓ ↓ ↓ "jarilla" (Larrea sp.) cactáceas, etc.
			5 - 25	"	800	"	
			25 - 58	"	6.970	moderada	
			58 - +90	A	10.180	FUERTE,	
médanos Llanura de la Travesía (2)	(32° 44' 67° 14')	ENCON PMA.175,2 mm/año TMA: 17,4 °C ETPot.: 1.684,7 mm/año	0 - 15	AF	3.980	ligera	monte xerofítico + halófitas "vidriera" (Suaeda divaricata) "retortuño" (Prosopis strombulifera)
			15 - 30	"	7.502	moderada	
			30 - 60	"	11.000	FUERTE	
			60 - 90	"	19.000	MUY FUERTE	
depresiones intermedanasas "ramblones" (3)	(32° 24' 67° 44')	Idem	0 - 15	EA	9.991	FUERTE	idem
			15 - 30	"	8.742	"	
			30 - 60	F	12.489	"	
			60 - 120	"	29.142	MUY FUERTE	

(1) Regairaz, M.C., 1997, (2 y 3) Gaviole de Heras, 1981

clima: PMA = Precipitación Media Anual, TMA = Temperatura Media Anual, ETPot. = Evapotranspiración Potencial anual (#)

(#) según fórmula Blaney-Criddle (para zonas áridas)

textura suelo según triángulo textural de Soil Survey Staff, U.S.D.A (United States Department of Agriculture), 1951 y actualizaciones

F = franco, EA = franco-arenoso, AF = arenoso-francoso

(*) clases según Personal del Laboratorio de Salinidad de E.U.A., 1977 y actualizaciones (microSiemen/cm = micromho/cm)

0 - 2.000 microS/cm : no salino, 2.000 - 4.000: ligera salinidad, 4.000 - 8.000: moderada, 8.000 - 16.000: fuerte, mayor de 16.000: muy fuerte

CUADRO 2: PERFILES DE SUELO CON GRADIENTE DE SALINIDAD ASCENDENTE ("REVENICIÓN")

↓ ↓ ↓
freática cercana a la superficie

geomorfología	ubicación (coordenadas)	clima (cm)	prof.	textura	salinidad (microS/cm)	clase salina (*)	vegetación natural
cono reciente ? río Mendoza "Cono Maipú" (4)	sector distal "área de surgencia" (32° 56' 68° 41')	Mendoza PMA: 214,2 mm/año TMA: 16,7 °C ETPot.: 1.558,7 mm/año	0 - 15 15 - 33 33 - +65	— restos vegetales (turbera)	3.720 2.960 1.560	ligera " "	— cultivos hortícolas (antrópico)
pedemonte de Precordillera (5)	playa (32° 40' 68° 42')	Idem	0 - 17 17 - 35 + 35	F " "	24.200 19.400 16.400	MUY FUERTE " FUERTE	— peladal
planicie lacustre de Guanacache (6)	(32° 22' 67° 36')	ENCON PMA.175,2 mm/año TMA: 17,4 °C ETPot.: 1.684,7 mm/año	0 -15 15 -30 30 - 60 60 - 100	Farc. arc. " "	82.283 73.622 63.582 59.272	MUY FUERTE " " "	— ídem

(4 y 5) muestreo de campaña, solo se analizaron horizontes superficiales (no perfil completo) para evaluar relación con respuesta espectral en imagen satelital;
(6) *Gaviola de Heras, 1981.*

textura del suelo: F = franco, Farc = franco-arcilloso; arc. = arcilloso

(*) clases según Personal del Laboratorio de Salinidad de E.U.A., 1977 y actualizaciones

0 - 2.000 microS/cm : no salino, 2.000 - 4.000: ligera salinidad, 4.000 - 8.000: moderada, 8.000 - 16.000: fuerte, mayor de 16.000: muy fuerte

ÁREAS GRISES : valores más altos de salinización de suelos y factores (geomorfología, relieve, clima y/o texturas) relacionados.

En cambio, sectores alrededor de la capital se pueden considerar bajo la influencia de la *estación meteorológica Mendoza* (32° 53' y 68° 51', 826 m s.n.m.). Los valores de la ET potencial (calculada por misma fórmula) disminuyen marcadamente hacia el W mendocino (ver mapa de isolíneas de ET_{pot.} anual en *Berra y Ciancaglini, 1979*). En efecto, por efecto orográfico se reducen temperaturas y aumenta la precipitación lo cual determina una mayor disponibilidad de humedad y una creciente lixiviación de sales hacia el ápice del piedemonte de Precordillera (*Regairaz y Gaviola de Heras, 1993*). En dicho piedemonte los valores de salinidad mas altos solo se localizan en los horizontes mas profundos del sector distal de los abanicos aluviales (perfil 1, citado de *Regairaz, 1997*) o en playas (perfil 5, muestreado durante campaña de realización de la Carta de Peligrosidad - DGAA).

Por otro lado, los principales factores desencadenantes de la salinización en esta Hoja son *freáticas superficiales* (a veces de tipo de "falsas freáticas" generadas por exceso de riego en suelos con horizontes impermeables o con marcadas discontinuidades granulométricas verticales), *reducción del sistema lacustre* de Guanacache por causas antrópicas (uso de aguas de ríos Mendoza y San Juan para riego) y naturales (disminución de nivel de base por erosión de "tosca", *Vitali, 1940*). Esta disminución provocó el secamiento de las lagunas y la posterior salinización de los suelos), *actividad sísmica* (hundimientos de terreno y/o ascenso de freáticas, caso B de crónicas históricas citadas en párrafos siguientes) y *ciertas modificaciones climáticas* (los años Niño, ver caso A)

Dentro del evento ENSO = "El Niño" (*Southern Oscillation*) se reconocen tres subconjuntos: una fase cálida conocida como El Niño, una fría llamada Niña y años normales o neutros. En los Andes argentino-chilenos la variabilidad interanual de precipitaciones sólidas (nieve) esta determinada en gran medida por el aumento en la temperatura del mar que bordea la costa de Ecuador (fenómeno Niño). Este efecto en la vertiente occidental de los Andes (cuenca del Aconcagua) determina un incremento invernal de precipitaciones líquidas y sólidas y aumento de temperaturas en verano, lo cual influirá en la temporada estival posterior con incremento de caudales de los ríos con grandes crecidas (*Prieto et al, 2.000*).

Sin duda el mayor aporte nival en Cordillera determinará el ascenso de los niveles freáticos y, por ende, tenderá a agravar la revenición. Loos (sin año, citado en *Stappenbeck, 1913, p.36*) observa que en Mendoza el agua subterránea crece desde Marzo para alcanzar el máximo en Julio-Agosto, por lo cual deduce que necesita un término medio de cuatro meses como mínimo para atravesar

sedimentos y recargar los acuíferos. En el Cuadro 3 se observa la estrecha interrelación entre años de revenición y eventos "Niño". Por otro lado, los descensos corticales producidos por sismos se agravarían por revenición en años hidrológicamente ricos.

Ejemplos de crónicas históricas:

Caso A):

"En la viña del Coronel Taboada, algunos centenares de metros al sud de los Baños de Lunlunta, brotaron al fin de Febrero o en Marzo de 1904, repentinamente manantiales tan poderosos que inundaron toda la viña, sobre un espesor de 30 centímetros" (*Stappenbeck, 1913, p.28*). Dentro de los períodos de fuerte revenición citados por *Loos, 1926, p.157*), este año correspondió a un evento Niño de fuerte intensidad (Cuadro3).

Caso B)

"Después del terremoto (20/dic/1920) el crecimiento del caudal de agua que brotó del suelo en Jocolí, en Corralitos, San Martín y Alto Verde alcanzó proporciones alarmantes, llegando en el invierno de 1922 a un punto de culminación. Entre Jocolí y El Borbollón hay una faja de terreno en que centenares de hectáreas de cultivos han quedado inundadas por la revenición. En Corralitos la cantidad de agua de vertientes que corre en los desagües es extraordinaria, mientras que en todas partes adonde los cultivos están sujetos a riego con agua de los ríos (Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel) la queja sobre falta de agua es general" (*Loos, 1926*) En este caso, se observa que dentro de los períodos de fuerte revenición citados por el autor, la causa principal de la salinización parece ser el cambio en el nivel freático inducido por el "Terremoto de Lavalle", ya que los años 1921 y 1922 corresponden a períodos de escaso aporte nival en Cordillera (Cuadro 3), evidenciado por el escaso caudal de los ríos mendocinos

Con relación a la influencia de las sales en la vegetación se puede observar que cuando los valores de salinidad fuertes se manifiestan por debajo de la profundidad promedio explorada por raíces (perfil 1), en superficie aparece el *monte xerofítico* típico provincial (*Larrea sp.* "jarillas", *Prosopis sp.* "algarrobo", *Condalia microphylla* "piquillín", etc.). Si las sales están mas cerca de la superficie (perfil 2) empiezan a aparecer comunidades *halófitas* ("jume" *Allenrolfea vaginata*, *Prosopis strombulifera* "retortuño", *Suaeda divaricata* "vidriera", etc.) y en lugares fuertemente salinizados (perfiles 5 y 6) se transforman en *peladales*, aunque en algunos de ellos las plantas mueren por asfixia radicular (sedimentos finos y sectores anegables) y no por altos tenores salinos. En el piedemonte de Precordillera las comunidades halófitas llegan hasta los 750 m s.n.m. (*Roig, F. y V., 1969*).

CUADRO 3: RELACIÓN ENTRE REVENICIÓN, EVENTOS NIÑO Y ACTIVIDAD SÍSMICA

períodos con revenición (Loos, 1926)	eventos “El Niño” (Quinn, 1992)		sismos con epicentro mendocino	
	años	magnitud	fechas	magnitud (Richter)
1872 a 1875	1871	moderado	20/marzo/1861 (con licuefacción)	7,0
	—			
	1873	+ moderado		
	1874	+ moderado		
1906 a 1907	1904	FUERTE	12/agosto/1903	6,3
	1905	FUERTE		
	—			
	1907	+ moderado		
1919 a 1922	1918	+ FUERTE	17/diciembre/1920 “Terremoto de Lavalle” (con licuefacción)	6,3
	1919	+ FUERTE		
	1920	+ FUERTE		
	—			
	1923	moderado		

3. PELIGROSIDAD ASOCIADA A LA SALINIZACIÓN DEL ÁREA

Los principales problemas ocasionados por la salinización de los suelos son:

- *corrosión*: Se consideran “suelos corrosivos” los salinos conjuntamente con los hidromórficos y los que generan ácido sulfúrico (suelos sulfato-ácido).
- *baja capacidad de carga*: esto se pudo comprobar con hundimientos del vehículo usado durante las campañas, por ej.: en Pampa de los Cazadores y Pampa de la Carreta (San Juan). Este problema ocurre en otros sectores fuertemente salinizados de la provincia, ej.: alrededores de la Laguna de Llananelo, departamento Malargüe.
- *daños en cultivos*: se producen disminución de rendimientos, aparición de síntomas toxicidad y/o muerte de plantas (Avellaneda y Nijensohn, 1960; Braun Wilke et al, 1964 y 1969), con los consiguientes daños económicos.
- *daños en construcciones y pérdidas de riego*: En sectores irrigados (ej.: cinturón hortícola del departamento

Guaymallén) se producen procesos de “piping” o erosión en túnel favorecidos por la disolución de sales. Este proceso pseudocárstico ocasiona depresiones y colapso del terreno conocidas como resumideros, sumideros o “tinajeras” (nombre local), los cuales ocasionan problemas en las edificaciones y/o servicios sanitarios y fundamentalmente pérdidas de riego.

En Colonia Segovia, departamento Guaymallén, el Departamento General de Irrigación volcó cuatro camionadas de diez metros cúbicos de ripio, sin poder llenar la dolina. En otras zonas, distrito Barcala, departamento Maipú, se han reportado (Stappenbeck, 1913) hundimientos con un tamaño hasta cuatro metros de diámetro

- *aumento de daños por sismos* (susceptibilidad a licuefacción) Esto solo ocurrirá en los casos de suelos con “revenición” que deben su mayor concentración salina superficial a la influencia de freáticas superficiales (verdaderas o falsas = colgadas), muchas veces inducidas por exceso de riego en los oasis.

La licuefacción, generalmente evidenciada por la formación de “cráteres de arena y/o barro”, ha sido particularmente notoria en los siguientes sismos:

- 20 de marzo de 1861, afecta distrito Bermejo, departamento Guaymallén y las ciénagas (probablemente distritos Rodeo de la Cruz y Rodeo del Medio, de los departamentos Guaymallén y Maipú respectivamente). En Mendoza estos toponímicos parecen haberse originado por los desvíos que debían dar personas y/o ganado para rodear las grandes ciénagas existentes (Romanella, 1957, p.28).
- 17 de diciembre de 1920, conocido como “Terremoto de Lavalle” donde los “cráteres” se reportan al NW del distrito Costa de Araujo, departamento Lavalle (Loos, 1926, p.140 y 141)
- 23 de noviembre de 1977, conocido como “Terremoto de Caucete: afecta distrito El Pastal, departamento Las Heras “. (INPRES, 1977)

Los distritos de Costa de Araujo y El Pastal corresponden a zonas de freáticas superficiales (isobata mínima absoluta (plano de mayor peligrosidad freática): 0-1 metro, según Departamento General de Irrigación, 1988) y por tanto, a sectores fuertemente salinizados por “revenición” (término local usado para designar gradientes de salinidad crecientes hacia la superficie del suelo).

4. ZONACIÓN

Las áreas más afectadas por este proceso (Figura 2) son:

- el sector distal de conos más recientes del río Mendoza conocidos como “Conos Maipú y Palmira” (Regairaz y Barrera, 1975) o “área de surgencia” (Ortiz Maldonado et al, 2.000). Comprendería las llamadas “series” de suelo (Romanella, 1957) El Sauce, Corralitos Sur (perfil 4, cuadro 2) y Norte, Rodeo y Barcala. Este sector no aparece en el relevamiento regional (Pacheco, 1981) de áreas salinas porque se excluyeron los oasis de riego.
- las playas pedemontanas de Precordillera (ej.: Serranías de Las Peñas, La Higuera, Jocolí y Punta Negra) conocidas fundamentalmente como “Planicies del Rosario y del Tulumaya” o “área final de descarga” Estos sectores corresponden a las “series” Jocolí (perfil 5) y Lavalle. Todas las designaciones son de los autores citados previamente.
- el sector lacustre del N y NE mendocinos.(perfil 6)
- algunos sectores de depósitos eólicos arenosos de la “Llanura de la Travesía”, ej.: la “serie Tres Porteñas”.

En muchas de las áreas mencionadas previamente es decisiva la influencia del agua subterránea. En el “área de

surgencia” los freáticos del Departamento General de Irrigación registran isobatas mínimas absolutas predominantes de 0,5 a 1 metro (Ortiz Maldonado et al, 2.000). En el sector NE, perteneciente fundamentalmente a la planicie lacustre de Guanacache, los estudios hidrogeológicos (Rodríguez, 1966) revelan profundidades de la freática de alrededor de 4 metros y, en algunos casos, afloramiento de agua (surgencia).

Los mayores valores de salinidad se localizan en los horizontes superficiales de las planicies lacustres del N y NE mendocino (perfil 6), en correspondencia de los sedimentos más finos y el clima con mayor déficit hídrico. En esta zona se localizan varias yeseras (Cordini, 1948).

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta lo desarrollado, se observa una estrecha relación entre salinidad y geomorfología. En resumen, en la Hoja Mendoza es importante tener presentes dos tipos de áreas salinizadas:

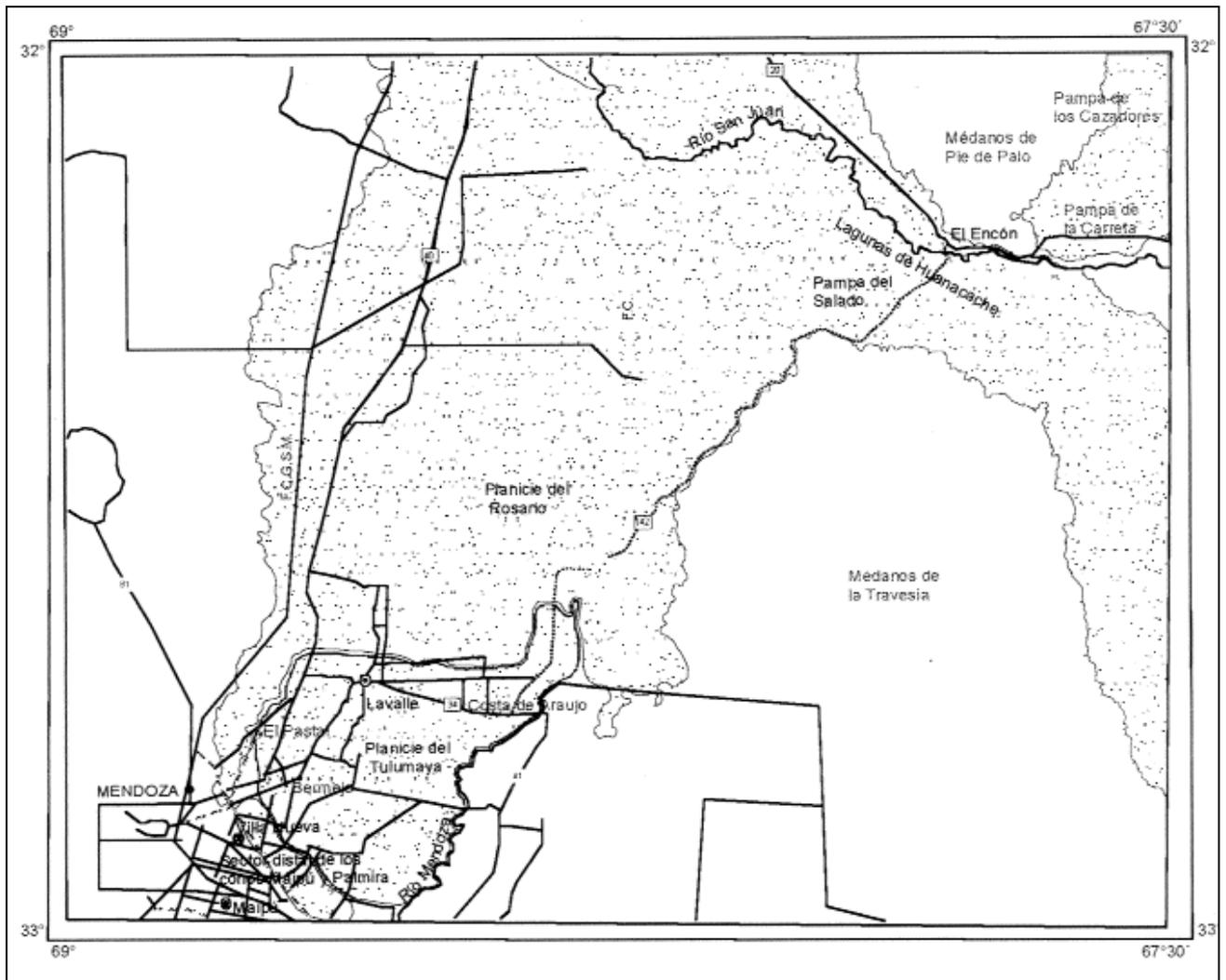
- 1) Áreas *permanentes*: determinadas por posición topográfica, ej. : área distal pedemontana, área distal de conos del río Mendoza, playas como la “Planicie del Rosario”, etc.
- 2) Áreas *variables*: relacionadas a hundimientos relativos por sismos. y/o años de eventos Niño (mayor aporte hidrológico por incremento de nevadas en zona cordillerana)

Los aspectos más importantes de la salinización, desde el punto de vista de los daños económicos sobre la actividad humana del área en estudio son.

- de tipo *agronómico*: disminución de rendimientos y/o intoxicación de viñedos y forestales y consiguientes pérdidas económicas, aumento de costos de producción por necesidad de lavados
- de tipo *ingenieril*: Uno de los aspectos más importantes es la destrucción de construcciones por licuefacción en terrenos revenidos. Con respecto a este último punto se recomienda un mapeo más detallado (delimitación de áreas con salinización descendente y ascendente) y la implementación (municipal y/o provincial) de medidas de gestión adecuadas, por ej.: recomendaciones de uso relacionadas a suelos de alta peligrosidad sísmica.

Por otro lado, la magnitud de los procesos de “piping” en áreas sometidas a creciente urbanización podría tener grave incidencia en procesos de contaminación del suelo y/o freáticas. Por lo tanto, también demandaría adecuadas medidas de gestión similares a las de países afectados por procesos cársticos.

FIGURA 2: ZONACIÓN DE ÁREAS SALINIZADAS EN LA HOJA MENDOZA (ESCALA 1:1.000.000)



6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AVELLANEDA, M. O. Y NIJENSOHN, L., 1960,
Intoxicación salina en álamo y sauce álamo,
Experimenta, Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, 11 p.
- BRAUN WILKE, R. H., PIZARRO, O. C., PACHECO, M. H. Y GILOBERT, V. M., 1964,
Intoxicación salina de vides en Costa de Araujo, Mendoza,
Revista de Investigaciones Agropecuarias (R.I.A.), Serie 3: Clima y suelo, INTA, I (5), 101-132.
- BRAUN WILKE, R. H., PIZARRO, O. C., PACHECO, M. H. Y GILOBERT, V. M. Y CINTA, W., 1969,
Evolución estacional de la concentración de algunos iones en hojas de vid,
R.I.A., Serie 2: Biología y Producción, INTA, VI (5), 77-101.
- BERRA, A. B. Y CIANCAGLINI, N. C., 1979,
Mapas de evapotranspiración potencial de la provincia de Mendoza,
Cuaderno Técnico del IADIZA 1-79, 1-27.
- CORDINI, I.R., 1948,
Contribución al conocimiento de los cuerpos salinos de la Argentina: I, Las sulfateras del departamento General Lavalle (Mendoza),
Rev. Asoc. Geol. Arg. (R.A.G.A.), I (3), 11-199

- DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN, 1988,
Instalación de redes freáticas en las áreas irrigadas de la provincia de Mendoza,
Publicación Técnica N° 11.
- FERRER, J.A. Y REGAIRAZ, M.C., 1993,
Suelos de Mendoza: factores y procesos de formación, Relatorio del Geología y Recursos Naturales,
XII Congreso Argentino y II Congreso De Exploración de Hidrocarburos, Mendoza, V (3), 633-642.
- GAVIOLA DE HERAS, S., 1981,
Caracterización edafológica del área NE del departamento de Lavalle,
Informe Beca Iniciación CONICET, 42 p.
- INPRES (INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA), 1977,
El terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977,
Informe preliminar, 102 p.
- Loos, P. A.,
Untersuchungen über die Erben der Stadt Mendoza,
Gerlands Beiträge Zur Geophysik, Bd. IX, 174 p.
- Loos, P. A., 1907,
Estudios de Sismología: Los movimientos sísmicos en Mendoza,
Anales del Ministerio de Agricultura, Mineralogía y Minería, III (1), 38 p.
- Loos, P. A., 1926,
Los terremotos del 17 de diciembre de 1920, en Costa de Araujo, Lavalle, La Central, Tres Porteñas, etc.
Contribuciones Geofísicas del Observatorio Astronómico de la Universidad de La Plata, I (2), 129-158.
- ORTIZ MALDONADO, G., GOMEZ, H. W., FONTAGNOL, D. Y BRANDI, F., 2.000,
Oasis del río Mendoza: niveles freáticos serie 1983-1997,
departamento Lavalle, Congreso del Agua.
- PACHECO, M.H., 1981,
Carta ecológica de la provincia de Mendoza (estudio edáfico),
Publicación de la Dirección Agropecuaria, Serie Técnica N° 3, 75 p.
- PERSONAL DEL LABORATORIO DE SALINIDAD DE E.U.A., 1977,
Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos,
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, Editorial Limusa, México, 172 p.
- PRIETO, M., HERRERA, R. G., CASTRILLEJO, T. Y DUSSEL, P. I., 2.000,
Variaciones climáticas recientes y disponibilidad hídrica en los Andes centrales argentino-chilenos (1885-1996):
El uso de datos periodísticos para la reconstrucción del clima, Meteorológica 25 (1 y 2), 27-43.
- QUINN, W. H., 1992,
A study of Southern Oscillation-related climatic activity for A.D. 622-1900 incorporating Nile River flood data, en "El Niño:
Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation", Diaz, H. F. and Markgraf, V. (Editores), Cambridge University Press, 119-149.
- REGAIRAZ, A.C. Y BARRERA, R.O., 1975,
Formaciones del Cuaternario: unidades geomorfológicas y su relación con el escurrimiento de las aguas en el piedemonte de la Precordillera,
An. Acad. Brasil. Cienc., 47 (Suplemento), 5-20.
- REGAIRAZ, M.C. Y GAVIOLA DE HERAS, S., 1993,
Suelos del piedemonte de la Precordillera de Mendoza,
Actas del XIV Congreso Argentino de la A.A.C.S. (Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo), p.405.
- REGAIRAZ, M.C., 1989,
Suelos salinos de Mendoza: factores,
informe inédito Cátedra Suelos salinos, sódicos e hidromórficos de la U.N.S. (Universidad Nacional del Sur), Bahía Blanca.

- REGAIRAZ, M.C., 1997,
Evaluación de suelos: Cuencas precordilleranas (El Peral y El Manzano) y terrazas del río Mendoza,
informe inédito (para II Zona del Departamento General de Irrigación de Mendoza), 35 p.
- RODRIGUEZ, E. J., 1966,
Estudio hidrogeológico del sector nordeste de la provincia de Mendoza,
Rev. Asoc. Geol. Arg. (R.A.G.A.) XXI (1), 39-60
- ROIG, F.A. Y ROIG, V. G., 1969,
Guía botánica y zoológica del viaje desde Mendoza hasta Uspallata por los Paramillos,
X Jornadas Argentinas de Botánica, Mendoza, 61 p.
- ROMANELLA, C.A., 1957,
Los suelos de la región del río Mendoza (ensayo de establecimiento de series),
Boletín de Estudios Geográficos, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, IV (14), 1-57.
- SOIL SURVEY STAFF, 1951,
Soil Survey Manual, U.S.
Department of Agriculture Handbook N° 18, 503 p.
- STAPPENBECK, R., 1913,
El agua subterránea al pie de la Cordillera mendocina y sanjuanina,
Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería, Buenos Aires, VIII (5), 70 p.
- VITALI, G., 1940,
Hidrología mendocina: contribución a su conocimiento,
245 p.



Mapa de emisividad calculado a partir de una imagen Landsat TM sobre un sector de la Cuenca del Azul

Rivas, Raúl ¹ - Caselles, Vicente ² - Valor, Enric ² - Entraigas, Ilda ¹

Resumen

La obtención de la emisividad (ϵ) de la superficie es fundamental en la determinación de la temperatura real del sistema obtenida a partir de la medida radiométrica de sensores a bordo de satélites o aerotransportados.

En el presente trabajo se utiliza una metodología sencilla para la obtención de mapas de emisividad de superficie a partir del porcentaje de vegetación (P_v). El valor de P_v representa la fracción de vegetación en un píxel, siendo la fracción de suelo desnudo $1 - P_v$. Para la determinación de este se utiliza el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) puesto que es el más sencillo y de amplia aplicación. Obtenidos los valores de P_v se aplica la ecuación de emisividad efectiva o del píxel.

$$\epsilon = \epsilon_v * P_v + \epsilon_s * (1 - P_v) + 4 * d * \epsilon * P_v * (1 - P_v)$$

ϵ : emisividad efectiva de la superficie
 ϵ_v : emisividad de la vegetación
 ϵ_s : emisividad del suelo
 d : término de cavidad

Para ello se ha seleccionado en una imagen Landsat TM 5 de invierno un sector de 441 km² sobre el cual se aplica la metodología. Por último se presenta el mapa de emisividad efectiva de las diferentes coberturas presentes cuyos valores están comprendidos entre 0,96 (para píxeles de suelo desnudo) y 0,985 (para píxeles completamente vegetados).

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal exponer los pasos necesarios para la obtención de una mapa de emisividad de superficie.

En la medida de la temperatura por teledetección el sensor mide la radiación emitida por la superficie observada

en un rango espectral más o menos amplio. Generalmente la radiación térmica se mide en el infrarrojo en la región 8-14 μm del espectro electromagnético, siendo esta la zona donde se da la máxima emisión por parte de la tierra.

La medida radiactiva a nivel del satélite no se corresponde con la de la superficie, sino que para lograr obtener el valor de esta se debe tener en cuenta la atmósfera y el carácter emisivo de la superficie observada. El principio físico que rige la emisión de energía por una superficie es la ley de Planck, la cual determina la radiación monocromática emitida por un cuerpo negro (considerado radiador perfecto) en función de su temperatura. La mayor parte

Entregado: 23 de agosto de 2001 ■ Aceptado: 14 de setiembre de 2001.

1. Instituto de Hidrología de Llanuras - Comisión de Investigaciones Científicas CC 44, 7300, Azul, Buenos Aires, Argentina.
e-mail: raul.rivas@uv.es

2. Departamento de Termodinámica, Universidad de Valencia, España.

de las superficies naturales emiten menos energía que el cuerpo negro. Además es importante tener en cuenta que la emisividad cambia espectralmente. Es la emisividad el concepto físico que representa esta peculiaridad. Se la puede definir como la capacidad de un cuerpo para emitir radiación a una temperatura dada en relación al cuerpo negro. Matemáticamente es el cociente entre la radiación emitida por una superficie, y la que emitiría el cuerpo negro a la misma temperatura. Conocer este parámetro es fundamental en la determinación de la temperatura.

Aunque para obtener la temperatura de la superficie es necesario corregir también la imagen de los efectos de la atmósfera, el presente trabajo se centra en la obtención de un mapa de emisividad de superficie.

2. METODOLOGÍA

Para la determinación de la emisividad de superficie se ha seleccionado una imagen Landsat TM5 (225-86) correspondiente a invierno. Esta cubre la parte media y alta de la cuenca del arroyo del Azul ubicada en el centro de la provincia de Buenos Aires. En la misma se ha seleccionado un área de 441 km² que representa una zona en la que prevalece la actividad agrícola (Fig. 1).

Se dispone de las 7 bandas y de los coeficientes de calibrado correspondientes para cada una exceptuando a la banda 6. Estos son suministrados en el header de la imagen.

En primer lugar se realizó la transformación de las cuentas digitales en radiancia, y esta en reflectividad (R_e) para cada banda. La ecuación lineal aplicada para obtener la radiancia es:

$$R_0(\lambda) = a_0(\lambda) + a_1(\lambda)CD(\lambda) \quad (1)$$

Siendo:

$R_0(\lambda)$ radiancia que llega al satélite en la longitud de onda considerada

$a_0(\lambda)$ y $a_1(\lambda)$ coeficientes de calibrado

Posteriormente se transformaron los valores de radiancia ($R_0(\lambda)$) en reflectividad (R_e) a nivel de superficie. Para la transformación se aplicó la siguiente expresión (Gielbert et al. 1986):

$$R_e(\lambda) = \frac{K \pi R_0(\lambda)}{E_0(\lambda) \cos\theta} \quad (2)$$

FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

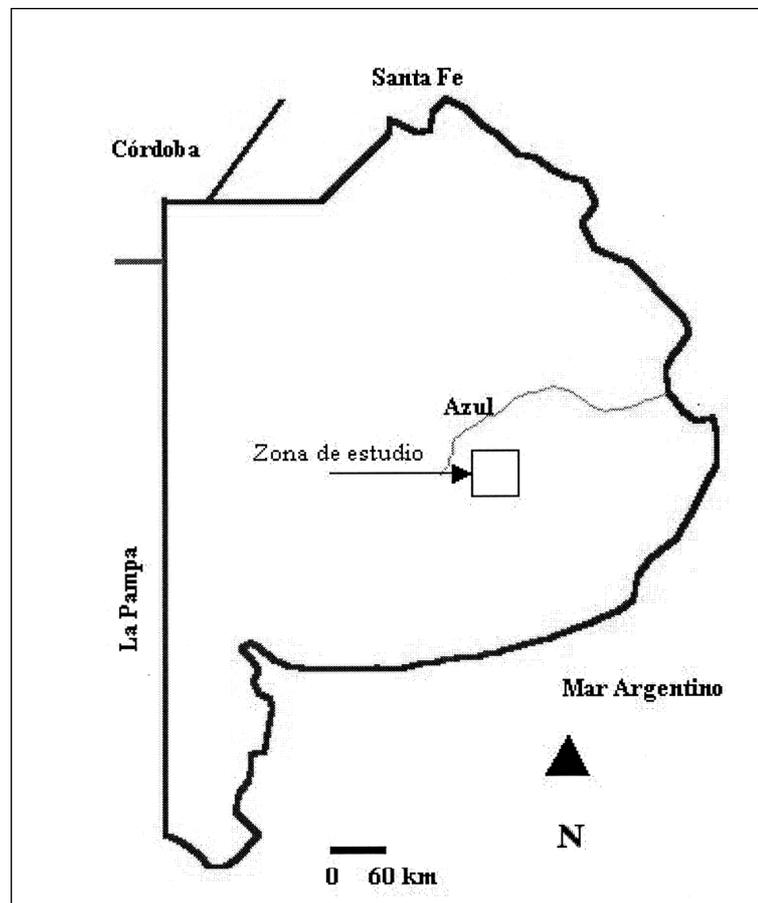
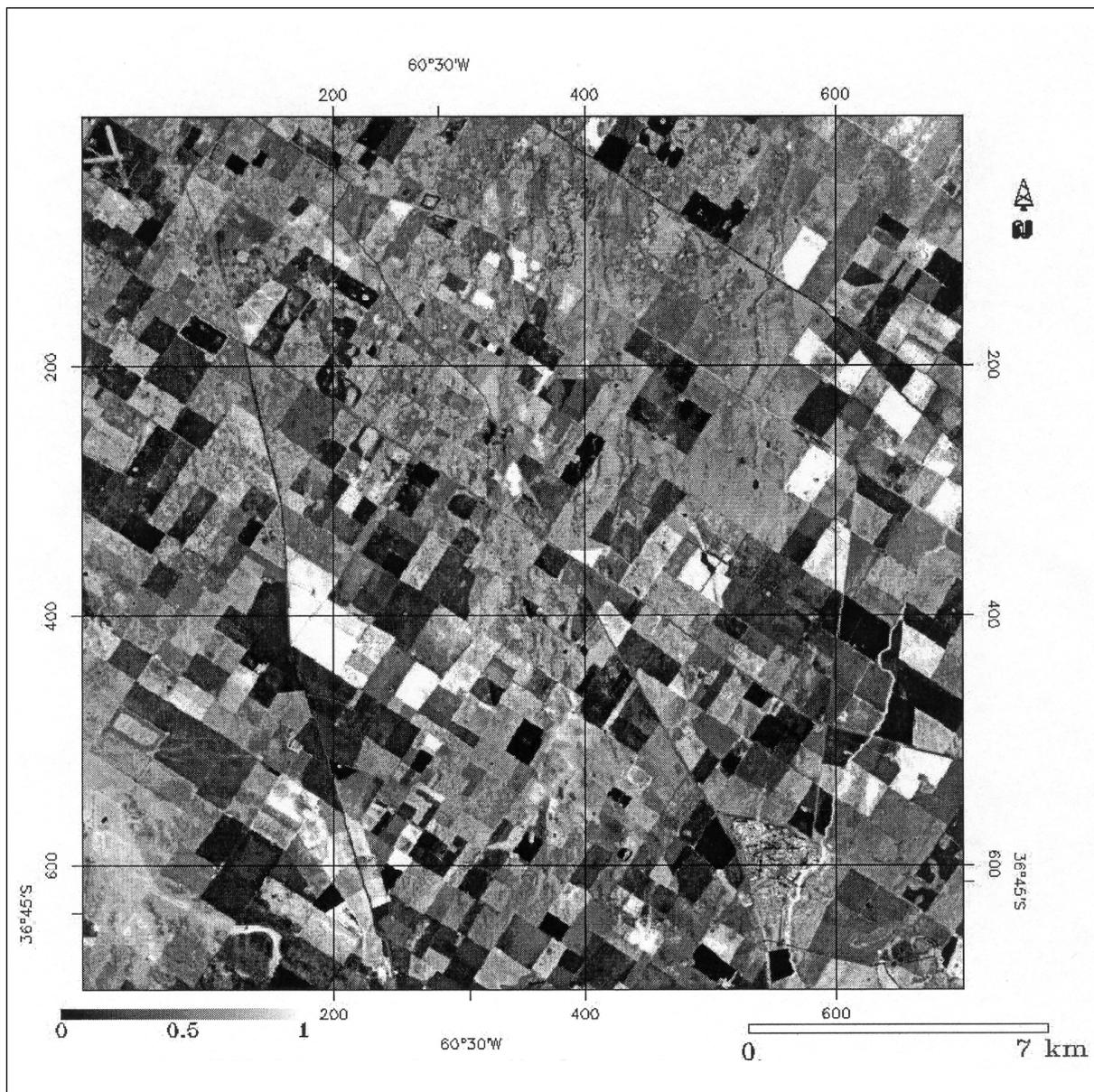


FIGURA 2: MAPA DE NDVI DEL SECTOR DE ESTUDIO. LAS MARCAS INDICAN LA CANTIDAD DE PÍXELES (30 m POR 30 m) DE LA IMAGEN



Donde:

R_e : reflectividad en la longitud de onda considerada (adimensional $0 \leq R_e \leq 1$)

K: factor de excentricidad de la órbita solar

E_0 : irradiancia extraterrestre

θ : ángulo zenital que depende de la toma de la imagen

En segundo lugar se realizó la corrección atmosférica aplicando el modelo denominado de corrección del histograma por valores mínimos (Chavez, 1988). Para ello se sustraen los valores mínimos de las áreas de fuerte absorción (por ejemplo agua) presentes en la banda 1 (la más afectada por los efectos de absorción) al resto de las

bandas. Este método fue utilizado por la ventaja de requerir solo información contenida en la propia imagen.

En tercer lugar se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para el sector de estudio (Rouse et al. 1974).

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R} \quad (3)$$

Donde:

IRC: reflectancia en el infrarrojo cercano

R: reflectancia en el rojo

Tabla 1. Estadísticos correspondientes a NDVI, NDVI_s y NDVI_v.
Las parcelas tipo 1 cumplen la condición de pertenecer a suelo desnudo y las tipo 2 a vegetación.

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación	Sector de análisis
NDVI	0	0.72	0.29	0.13	Imagen
NDVI _s	0.08	0.02	0.06	0.01	Parcelas tipo 1
NDVI _v	0.52	0.68	0.58	0.03	Parcelas tipo 2

En cuarto lugar se determinó el porcentaje de vegetación (P_v) suponiendo que un pixel está compuesto por vegetación y suelo (Price 1990). Si se considera un pixel mixto con un porcentaje de vegetación (P_v) y una proporción de suelo (1 - P_v) se puede escribir que R_{en} es:

$$R_{en} = R_{en} \cdot P_v + R_{en} \cdot (1 - P_v) \quad (4)$$

Siendo:

R_{en}: reflectividad del pixel medida en la banda n

Reemplazando R_{en} en la ecuación de NDVI y despejando se puede obtener el porcentaje de vegetación mediante:

$$P_v = \frac{1 - \frac{NDVI}{NDVI_s}}{1 - \frac{NDVI}{NDVI_s} - K \left(1 - \frac{NDVI}{NDVI_v}\right)} \quad (5)$$

Siendo:

$$K = \frac{IRC_v - R_v}{IRC_s - R_s} \quad (6)$$

Donde:

IRC_v, IRC_s: reflectividad en el infrarrojo cercano para la vegetación y para el suelo

R_v, R_s: reflectividad en el rojo para la vegetación y para el suelo

Los valores de NDVI_v y NDVI_s se determinan sobre la imagen reconociendo áreas completamente cubiertas por vegetación y por suelo desnudo (por ejemplo buscando sectores con píxeles que presenten máximos y mínimos de NDVI, pero cuidando que no correspondan a superficies con agua u otra que pueda desvirtuar el cálculo).

El valor de K se mantiene constante para toda la imagen y se obtiene a partir de los valores de reflectividad en las bandas rojo e infrarrojo cercano para las áreas puras (completamente cubiertas por vegetación y con suelo desnudo).

Por último se aplicó la ecuación operativa para la obtención de la emisividad (ε) para el rango espectral 10.5-12.5 μm (Valor y Caselles, 1996). El tercer término de la ecuación tiene en cuenta los efectos que puedan producirse por reflexiones internas. Un ejemplo de este efecto podría darse en una zona con monte en la cual se presentan sectores limpios.

$$\epsilon = \epsilon_v \cdot P_v + \epsilon_s \cdot (1 - P_v) + 4 \cdot d \cdot \epsilon \cdot P_v \cdot (1 - P_v) \quad (7)$$

Siendo:

ε_v: emisividad de la vegetación

ε_s: emisividad de suelo

d: efecto de cavidad

Para la zona de estudio el tercer término se consideró cero ya que el tipo cobertura vegetal no produce efectos de cavidad (Kerdiles, et al. 1996).

Por lo cual la ecuación anterior puede escribirse como sigue:

$$\epsilon = \epsilon_v \cdot P_v + \epsilon_s \cdot (1 - P_v) \quad (8)$$

Siendo:

ε_s: 0.96

ε_v: 0.985

Los valores de ε_s y ε_v corresponden a los propuestos por Valor y Caselles (1996) para la ecuación operativa.

3. RESULTADOS

En la Figura 2 puede observarse el mapa de NDVI en niveles de gris para la zona, obtenido a partir de los valores de reflectancia corregida en las bandas IRC (banda 4) y R (banda 3). Los colores oscuros y grises dominan como consecuencia del calendario agrícola.

Los valores mínimos, máximos medios y desviación de NDVI, NDVI_s, y NDVI_v se presentan en la Tabla 1.

El NDVI medio para el área seleccionada es bajo, dado que corresponde a una fecha de reducida actividad clorofiliana. Los valores máximos corresponden a parcelas con

cultivos invernales (pasturas de invierno) en fuerte actividad y los mínimos representan a los suelos desnudos o con cultivos recién nacidos.

Los valores de $NDVI_s$ corresponden a parcelas con suelos completamente desnudos o con cultivos de poco desarrollo permitiendo que el valor de reflectividad responda en mayor medida a una contribución del suelo y menor a la vegetación, y contrariamente ocurrirá con $NDVI_v$ que tendrá una mayor contribución por parte de la vegetación. Estos representan los valores mínimos y máximos de P_v .

En la Tabla 2 puede observarse los valores de reflectividad en las bandas IRC y R para los sectores con suelo desnudo (tipo 1) y vegetación (tipo 2). El valor del parámetro K obtenido es 5.1.

TABLA 2. VALORES MEDIOS DE RE (%) EN LAS BANDAS 3 Y 4 PARA LOS SECTORES PUROS (MÍNIMA COBERTURA Y MÁXIMA COBERTURA)

	Suelo desnudo	Vegetación
R (banda 3)	5	10
IRC (banda 4)	11	40.6

La Figura 3 muestra el mapa de porcentaje de vegetación obtenido luego de aplicar la ecuación 5. Es posible observar que las parcelas claras que presentan elevada cobertura vegetal se corresponden con las de alto valor en NDVI de la Figura 2.

FIGURA 3: MAPA DE P_v

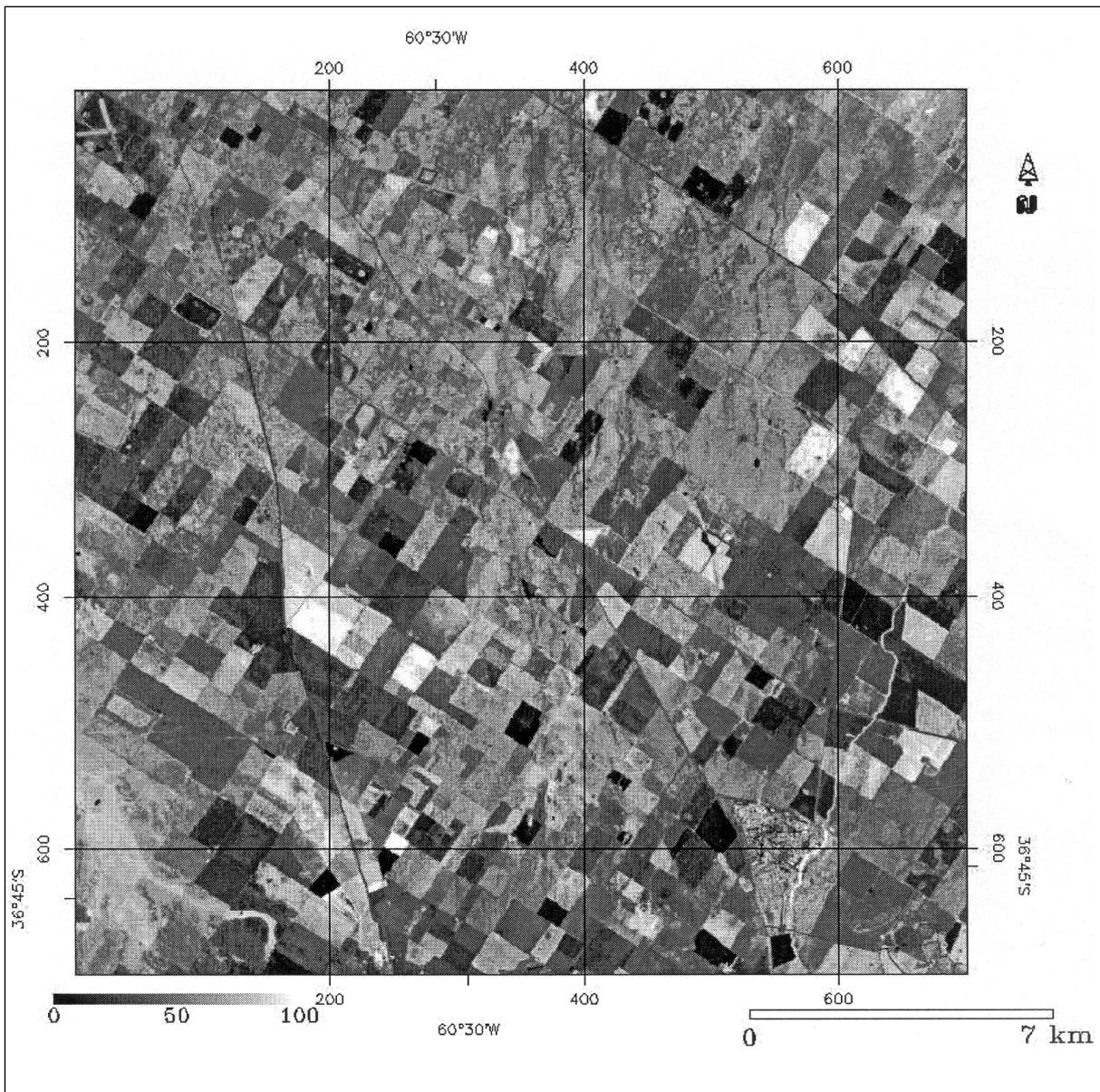
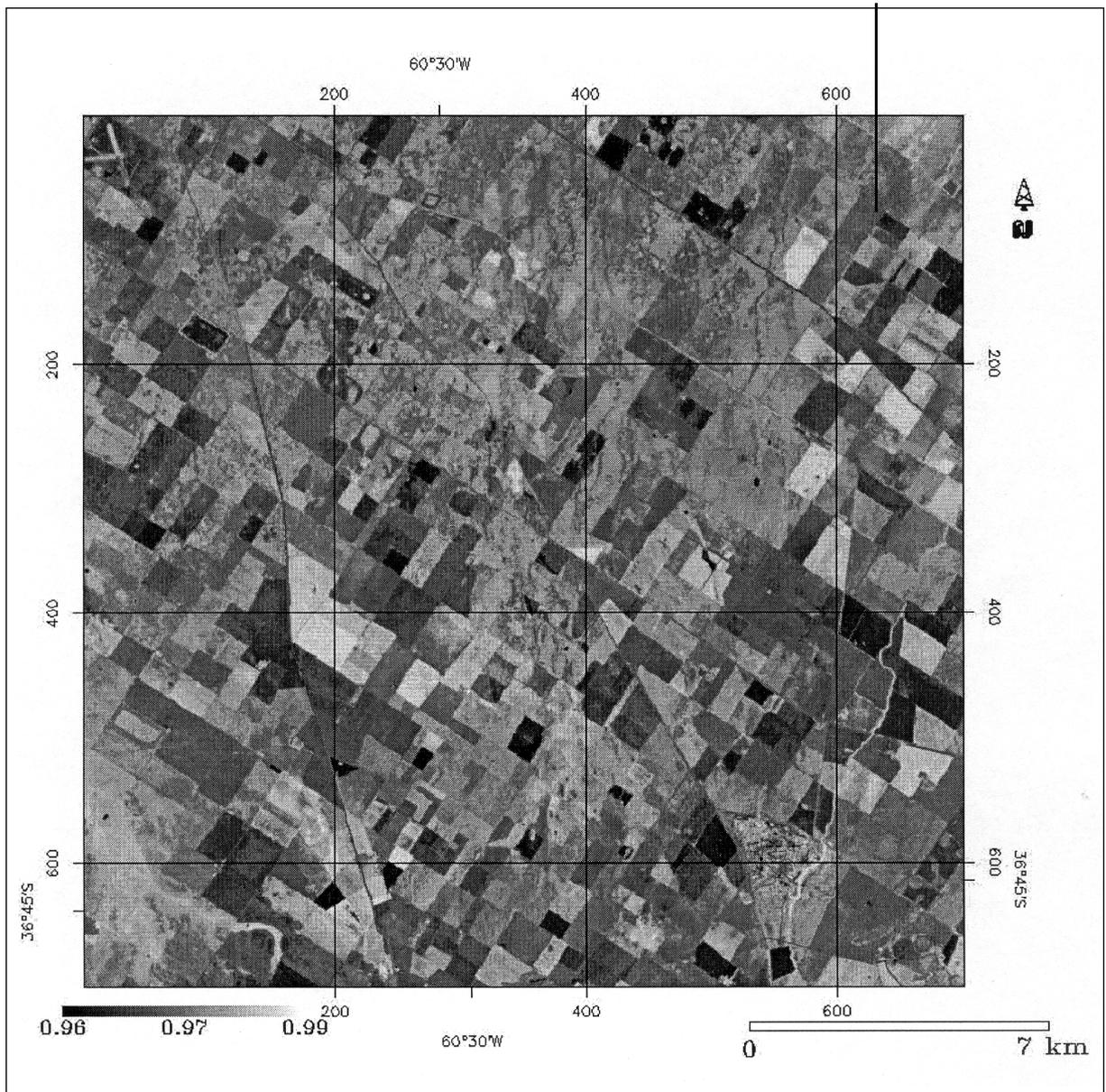


FIGURA 4: MAPA DE EMISIVIDAD



En la Figura 4 se presenta el mapa de emisividades para la zona de estudio obtenido a partir de la aplicación de la ecuación 8. Es importante destacar que los valores obtenidos varían entre 0,96 y 0,985 representando el primer valor a los suelos desnudos y el segundo a la vegetación. Los valores correspondientes a suelo desnudo varían aparentemente con el contenido de agua, al aumentar esta aumenta el valor de la emisividad. El aumento podría deberse a su composición arcillosa y contenido en materia orgánica o a la suma de estas y el contenido de agua. Se preve realizar mediciones de emisividad en campo para discernir a que responde dicha variación.

4. CONCLUSIONES

El área estudiada presenta un bajo porcentaje de vegetación como lo demuestra la Figura 3. Este puede

ser obtenido si se considera que la respuesta de la medida del sensor es por combinación de la reflectancia del suelo y de la vegetación. El hecho de considerar la medida como tal permite evaluar con mayor certeza la contribución a nivel de píxel por parte de la vegetación y del suelo.

El mapa de emisividad obtenido presenta valores comprendidos entre 0.96 (suelo desnudo) y 0.985 (vegetación activa) (Fig. 4). Los valores intermedios representan superficies con diferentes cubiertas y a suelos con diferentes contenidos de humedad. Este mapa permite corregir la imagen de temperatura por el efecto de emisividad al aplicar la ecuación monocanal o split windows.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CHAVEZ, P. S., 1988.

An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data.
Remote Sensing of Environment, 24: 459-479.

GILABERT, M. A., GANDIA, S., SEGARRA, D. Y MELIÁ, J., 1986.

Análisis multitemporal de los valores de reflectividad en cultivos de cítricos mediante el Sensor TM.
Reunión científica del grupo de trabajo de teledetección. Clotet, N. y Sole, L. (Editores), Institut cartogràfic de Catalunya, Departament de política territorial; obres públiques: 237-250.

KERDILES, H., GRONDONA, M., RODRIGUEZ, R. Y B. SEGUIN, 1996.

Frost mapping using NOAA AVHRR data in the Pampean region, Argentina.
Agricultural and Forest Meteorology 79: 157-182.

PRICE, J. C., 1990.

Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration.
IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28(5): 940-948.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W. Y HARLAN, J. C., 1974.

Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, NASA/GSFC, Type III,
Final Report, Grenbelt, MD, 371 pp.

VALOR, E. Y CASELLES, V., 1996.

Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African and South American areas.
Remote Sensing of Environment, 57: 167-184.



Los programas de geología ingenieril, ingeniería geológica e ingeniería geotécnica para el nuevo milenio

Rocca, Ricardo José

Resumen

El cambio de siglo presenta la oportunidad de un planteamiento retrospectivo para reexaminar los objetivos y contenidos de los planes de estudio de las distintas disciplinas relacionada con las geoingenierías y un desafío para planificar los programas de acuerdo a las necesidades de los futuros profesionales.

El planteo de la situación actual ha sido realizado por las distintas Sociedades Internacionales que agrupan a las geoingenierías. Se observa superposiciones temáticas, al menos de denominación, aunque los planteamientos tienden a ubicar los contenidos de acuerdo con la formación básica de los distintos estudiantes.

La prospectiva de todas las geoingenierías está condicionada por la visión del mundo en las próximas dos décadas y por el papel que los profesionales deberán cumplir en este. Sin embargo, es posible visualizar, al menos en los conceptos fundamentales que todos los educandos deberán necesariamente manejar para desenvolverse en su vida profesional.

1. INTRODUCCIÓN

La educación constituye uno de los deberes básicos de la sociedad moderna. El grado de desarrollo que alcanzan los distintos países está totalmente condicionado al comportamiento de sus habitantes, y éstos al nivel de educación promedio alcanzado.

La educación superior tiene un alto componente de visión futurista, es decir se educa para un determinado período del futuro de la vida del educando.

Por ello es que algunos especialistas de más experiencia se ocupan de prever el mundo futuro de su actividad laboral y los profesores tienden a direccionar los contenidos de la enseñanza que se imparte hoy, de manera que intercepte el mundo futuro.

Con el cambio de centuria, la retrospectiva histórica y la futurología científica han pasado a ser motivo de creciente atención. Así han proliferado temáticas orientadas "hacia el nuevo milenio", "hacia el 2000", etc.

En un gran número de Congresos y Simposios de las geoingenierías, la Educación ha sido incluida en el temario.

Por geoingenierías se entiende el campo que incluye a la geotecnia en general, con ramas de la geología ingenieril, la ingeniería geológica, la mecánica de suelos y la mecánica de rocas.

Este aporte contiene reflexiones enmarcadas dentro de esas ideas.

2. AUTODEFINICIONES

Si la educación lleva a un estudiante a estar dentro de la geoingeniería, surge como primera pregunta, que entendemos por tal o de que estamos hablando?

Varios de las recientes publicaciones presentan al problema de quienes somos, desde el punto de vista

Entregado: 03 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 30 de Agosto de 2001

Universidad Nacional de Córdoba. F.C.E.F.y N. Área Geotecni
Av. Velez Sarsfield 1601. 5000 Córdoba
e-mail: rjrocca@gtwing.efn.uncor.edu

profesional, relacionándolo a lo que hacemos (*Hatheway, 2001*) y a los objetivos de las sociedades internacionales a las que pertenecemos (*Steenfelt, 2000*). Por ser ésta la más sencilla de precisar, se puede examinar lo que dicen las principales sociedades.

La International Association for Engineering Geology and the Environment define a la Geología Ingeniería como la ciencia dedicada a la investigación, estudio y soluciones de problemas de ingeniería y del medio ambiente, que puede surgir del resultado de la interacción entre la geología y los trabajos y actividades del hombre, como así también la predicción y el desarrollo de medidas de preservación o remediación de riesgos geológicos.

La International Society for Rock Mechanics define su campo de actividad como el que incluye todos los estudios relativos al comportamiento físico y mecánico de las rocas y macizos rocosos y la aplicación de ese conocimiento para un mejor entendimiento de los procesos geológicos y en el campo de la ingeniería.

La International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering tiene como objeto la promoción de la cooperación internacional entre los ingenieros y científicos para el avance del conocimiento en el campo de la geotecnia y de sus aplicaciones ingenieriles.

Desde el punto de vista más general, comparando las definiciones de los objetivos de las geoingenierías, se nota que la IAEG tiene objetivos más concisos y la ISSMGE los más difusos.

Existe profusa información relacionado con el alcance de estos temas y la palabra que tiende a usar con más generalización es la de geotecnia. En los últimos años la irrupción de los temas ambientales ha sido el principal tópico que han añadido todas las sociedades.

3. OBJETIVOS Y MÉTODOS

Así como existen definiciones de parte de las Sociedades Geoingenieriles, también se han ocupado del tema de la educación a través de distintos grupos de trabajo o comités técnicos. Alguna de las conclusiones son abordadas en este trabajo.

La mayoría de las publicaciones relacionadas con este tema incluyen algunos elementos en común:

- a) Perspectiva histórica, como por ej. *Mitchel (1999)*, quien compara los contenidos de la currícula a través de los últimos 50 años. Algo similar en cuanto al desarrollo histórico, en Estados Unidos, es presentado por *Kiersch (1991)*.
- b) Relevamiento de programas de distintas universidades, por ej. *Dearman et al (1978)* *Higgins et al (1991)*, *Poulos (1994)*.

- c) Empleo de material didáctico y casos demostrativos, por ej. *Poulos (1997)*
- d) Énfasis en los fundamentos, por ej. *Graham et. al (1999)*, *Steenfelt (2000)*.

Las tendencias generales señalan algunos aspectos relacionados con velocidad de cambio tecnológicos y de contactos instantáneos a través de los nuevos adelantos de las comunicaciones. Internet es actualmente el vector preferido.

4. CONDICIONANTES EXÓGENOS: GLOBALIZACIÓN Y MERCADOS

Resulta muy estimulante hablar de globalización, como una mancha que se extiende horizontalmente a velocidad de la luz. La fuente generalmente parte de los países centrales, Estados Unidos, Europa, Japón y se desplaza hacia el resto del planeta.

En materia de educación hay algunas interferencias dignas de mención. La estructura educativa estadounidense tiende a chocar con la europea. Esto se nota principalmente cuando discuten profesores en nuestras universidades, con antecedentes de estudio en aquellos países.

La educación anglosajona tiende a ser más estructurada, con tres niveles bien diferenciados (Bachelor, Master, Doctorado), mientras que en algunos países europeos es mas desestructurada, con variables planes de estudio.

Asimismo, los problemas de los países centrales tienden a ser más complejos que los de los países periféricos, debido a un mayor grado de desarrollo de la civilización. La infraestructura básica de los países centrales ya ha sido establecida, y hoy en día se la trata de mantener. Como fue ejecutada previamente a las preocupaciones ambientales, estas ocupan ahora un lugar primordial.

En los países periféricos, el atraso tecnológico ha preservado el mercado de la infraestructura. Es decir hay un déficit de obras de todo tipo, por realizar. Existe también una marcada preocupación por los temas ambientales, debido a que los agentes de financiación multilateral lo toman como requisito indispensable para el otorgamiento de prestamos para obras de infraestructura.

Estas diferencias de desarrollo, implican que la perspectiva futura de los países es diferente. Si pensáramos que los educandos tenderán a vivir mayormente en sus respectivos países, los objetivos de los países van a ser distintos, y las necesidades de educación de los habitantes también.

En ese aspecto deferirían los planes educativos de los países centrales y de los países periféricos.

Esto en la práctica eso no sucede. Los estudiantes más talentosos de los países periféricos van a perfeccionarse a los países centrales, y a veces se quedan a vivir en ellos, constituyendo una pérdida de la inversión educativa de su país de origen.

Por otra parte, como las necesidades de infraestructura se encuentra en los países periféricos, que son menos desarrollados, los profesionales de los países centrales viajan a los países periféricos llevados por empresas que van a trabajar en estos últimos.

Tanto la Argentina, como sus países vecinos tienen deficiencia de infraestructura, y el tiempo necesario para cumplimentarlo es de décadas. Desde ese punto de vista, se tiene más certeza sobre lo que hay que prever en el futuro mediato, que la que se tiene en los países centrales.

Más aún, algunos problemas ambientales que han tenido los países centrales, pueden evitarse cuando se desarrollen las obras correspondientes.

Si esto fuese así, uno de los ingredientes planteados previamente, la proyección del futuro, sería razonablemente previsible.

A pesar de ello, la enseñanza de la geoingeniería se plantea con otros interrogantes más generales de la educación en general.

Con el avance de los medios de comunicación la oferta educativa es muy variada y no tiene frontera. Es posible que próximamente se observe la convivencia de varios sistemas de enseñanza universitaria. Al sistema tradicional, con universidades tradicionales se sumarán extensiones de universidades extranjeras y universidades virtuales.

5. PANORAMA NACIONAL

En Argentina el sistema universitario tiene una estructura con más semejanza al europeo que al anglo-americano. Las geoingenierías no están muy desarrolladas como carreras tradicionales. Existen programas de grado bien establecidos de Ingeniería Civil y de Geología y ha habido algunos intentos en Ingeniería Geológica (*Rimoldi, 1982*).

Actualmente con los programas de Postgrado, aparecen aportes en Maestrías y Doctorados orientados hacia la Geotecnia y al Medio Ambiente.

Así por ejemplo, en la Universidad Nacional de Córdoba, existen programas de grado en Ingeniería Civil y en Ciencias Geológicas y programas de postgrado como Doctorado en Ciencias Geológicas, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería y Maestrías en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Estructuras y Geotecnia.

Si se planteara cuál es el mejor camino para diseñar un programa nuevo de estudios en geoingeniería apto para el presente siglo, habría que comenzar por plantearse:

- a) Nivel de grado o de postgrado.
- b) Ámbito: Escuelas, Departamentos existentes o Área Independiente.

En los países centrales estos temas ya se han resuelto. Se observa una gran diversidad. Existe todo tipo de

combinaciones, tanto de grado como de postgrado, en áreas de ingeniería, geología, medio ambiente, etc. Se nota asimismo una gran superposición temática.

Las razones por las cuales una disciplina se arraiga en un ámbito a veces tiene más ingredientes locales, como por ej. la personalidad de los profesores que trabajan en él, que fundamentos racionales. Por esa misma causa, los programas que existen (o se van a establecer en el futuro) dependen de la existencia de masa crítica de profesores y de la atracción que sientan los alumnos hacia el mismo.

Los programas establecidos (o por crearse), tendrán que competir con programas similares de países limítrofes y ofertas educacionales más distantes geográficamente.

No obstante ello, para que los estudiantes tengan perspectivas amplias es necesario que sus profesores asuman el papel de maestros. La tarea que tienen por delante está muy bien delineada por algunos maestros actuales. A modo de ejemplo, la Tabla 1 resume los requerimientos generales a nivel de grado y de postgrado formulados por *Mitchel (1999)*. Está dirigido a la formación dentro de la ingeniería civil, aunque presenta aristas comunes a otras orientaciones.

6. CONCLUSIONES

La educación en las geoingenierías está siendo analizada muy profusamente por todas las sociedades involucradas en la actividad.

Existen denominadores comunes que tienden a unificar las conclusiones. Se parte de una perspectiva laboral futura y se tiende a actualizar los contenidos presentes en función de ella. La apuesta es muy grande, aunque tiene como ventaja que se hace mucho énfasis en arraigar en los estudiantes, aspectos fundamentales del conocimiento. Se da por supuesto que el futuro profesional deberá ir adaptándose al desarrollo tecnológico, mediante algún mecanismo de educación de por vida.

Las nuevas tecnologías de comunicación tienden a expandir programas de enseñanza, como el virtual, que se suman al sistema universitario tradicional. Esto tiende a uniformizar algunos formatos, aun cuando la problemática laboral de los países centrales puede ser diferente de los países periféricos.

En la Argentina, la oferta educativa en las geoingenierías es variada, si bien no tiene todavía la diversidad que existe en los países centrales. El futuro de la oferta educativa va a estar condicionada a la presencia de masa crítica de profesores que mantengan los programas existentes o a crearse y de los alumnos que se interesen por ellos.

TABLA 1. REQUERIMIENTOS PARA LA EDUCACIÓN GEOTÉCNICA

(Mitchel, 1999)

NIVEL DE GRADO

El estudiante debe desarrollar el conocimiento y las habilidades necesarias para enfrentar problemas diversos. La única forma es tener una sólida formación básica en física, química, matemáticas, geología y las ciencias ingenieriles fundamentales, tales como mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, dinámica y termodinámica.

NIVEL DE POSTGRADO

El nuevo siglo demandará del estudiante:

Entendimiento de los materiales terrestres, sus propiedades e interacciones con otros materiales.

Conocimiento de los fundamentos de los tópicos que son centrales a los problemas y proyectos bajo estudio.

Conocimiento y aplicación de los axiomas que hacen posible cuantificar problemas en un proyecto, de tal manera de poder predecir el comportamiento futuro.

Poder pensar lateralmente y tomar ventajas de lo que se puede ganar cuando se transfieren conocimientos desarrollados en otras disciplinas, hacia la ingeniería geotécnica.

Poseer una variada visión de tópicos técnicos, sociales, políticos y económicos que están más allá de lo que tradicionalmente se ha enseñado.

Desarrollar habilidades para comunicarse efectivamente con sus colegas de la misma disciplina y todos aquellos con los que se tenga contacto.

Conocer los límites de las teorías y nunca olvidar que debido a las incertidumbres inherentes a nuestro conocimiento de los detalles asociados a los proyectos, el juicio ingenieril constituirá siempre la llave del éxito.

Entender que la finalización de los estudios formales es meramente el comienzo. Deben estar preparados para aprender durante toda su vida a través de la lectura, exposición a un gran rango de proyectos y problemas, participación en conferencias, talleres y cursos cortos, y contribuir con comités técnicos y profesionales.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

DEARMAN W.R. AND R. OLIVEIRA, 1978.

IAEG Commission on teaching and training in engineering geology: final report.
Bol. IAEG 18: 9-14.

GRAHAM J. AND A. SAYAO, 1999.

Education in Geotechnical Engineering. Report on Sp Session 3.
Proc. XI PanAm Conf. Soil Mech. and Geotech Eng. Iguazu (Brasil) Vol 4: 175-184.

HATHEWAY, A.W., 2001.

Your professional identity: time to reflect.
Perspectives. AEG News, 44/2, March 2001: 29-32.

HIGGINS J.D. AND J.W. WILLIAMS, 1991.

de. Academic Preparation for Careers in
Engineering Geology and Geological Engineering. Assoc. Eng. Geol. Special Publ 2. 83 pp.

KIERSCH G.A., 1991.

Modern practice, training, and academic endeavors, 1940s to 1980s.
Geol. Soc. Am. Centennial Special Volume 3: 51-85

MITCHEL J.K., 1999.

Education in geotechnical engineering-its evolution, current status and challenges for the 21th century.
Proc. XI PanAm Conf. Soil Mech. and Geotech Eng. Iguazu (Brasil). Vol 4: 167-174.

POULOS H.G., 1994.

Patterns and Practices in future Geotechnical Engineering Education.
Proc. XIII Int. Conf. Soil Mech and Geot. Eng. New Delhi (India) Vol 5: 245-253.

POULOS H.G., 1997.

Geotechnical Education towards 2000.
Proc. XIV Int. Conf. Soil Mech and Geot. Eng. Hamburg (Germany) Vol 4: 2565-2572.

RIMOLDI H.V., 1982.

La enseñanza de la Geología Aplicada a la Ingeniería.
Actas ASAGAI, Vol II: 195-202.

STEENFELT J., 2000.

Teaching for the millenium-or for the student.
Proc GeoEng2000. Melbourne (Australia) Vol 1: 826-840



Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca Su comportamiento frente a la RAS

Marfil, S. A.^{1,2} - Maiza, P. J.^{1,3} - Salomón, R.C.J.⁴

Resumen

Se estudiaron pavimentos de hormigón ubicados en diferentes sectores de la ciudad de Bahía Blanca, construidos entre los años 1960 y 1995.

Se evaluó el estado del hormigón, grado de compactación, tipo y grado de fisuramiento, cerramiento de juntas de dilatación, contactos agregado - mortero, desarrollo de productos de neoformación.

Se analizó la composición petrográfico - mineralógica de los agregados finos y gruesos. Los primeros, en todos los casos estudiados, están constituidos por una arena natural con un elevado contenido de vulcanitas, en su mayoría vítreas, escasas rocas graníticas y clastos de cuarzo, feldespato, vidrio volcánico, valvas y minerales opacos. En algunos pavimentos se identificó calcedonia. Los agregados gruesos, en algunas muestras. Son rocas de trituración de composición granítica y/o cuarcítica mientras que en otras son cantos rodados con una alta componente de clastos volcánicos de pastas vítreas y alteradas.

A pesar de la similar composición litológica, algunos hormigones se presentan sanos, mientras que otros tienen un avanzado grado de alteración. En todos los casos en que hay deterioro, se ha producido el fisuramiento con levantamiento de placas, con cerramiento de juntas de dilatación. Los casos más notables son dos estallidos naturales espontáneos que afectaron varios metros cuadrados de carpeta de pavimento.

El análisis por DRX y SEM EDAX de los productos de neoformación permitió identificar abundante ettringita y estructuras ceolíticas. El estudio microscópico muestra texturas del mortero y de los agregados obliteradas, con fracturamiento de sus componentes y presencia de nuevas especies.

De la comparación de los resultados surge que el comportamiento diferencial debería atribuirse al cemento utilizado. Los pavimentos más deteriorados corresponden a los construidos desde 1985 en adelante.

Las remediaciones más usadas en la primera etapa son: abrir la zona elevada, por lo general cortando desde unos cm hasta 2 metros la totalidad de la placa y volver a llenar con hormigón o si el sector afectado es de menor envergadura, extraer la zona elevada y nivelar con pavimento flexible.

Trabajo post-simposio

Entregado: 20 de Julio de 2001 ■ Aceptado: 05 de Octubre de 2001

1. Profesor Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan
670. 8000 Bahía Blanca. TE. 0291-4595184.
e-mail: smarfil@criba.edu.ar

2. Investigador Adjunto CIC.

3. Investigador Principal CONICET.

4. Técnico Asociado CIC.

1. INTRODUCCIÓN

Si bien la mayoría de los agregados de la zona de Bahía Blanca utilizados para la elaboración de hormigón de cemento portland, son potencialmente reactivos, (Maiza *et al.* 1988; 1997; Marfil *et al.* 1989) no existen demasados antecedentes en la zona del desarrollo de la reacción álcali - sílice.

Esto se debe a que la mayoría de los cementos normales disponibles en el mercado tienen un contenido en Na_2O equivalente, dentro de los valores establecidos en las normas ($< 0.6 \%$). Sin embargo, desde hace 20 años, ingresan a la ciudad, cementos provenientes de otras zonas del país y del exterior, que superan el 1% .

Como agregado fino se utilizan arenas naturales de origen eólico, marino y fluvial. Las dos primeras tienen un elevado contenido de rocas volcánicas vítreas, con sus pastas tanto frescas como alteradas, en algunos casos a minerales del grupo de la montmorillonita. Es abundante la presencia de vidrio fresco. Estos materiales se comportan como deletéreos cuando son ensayados con los métodos convencionales. Entre los principales puede mencionarse el método de ensayo químico, barras de mortero y examen petrográfico. Mientras que las de origen fluvial existentes en la zona de Bahía Blanca, si bien contienen componentes deletéreos, son las más adecuadas para su uso en hormigón. (Marfil 1989).

El agregado grueso utilizado involucra a rocas de trituración y cantos rodados. Dentro de las rocas se utilizan granitos y cuarcitas. Los primeros tienen un excelente comportamiento en hormigón, mientras la cuarcita es considerada un material de reacción lenta, debido principalmente a la presencia de cuarzo tensionado con un elevado ángulo de extinción ondulante. (Marfil *et al.* 1993)

Si bien estos agregados han sido usados en la mayoría de las obras desde comienzos del siglo y a pesar de ello no se conocían antecedentes de obras con problemas de deterioro debido al desarrollo de la RAS, en los últimos años algunos pavimentos urbanos, con una antigüedad que oscila entre 8 y 14 años, comenzaron a manifestar graves problemas de deterioro, realizándose reparaciones parciales de las zonas afectadas con pavimentos bituminosos o con hormigón. Estas reparaciones son transitorias ya que el proceso de degradación continúa, lo que provoca el achicamiento de las juntas, luego el hinchamiento por la elongación confinada de la placa, una elevación del nivel de rodamiento, fracturamiento en forma de mapa, hasta que se produce el desprendimiento de los fragmentos de la zona afectada. (Marfil *et al.* 2000)

Los pavimentos tanto urbanos como interurbanos construidos con estos agregados presentan diferentes estados de conservación, desde sanos hasta intensamente fisurados con

claras evidencias del desarrollo de la RAS; en algunos casos con marcado fisuramiento y hasta levantamiento de placas. (Marfil *et al.*, en prensa).

En el presente trabajo se realizó un muestreo de pavimentos de hormigón ubicados en diferentes sectores de la ciudad con el objeto de determinar por un lado la composición petrográfico - mineralógica de los agregados y por otro el estado de conservación, manifestación de reacciones deletéreas, presencia de minerales de neoformación. El propósito es establecer si existe una relación entre los pavimentos afectados por la RAS con la composición litológica de los agregados.

No se consideraron pavimentos cuyo deterioro claramente estaba relacionado con otras patologías tales como ataque por sulfato, fatiga de materiales, etc.

2. MATERIALES

Se realizó un muestreo de pavimentos de hormigón en diferentes sectores de la ciudad de Bahía Blanca, elegidas por un lado, en función de los trabajos que se estaban realizando que implicaban la rotura del pavimento y por otro en zonas donde el hormigón estaba siendo reemplazado como consecuencia del deterioro sufrido por el desarrollo de la RAS, manifestado en todos los casos por la elevación de las placas y el fracturamiento en forma de mapa.

Se dividieron en las siguientes áreas:

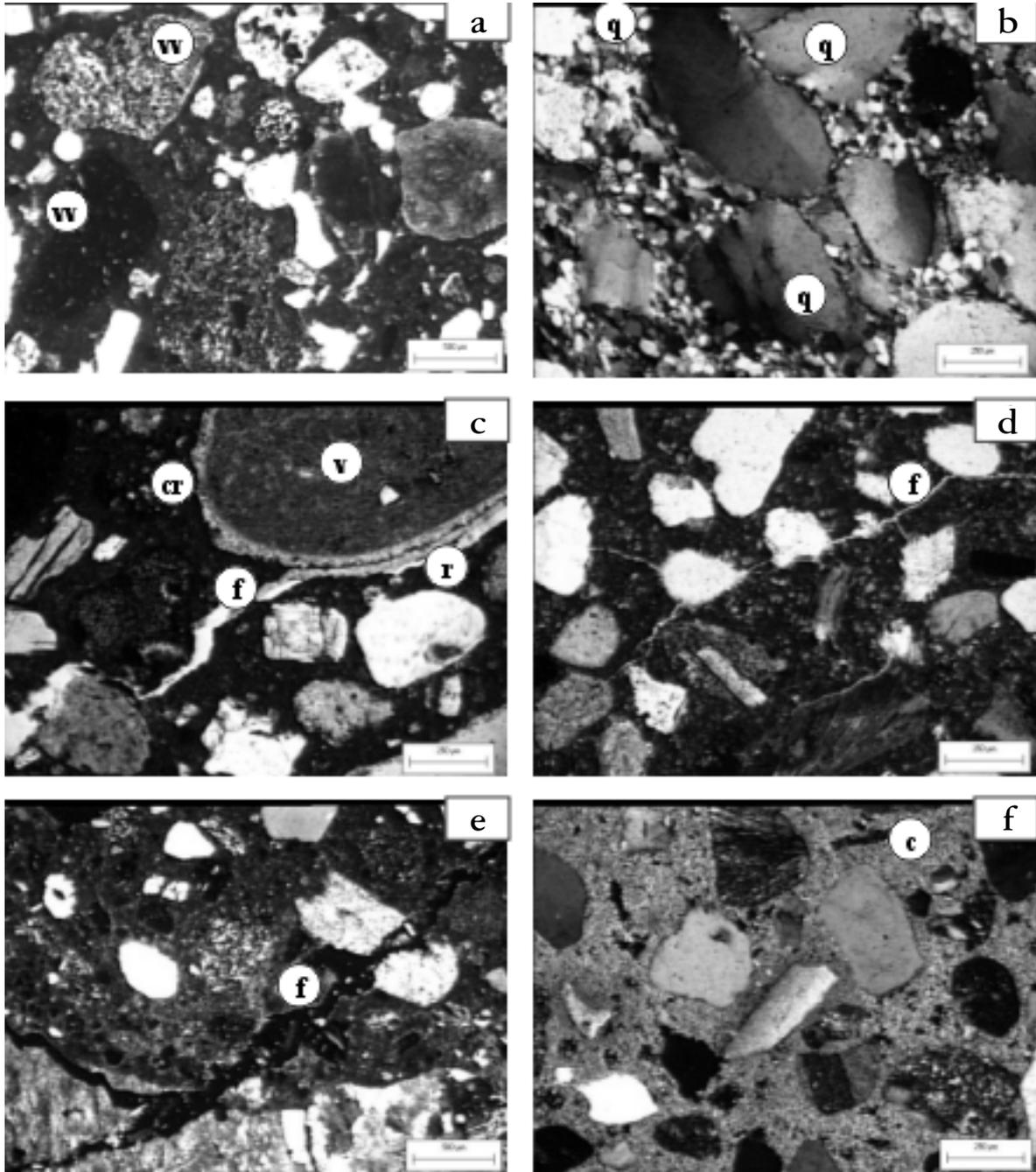
1. Centro: a) Zelarrayán y Casanova. b) Blandenguez 65.
2. Universitario: a) Aguado y Mitre. b) Alem 2000.
3. Pav. CRIBABB. Este pavimento fue estudiado en un trabajo previo (Marfil *et al.* 2000).
4. Sector noroeste: a) Malvinas al 900. b) Catamarca al 500.
5. Av. Colón y Av. Arias.
6. Zona Puerto: - Calle Mascarello.

3. MÉTODOS

El análisis petrográfico se realizó utilizando un sistema microscópico Olympus, con procesador de imágenes integrado con un estereomicroscopio Olympus trinocular SZ-PT; microscopio petrográfico Olympus trinocular BH2-UMA, con cámaras de video Sony 151 AP incorporadas, monitor de alta resolución y procesador de imágenes Image Pro Plus versión 3.1. Los materiales de neoformación fueron determinados con un difractómetro de rayos X Rigaku, D-max III-C, con radiación de Cu K y monocromador de grafito, con 35 Kv y 15 mA computarizado y analizados con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 35CP, equipado con sonda EDAX DX 4 de ventana ultradelgada con un rango de análisis elemental desde $Z = 5(\text{B})$ hasta $Z = 92(\text{U})$.

FIGURA 1: PETROGRAFÍA DE LOS PAVIMENTOS

a: Zelarrayán y Casanova. vv: vulcanitas vítreas. b: Aguado y Mitre. q: cuarzo. c: CRIBABB. r: productos de reacción. cr: coronas de reacción. v: clasto vítreo. f: fisuras. d: Malvinas. e: Catamarca. f: zona puerto, calle Mascarello. c: carbonatación.



4. RESULTADOS

Estereomicroscopía

Se utilizó estereomicroscopio con el objeto de determinar el estado del hormigón, fracturamiento, grado de compacidad, desarrollo de coronas de reacción y/o productos de neoformación para su posterior análisis por SEM - EDAX.

Las muestras 1a y b, 2a y b y 6 presentan buen estado de conservación, no se observaron fracturas ni bordes de reacción, ni se identificaron minerales de neoformación.

Sólo se observó el desarrollo de ettringita en el interior de cavidades de aire accidental del tipo primaria, es decir con desarrollo de cristales en forma de aguja muy finos y largos. En algunos casos se identificó además portlandita.

Las muestras 4a y 5 presentan un leve microfisuramiento con desarrollo de materiales de neoformación, principalmente ettringita.

Las muestras 3 y 4b presentan un avanzado grado de deterioro y serán descriptas en detalle a continuación:

Muestra 3 CRIBABB:

El material presenta abundante microfisuramiento, escasa compacidad con desarrollo de procesos expansivos y presencia de productos de neoformación, en especial en el interior de cavidades de aire accidental y fracturas. La mayoría de los clastos presentan bordes de reacción. Se observó un material blanco brillante, blando de hábito fibroso, acicular adjudicado a ettringita y otro también blanco pero opaco, más duro y masivo, adjudicado a ceolita. Ambos productos fueron analizados por DRX y SEM - EDAX.

Muestra 4b. Catamarca 500:

Este pavimento estalló violentamente provocando el levantamiento de las placas de hormigón en la junta de dilatación.

Presenta un fuerte grado de deterioro dado por el intenso fracturamiento que afecta al mortero y a los clastos de los agregados reactivos. Se observó abundante desarrollo de ettringita tanto en el interior de cavidades como sobre la superficie del hormigón. Su presencia fue confirmada por DRX y EDAX. La mayoría de los materiales deletéreos presentan coronas de reacción, en algunos casos tapiados por un material blanquecino. Otros clastos han sufrido un proceso de reacción avanzado que los torna deleznable, desarrollándose importantes procesos de ceolitización y argilización.

Microscopía de polarización:

El estudio de los pavimentos de hormigón sobre secciones delgadas permitió determinar la petrografía de los

agregados finos y gruesos así como el estado de la pasta y la relación agregado - mortero.

Los agregados finos se denominaron arena marina y eólica sin detallar la mineralogía ya que fue publicada en trabajos previos y los agregados gruesos se dividen en: canto rodado (rodados tehuelches), y piedra partida: rocas graníticas y cuarcitas. (*Marfil op cit.*; *Maiza op cit*)

1a. Zelarrayán y Casanova:

El agregado fino es una arena natural (eólica) con elevado contenido de vulcanitas vítreas y vidrio volcánico fresco. El agregado grueso es canto rodado de composición mineralógica similar a la arena. Ambos materiales son de conocida reactividad potencial.

El hormigón se presenta sano, no se observó microfisuramiento, los contactos entre los clastos y la pasta son netos. Algunas cavidades de aire accidental se presentan parcialmente rellenas con carbonato de calcio. Las microfisuras son escasas, muy finas y están vacías. En la figura 1a se muestra las características del hormigón, en el que predominan las vulcanitas vítreas (vv)

1b. Blandenguez 65:

Corresponde a una muestra de un cordón cuneta de hormigón constituida por una arena natural de origen marino, con un alto contenido vítreo tanto vulcanitas como vidrio fresco. Además se identificó calcedonia como componente deletéreo. El agregado grueso es una roca de trituración de composición granítica. El hormigón presenta un buen estado de conservación, no hay evidencias del desarrollo de reacciones deletéreas. Se observaron microfisuras muy pequeñas, vacías, en una pasta sin evidencias de deterioro.

2a. Aguado y Mitre :

El agregado fino es una arena natural eólica (similar a la 1a). El agregado grueso está constituido por una roca de trituración de composición cuarcítica, de conocida reactividad potencial. Tiene cuarzo (q) tensionado con extinción ondulante y cuarzo fino entre los granos de mayor tamaño. (Figura 1b). El hormigón se presenta sano.

2b. Alem 2000:

La arena es de origen marino. El agregado grueso es un canto rodado, similar al descrito en las muestras anteriores. El pavimento se presenta en excelente estado de conservación y corresponde al pavimento más antiguo muestreado. Se calcula una edad aproximada de 40 años.

No hay fisuras, se observaron bordes de reacción en algunos contactos de agregados reactivos con el mortero tipo disolución y algunas microfisuras muy finas y vacías.

3. CRIBABB. (Marfil et. al op cit. 2000):

El agregado fino es una arena marina. Como componentes deletéreos presentan elevado contenido de vulcanitas vítreas generalmente con procesos de alteración avanzados (desvitrificación con la formación de arcillas del tipo montmorillonita), es importante también la presencia de vidrio volcánico fresco en clastos aislados. El resto del agregado lo constituyen clastos de cuarzo (con extinción ondulante), feldespato, valvas de moluscos, fragmentos de rocas graníticas y vulcanitas frescas.

En el agregado grueso predominan las cuarcitas, (los agregados de cuarzo microcristalino presentan fuerte extinción ondulante) y rocas graníticas. En menor proporción se identificaron esquistos y vulcanitas básicas con pastas vítreas, en general desvitrificadas.

El mortero se presenta con abundante microfisuramiento. Afecta a la pasta y a los clastos del agregado grueso y fino, generalmente asociado a las vulcanitas vítreas. Estas presentan un estado de alteración avanzado, principalmente desvitrificación, con desarrollo de coronas de reacción y fenómenos de borde tales como contactos de caries. Las fisuras y las cavidades de aire accidental se encuentran rellenas con ettringita y/o ceolitas. En la figura 1c se muestra el microfisuramiento que presenta el hormigón con desarrollo de productos de reacción (r) en el interior de las fisuras (f) y el desarrollo de coronas de reacción (cr) en un clasto vítreo (v).

Este pavimento tiene 14 años de antigüedad.

4. Sector noroeste:

4a. Malvinas al 900:

El agregado fino es una arena de origen marino, semejante a las ya descritas. El agregado grueso es una roca de trituración de composición granítica. Se observó microfisuramiento en forma de mapa de la pasta, las fisuras se presentan rellenas con un material anisótropo. Hay ettringita abundante en el interior de cavidades de aire accidental. Se considera que el pavimento tiene un desarrollo de la RAS incipiente. En la figura 1d se observa el fino microfisuramiento (f) que presenta la pasta.

4b. Catamarca al 500:

La arena utilizada es de origen eólico, constituida en forma predominante por rocas volcánicas en su mayoría básicas y vítreas. El vidrio se presenta tanto fresco como alterado a minerales arcillosos del tipo montmorillonita. Otro componente deletéreo son las trizas de vidrio fresco que constituyen aproximadamente el 8 % en peso de la arena.

El agregado grueso es una roca triturada de composición granítica, calificada apta para su uso en hormigón.

El mortero se presenta fisurado, las fracturas afectan a la pasta y a los agregados deletéreos. En la figura 1e se

muestra el fisuramiento (f) que presenta el hormigón, las fracturas son anchas y afectan también a los clastos de los agregados gruesos y finos.

5. Av. Colón y Av. Arias:

El agregado fino es una arena eólica con un elevado componente vítreo y el agregado grueso una roca de trituración cuarcítica. Se observó abundante microfisuramiento del mortero y ettringita en el interior de cavidades de aire accidental. Hay carbonatación en la pasta. Las fisuras se encuentran rellenas con un material anisótropo de baja birrefringencia adjudicado a ettringita y/o ceolitas.

6. Zona Puerto: - Calle Mascarello:

El agregado fino lo constituye una arena de origen marino con abundantes vulcanitas vítreas, vidrio fresco y calcedonia como componentes deletéreos. El agregado grueso es de composición cuarcítica constituido por cuarzo con extinción ondulante con una matrix de cuarzo fino.

El mortero se presenta sano, no se observó microfisuramiento ni productos de neoformación. No hay evidencias del desarrollo de reacciones deletéreas, aunque hay abundante carbonatación (c) en la pasta como se muestra en la figura 1f.

Difractometría de rayos X

Este método sólo fue aplicado a las muestras CRIBABB y calle Catamarca ya que en el resto no pudo separarse suficiente material de neoformación para ser analizado por esta técnica.

CRIBABB: El material fibroso se identificó como ettringita asociada con portlandita. El resto del difractograma corresponden a cuarzo y feldespato del agregado.

No se pudo separar la cantidad necesaria, con pureza y cristalinidad adecuadas, del producto masivo de neoformación para aplicar esta técnica.

Catamarca 500: El material del interior de las fracturas, coronas de reacción y superficies de los agregados reactivos fue analizado por DRX. Se identificó una ceolita del grupo clinoptilolita - heulandita ($\text{KNa}_2\text{Ca}_2(\text{Si}_{29}\text{Al}_7)\text{O}_{72}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$), (ICDD 39-1383) como producto de reacción. Este material presenta la reflexión de máxima intensidad en 8.9 Å y es fácilmente diferenciable de la ettringita ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$), que tiene la reflexión característica en 9.7 Å como se observa en la figura 4b. Este último se desarrolla principalmente en el interior de cavidades de aire accidental y en la superficie del hormigón deteriorado

Microscopía electrónica de barrido - EDAX

Se analizaron los productos de neoformación identificados por DRX a fin de observar la morfología y composición química de los productos de reacción.

Tanto las muestras de CRIBABB como de calle Catamarca presentan las mismas características:

1. Material fibroso: El análisis de EDAX permitió confirmar que se trata de ettringita ya que aparecen claras las reflexiones características de los elementos que constituyen a este mineral (S, O, Ca y Al).
2. Material blanco masivo: Corresponde al producto de reacción formado a partir de los agregados deletéreos que desarrollan coronas de reacción. No fue posible visualizar formas cristalinas, aunque morfológicamente corresponde a un mineral de hábito acicular y/o tabular, semejante al que presentan los alúminosilicatos de Ca, Na y K (ceolitas). Analizado por EDAX se identificó Si, O, Al y Ca por lo que fue adjudicado a ceolita. Determinada por DRX se concluyó que es clinoptilolita.

5. CONSIDERACIONES

- De la comparación de los pavimentos estudiados es posible notar que en todos los casos analizados el agregado fino utilizado una arena natural, de origen eólico o marino aunque de similar composición. Ambas presentan un alto contenido de especies deletéreas tales como vulcanitas vítreas con sus pastas alteradas, generalmente argilizadas y vidrio volcánico fresco. Fueron calificadas en trabajos previos por los métodos de ensayos convencionales (barras de mortero, método químico, examen petrográfico) como potencialmente reactivas.
- Los agregados gruesos utilizados son: cantos rodados y piedra partida. El canto rodado contiene un elevado porcentaje de vulcanitas básicas vítreas, calificados como deletéreos. La piedra partida utilizada es granito (inocuo) y cuarcita, calificada como reactiva. (de reacción lenta), por los métodos de ensayo convencionales.
- Tanto los pavimentos sanos como los que se encuentran seriamente afectados por la RAS fueron construidos con agregados deletéreos de composición petrográfico-mineralógica similar.
- Sin embargo los pavimentos antiguos (de más de 20 años de edad), se encuentran sanos, no muestran indicios de alteración, mientras que en los pavimentos construidos a partir de 1984, se han encontrado problemas frecuentes por el desarrollo de la RAS.
- Si bien no existirían registros que permitan conocer los materiales usados de la consulta sobre los cementos empleados surge que los pavimentos deteriorados fueron construidos con cementos de alto álcali.
- A pesar que se han efectuado distintos tipos de análisis, se concluyó que no es posible determinar el

contenido de elementos alcalinos del cemento usado en los pavimentos estudiados ya que éstos participan en la composición de los minerales de las rocas involucradas en los agregados, en sus minerales de alteración y en el agua utilizada. Además debido a la capacidad de intercambio catiónico de los productos de alteración y neoformación, enmascaran los resultados finales.

- Desde que se han iniciado estos estudios en el año 1998, las placas más deterioradas por la RAS (pavimento CRIBABB y calle Catamarca), fueron reemplazadas en los años 1999 y 2000 respectivamente. Actualmente éstas presentan claras evidencias de que la reacción continúa, en algunos casos con importante intensidad, llegando a fracturarse, levantarse y aún desprenderse parte del material. Así mismo en las placas vecinas donde el proceso era incipiente ya puede calificarse de avanzado.
- En el presente estudio se eligieron pavimentos con claras manifestaciones de reacción y se tomaron, para comparación, otros sanos, en sectores donde por la realización de obras debieron ser levantados. En un futuro se prevé ampliar el muestreo para tratar estadísticamente los resultados obtenidos y de este modo evaluar el grado de desarrollo de la RAS en la zona de Bahía Blanca.

6. CONCLUSIONES

1. Los pavimentos situados en el sector universitario, centro y puerto se encuentran sanos, mientras que los situados en la zona NO presentan indicios de degradación en las muestras de Av. Colón y Arias y calle Malvinas y un grado avanzado de deterioro los de la calle Catamarca y el hormigón del pavimento del CRIBABB.
2. Pavimentos construidos con los mismos agregados deletéreos presentan un comportamiento diferente. Los más antiguos situados en los sectores más céntricos de la ciudad y el barrio universitario son los que mejor estado de conservación presentan.
3. En todos los casos estudiados, el deterioro se debe al desarrollo de la reacción álcali - sílice.
4. Los materiales utilizados como agregados finos son deletéreos. Las especies reactivas son: vulcanitas vítreas frescas y alteradas y vidrio volcánico fresco.
5. Los cantos rodados y la roca cuarcítica que constituyen el agregado grueso, son potencialmente reactivos mientras que la piedra granítica es inocua.
6. Los productos de reacción desarrollados son ceolitas del grupo de la clinoptilolita - heulandita y ettringita.

7. El desarrollo de la reacción se atribuye a la utilización de cementos con alto contenido de álcalis.
8. Se recomienda el control del cemento antes de la realización de obras de hormigón si en las mismas serán usados los agregados disponibles en la zona de Bahía Blanca, o en su defecto deben realizarse los estudios necesarios para usar inhibidores de la RAS.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. y al CONICET por el apoyo brindado.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

MAIZA P. J.; S. A. MARFIL; J. D. SOTA Y O. R. BATIC, 1988.

Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de reactividad potencial alcalina en áridos finos utilizados en Bahía Blanca y Punta Alta, Prov. de Buenos Aires.

Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses. Bahía Blanca. Actas. 697-709.

MAIZA P. J. Y S. A. MARFIL, 1997.

Principales yacimientos de arena, canto rodado y piedra partida, utilizados en la construcción en la zona de Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires.

Primer Seminario de Tecnología del Hormigón en la Vivienda del Mercosur. Memorias. Santa Fe. 253-264.

MARFIL, S. A., 1989.

La reacción álcali-agregado. Investigación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento, utilizados en Bahía Blanca y su zona de influencia.

Tesis Doctoral. Biblioteca Central de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 1989.

MARFIL S. A. Y P. J. MAIZA, 1989.

Análisis multivariado (Componentes principales) aplicado al estudio de la composición de agregados finos utilizados en la zona de Bahía Blanca.

Asociación Argentina de Tecnología del hormigón. Novena Reunión Técnica. Buenos Aires. II. 277-284.

MARFIL S. A. Y P. J. MAIZA, 1993.

Los agregados gruesos utilizados en la zona de Bahía Blanca (Prov. de Bs. As.), en relación con la reacción álcali agregado.

Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Tecnología del Hormigón. Córdoba. Memorias. I, 1-10.

MARFIL, S. A. Y P. J. MAIZA, 2000.

Pavimento de hormigón deteriorado por la reacción álcali - sílice, en un complejo edilicio de la ciudad de Bahía Blanca.

Congreso de Ingeniería 2000. Vol. 2. 44-50. Buenos Aires.

MARFIL S. A.; P. J. MAIZA AND R. C. SALOMÓN.

Burst in a concrete urban pavement due to ASR development (Bahía Blanca - Argentina).

Pavement Engineering. USA. (en prensa).



Caracterización geomecánica de taludes en Potrero de los Funes

Provincia de San Luis

Sales, Daniel A. ¹ - Gardini, Carlos ^{1,2} - Origlia, Daniel ³

Resumen

Se analizan las características geomecánicas de los taludes de un camino construido en la margen occidental del lago Potrero de los Funes, en las cercanías a la ciudad de San Luis, donde se han registrado deslizamientos de rocas mediante fallas planares. Los últimos deslizamientos ocurrieron entre los meses de Febrero y Marzo de 2000 en coincidencia con un aumento de las precipitaciones pluviales.

El fracturamiento registrado en los taludes coincide con la traza del camino y los planos principales están relacionados a fallas extensionales NO-SE que poseen expresión regional.

1. INTRODUCCIÓN

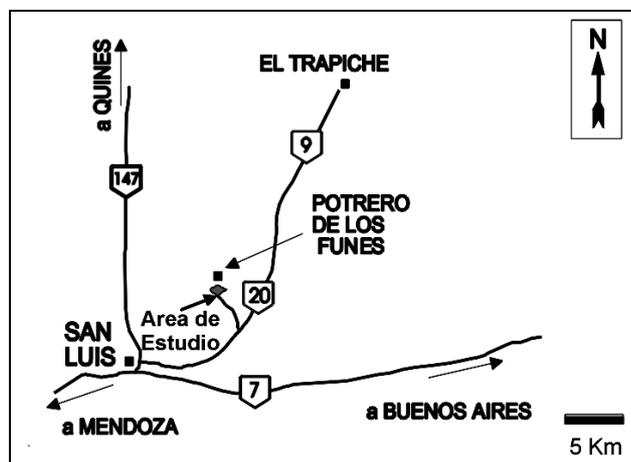
La presente contribución tiene como objetivo caracterizar los rasgos geomecánicos de un sector del macizo rocoso del sur de la sierra de San Luis, ubicado en la margen oeste del lago Potrero de los Funes, situado a 10 kilómetros al noreste de la Ciudad de San Luis (Fig. 1).

La Sierra Grande de San Luis está compuesta por un basamento ígneo-metamórfico generado por diversos episodios tectometamórficos durante el Paleozoico inferior (Kilmurray y Dalla Salda 1977; Ortiz Suárez et al. 1992, von Gosen y Prozzi 1998, Sims et al. 1998).

La deformación frágil que afecta al basamento cristalino se caracteriza por el estilo de fracturación de los bloques pampeanos que fueron basculados por fallamiento

inverso (González Bonorino 1950, Criado Roqué et al. 1981, Jordan y Allmendinger 1986, Costa 1992) y ascendidos diferencialmente durante la orogenia Andina, lo que generó perfiles asimétricos con pendientes abruptas en su margen occidental y suaves en su margen oriental.

FIGURA 1: MAPA UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Trabajo post-simposio

Entregado: 29 de Setiembre de 2000 ■ Aceptado: 16 de Julio de 2001

1. Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco 917, (5700) San Luis - E-mail: sales@unsl.edu.ar

2. CONICET

3. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto

En el área de estudio existen trabajos de semidetalle, relacionados a la temática como los de Zencich (1988), quien estudió las características morfoestructónicas del área del Potrero de los Funes. Posteriormente Costa (1992) y Costa y Cortés (1993) realizaron un análisis del mismo sector, destacando los rasgos estructurales extensionales locales que dieron lugar al desarrollo de hemigraben de edad neógena y cuaternaria, donde actualmente se emplaza el lago Potrero de Los Funes y la depresión de Las Chacras.

2. RASGOS GEOLÓGICOS Y ESTRUCTURALES DEL ÁREA

El área de estudio se halla constituida por rocas de un basamento ígneo-metamórfico y rocas sedimentarias asignables al Terciario (Formación San Roque) y al Cuaternario (Fig. 2).

El basamento se halla representado por la terminación austral del plutón granítico La Escalerilla de edad devónica (404 ± 5 Ma) (Camacho and Ireland, 1997) y que constituye la roca donde se desarrollan los taludes analizados. Se caracteriza por la presencia de una foliación penetrativa de rumbo este-oeste definida principalmente por la orientación de la biotita y el estiramiento de fenocristales de feldespato por acción de cizalla dúctil.

La roca posee una tonalidad grisácea con variaciones rosadas, cuando es importante la presencia de inyecciones pegmatíticas y apliticas. Predominan las texturas granudas a porfíricas de tamaño medio a grueso; en contraste se hallan las inyecciones satélites donde se observan texturas apliticas y pegmatíticas resistentes. Se reconocen feldespato alcalino, cuarzo y biotita. El feldespato alcalino es de color blanquecino a rosado y posee tamaño medio. El cuarzo aparece incoloro y de grano fino a medio. La biotita es abundante, posee color castaño oscuro a negro y se presenta en láminas o paquetes delineando la foliación.

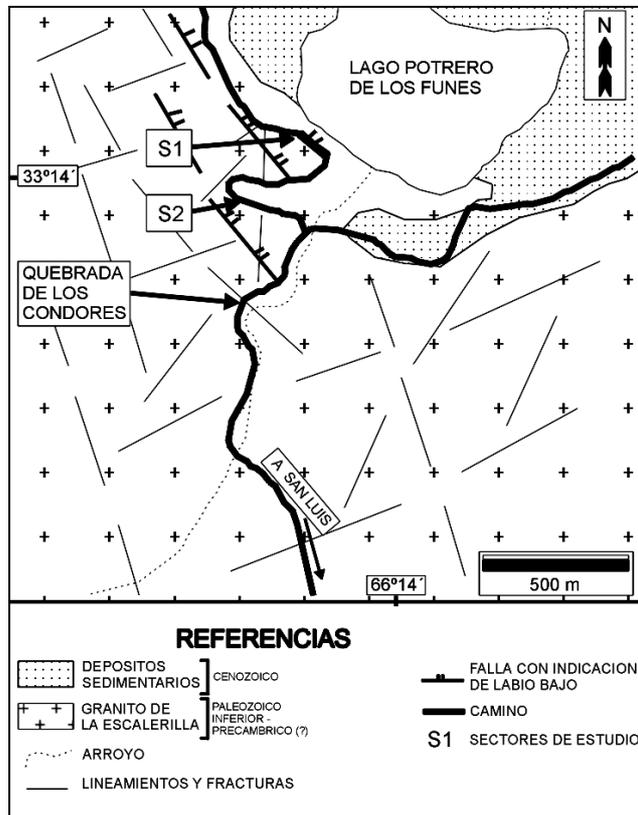
Los diques son de color rosado y muchos de ellos se hallan concordantes con los planos de los taludes donde se registran los deslizamientos de bloques.

El área se encuentra afectada localmente por un sistema de fallas extensionales cuyo rumbo varía de 290° a 310° grados con inclinación al noreste, que limitan por el sur la depresión del Potrero de los Funes (Costa y Cortés, 1993). Los planos de falla se proyectan hacia el noroeste, penetran en el basamento definiendo una clara expresión morfológica y han sido aprovechados para la elaboración de la traza del camino del perilago.

Las rocas sedimentarias constituyen parte de conglomerados y fanglomerados que rellenaron las depresiones del Potrero de los Funes y Las Chacras, y que luego fueron perturbados, inclinándolos en diferentes posiciones por acción de la actividad extensional de las fallas maestras.

La secuencia se completa con sedimentos fluviales de diferente dinámica y eólicos que rellenaron las depresiones durante el Cuaternario.

FIGURA 2: MAPA GEOLÓGICO DEL SECTOR DE ESTUDIO



3. CARACTERIZACION GEOMECAÁNICA

Para el análisis de las características geomecánicas de los taludes se aplicó la metodología sugerida por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1977). El estudio de los taludes se limitó a dos sectores paralelos entre sí con deslizamientos producidos por fallas planares, denominados sector 1 (S1) y sector 2 (S2).

Los sectores de deslizamientos se ubican a 150 metros hacia el oeste del hotel internacional Potrero de los Funes y las trazas de los sistemas de fallas que condicionan los taludes se proyectan por debajo del mismo.

El talud analizado en el sector S1 posee un desarrollo de 25 metros entre su cresta y pie. Los planos de corte buzan a favor de la pendiente (hacia la calzada) y están representados por los planos de las fallas con ángulos de inclinación que varía entre 50° y 59° hacia el noreste (Fig. 3). En el mismo sector se observa otro sistema importante de fracturas con orientación NE-SO e inclinaciones variantes al NW y SE, generando en su interacción con el sistema principal un importante grado de fracturación en la roca. En menor

proporción se observaron discontinuidades con rumbo similar al plano de falla e inclinación al SO.

En este sector se reconoce que la parte inferior del talud analizado se encuentra a una altura de 2,5 metros promedio de la calzada, donde el alto grado de fracturamiento de la roca, genera bloques "colgados", potencialmente inestables y con el consecuente perjuicio de ocasionar el deslizamiento de toda la masa rocosa superior. (Véase la Fig.4 en relación a la figura 3).

El sector S2 se localiza a 180 metros al sur del sector S1. La característica relevante de este sector es una elevada degradación mecánica que favorece los desprendimientos de bloques, reconociéndose en el macizo la diferencia de competencias de la roca. Las de mayor competencia presentan planos de discontinuidad bien desarrollados, mientras que las zonas donde la roca presenta una resistencia muy baja, se desgranán al golpe del martillo, generando planos de talud muy irregulares y fácilmente erosionables por acción de la escorrentía superficial (Fig. 5). Este sector posee la composición de una roca de caja muy alterada en relación con diques pegmatíticos que preservan parte de los planos de falla (Fig. 6).

Los taludes observados en S2 tienen una altura promedio de 15 metros desde la cresta a la base y el macizo rocoso está influenciado por hasta cinco familias diferentes

de discontinuidades, generando bloques de tamaño medio (10 cm³ - 1 m³) y ocasionalmente grande (1 - 3 m³).

FIGURA 3: VISTA PANORÁMICA DEL TALUD DE SECTOR "S1". SE OBSERVAN LOS PLANOS DE LAS FALLAS EXTENSIONALES BUZANDO HACIA EL CAMINO

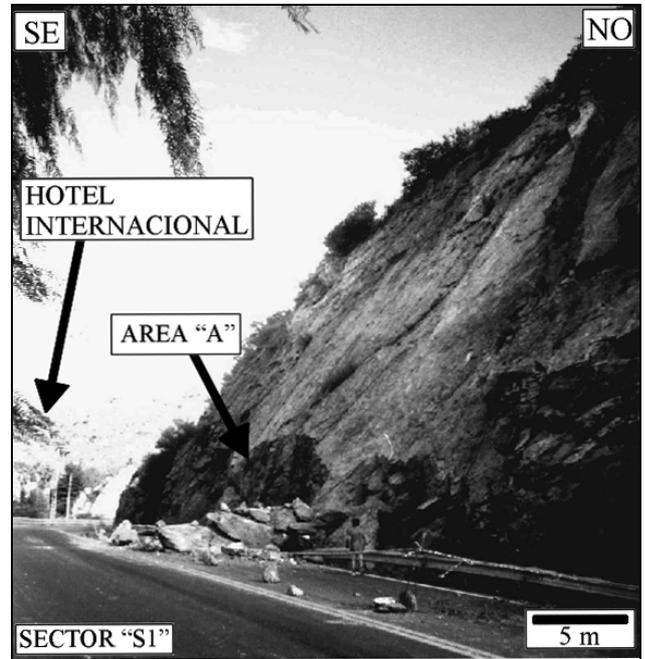
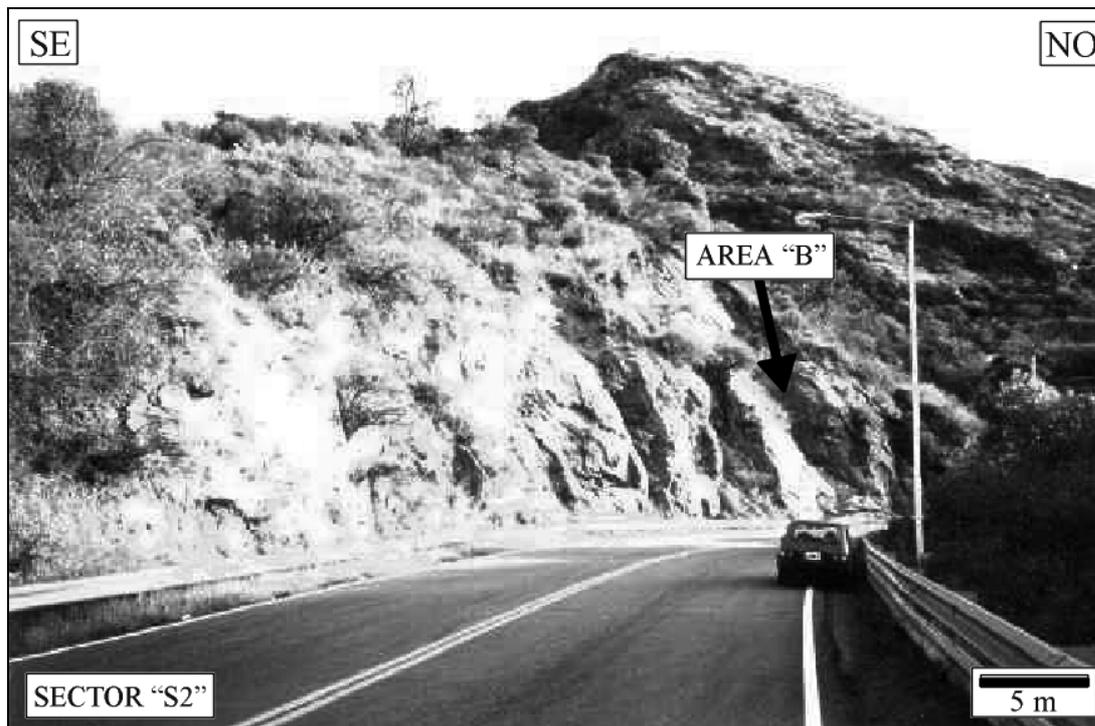


FIGURA 4: DETALLE DEL ÁREA A DE LA FIGURA 3, DONDE SE OBSERVA LA GENERACIÓN DE BLOQUES POR LA INTERSECCIÓN DE SISTEMAS DE FRACTURAS



FIGURA 5: VISTA PANORÁMICA DEL TALUD DEL SECTOR "S2" SOBRE LA MARGEN OCCIDENTAL DEL CAMINO, CON ZONAS DE ELEVADA DEGRADACIÓN MECÁNICA EN LA ROCA



Del análisis de los histogramas circulares (Fig. 7a) obtenidos en ambos sectores, se reconocen dos familias predominantes de discontinuidades. El principal posee rumbo NO-SE y que representa el sistema de fallas extensionales. El segundo es rumbo NE-SO. En forma subordinada se reconocen otros sistemas de menor participación. Realizando un análisis de las inclinaciones se observa una importante concentración de valores de buzamientos que varían entre 50° - 60° y que coinciden con el ángulo que representa la cara libre de los taludes, que por otra parte es la expresión morfológica de las fallas extensionales.

4. COMENTARIOS FINALES

Del análisis de las discontinuidades observadas en los taludes, se reconocen al menos dos sectores inestables y que generan caída de bloques al camino del peligro.

El sector S1 presenta un talud mejor expuesto que en S2, donde predomina la elevada degradación mecánica y favorece los deslizamientos en forma permanente. El elevado número de discontinuidades con persistencia alta, 10-20 m, (Fig. 8a), condiciona el deslizamiento de los bloques. Este hecho fue corroborado en los taludes afectados por los deslizamientos. Además, altas persistencias favorecerían la formación de grietas de tracción en la cara superior del talud.

Otro factor que condiciona la inestabilidad de los taludes es el estrecho espaciamiento ($<0,25$ m) entre las discontinuidades (Fig. 8b) y la existencia de un elevado número de discontinuidades abiertas (0,5 - 10 mm), Fig. 8c, sin

relleno ni sellamiento (Figs. 8d y 8e), aunque en algunas discontinuidades se reconocieron rellenos con material arcilloso. Estas condiciones provocan una disminución en la cohesión del macizo y un aumento en la infiltración del agua desde la superficie del mismo. Esto disminuye la resistencia al corte del macizo rocoso y favorece los deslizamientos. La intersección de tres o más familias de fracturas generan, en ambos sectores, bloques de tamaño medio (10 cm^3 - 1 m^3) y subordinadamente de tamaño grande (1 - 3 m^3).

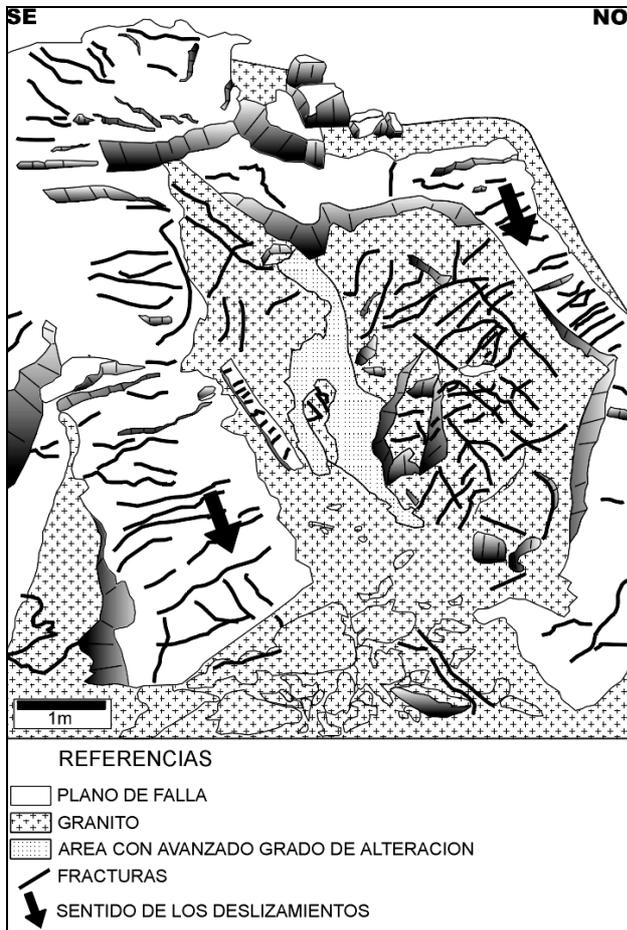
El grado de rugosidad y la marcada diferencia en los planos es otro factor condicionante de los deslizamientos, ya que los planos que coinciden con el talud presentan caras lisas, mientras que los restantes poseen rugosidad media (Fig. 8f).

Del análisis cuantitativo de las discontinuidades, se puede deducir que el estilo de los deslizamientos ocurridos en el sector de Potrero de los Funes, está relacionado con la rotura del macizo rocoso por falla planar y vinculados principalmente a los planos de discontinuidades correspondientes al fallamiento extensional que sufrió localmente el sector de estudio. Los problemas de desprendimientos de bloques son producto de las obras de precorte llevadas a cabo en la construcción del camino sobre un área de alto tectonismo, lo que genera la inestabilidad del macizo rocoso donde se produce la conjunción de estos factores.

Para el tratamiento de los taludes analizados y principalmente en el sector "S1", que es el de mayor riesgo, se sugiere estabilizar el mismo en tres puntos diferentes.

FIGURA 6: DETALLE ESQUEMÁTICO DEL ÁREA B MOSTRADO EN LA FIGURA 5

Se destacan las diferencias de competencia entre diques (plano de falla) y el granito de la roca de caja muy alterado



Primero en la parte inferior del talud, donde se observa una pared vertical de 2,5 metros, constituido por bloques de tamaño mediano, “colgados” los cuales constituyen una constante disponibilidad de material a desprenderse. Se propone la construcción de una pared vertical superior a 2,7 metros de altura. Segundo en la parte media se deberían utilizar bulones de anclajes de 2,5 metros de longitud de manera de sostener y disminuir la posibilidad de deslizamientos a lo largo de los planos relacionados a estas discontinuidad. Por último, por detrás de la parte superior del talud (cresta) se debería impermeabilizar la superficie del mismo en las adyacencias del sector de corte, a los fines de disminuir la infiltración esporádica que favorece los deslizamientos por falla planar en este sector.

Otra forma sería disminuir la altura del talud por bermas e inyecciones en los sectores de mayor alteración y fracturamiento, siempre construyendo el muro de contención.

Es destacable realizar un análisis estructural durante el diseño de la construcción de un camino, ya que en el caso estudiado, en sectores muy cercanos como la

FIGURA 7a: DISTRIBUCIÓN DE LOS RUMBOS DE FRACTURAS RECONOCIDAS EN EL ÁREA

de donde se destacan los dos sistemas preponderantes que condicionan y desestabilizan los taludes

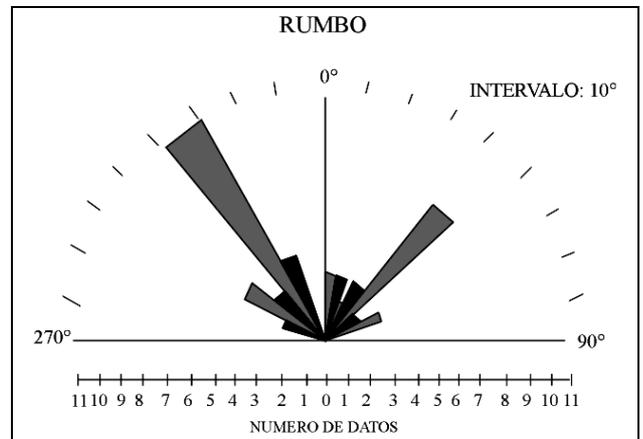
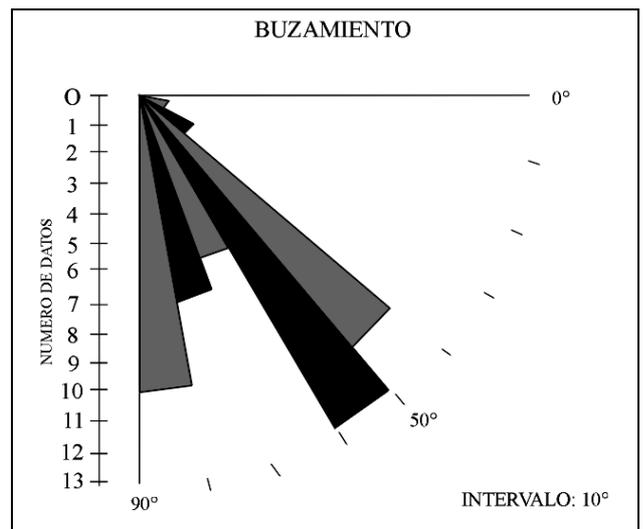


FIGURA 7b: DISTRIBUCIÓN DE LAS INCLINACIONES DE LOS PLANOS DE DISCONTINUIDADES

Se destacan los planos de 40°-60°



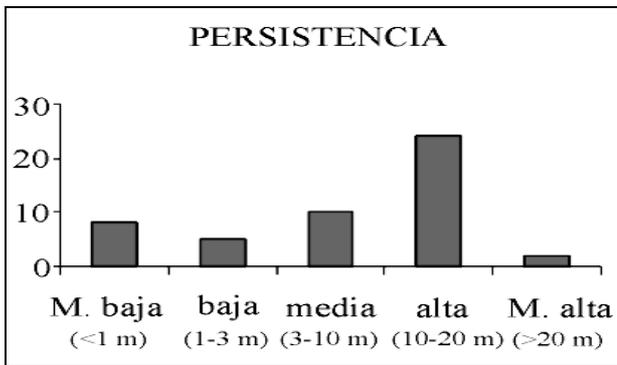
Quebrada de los Cóndores, que presentan las mismas características geológicas que los sectores estudiados, con paredes verticales mayores a 50 metros de altura y con mayor grado de estabilidad. Esto indica que a igual condición estructural y litológica se puede esperar un grado de estabilidad similar. Sin embargo los taludes analizados poseen una cizalla sobreimpuesta que condiciona la estabilidad de los mismos. De esta manera se podría haber previsto un cambio de traza o de lo contrario haber estudiado medidas de remediación que permitieran evitar la obstrucción y deterioro del camino.

5. AGRADECIMIENTOS

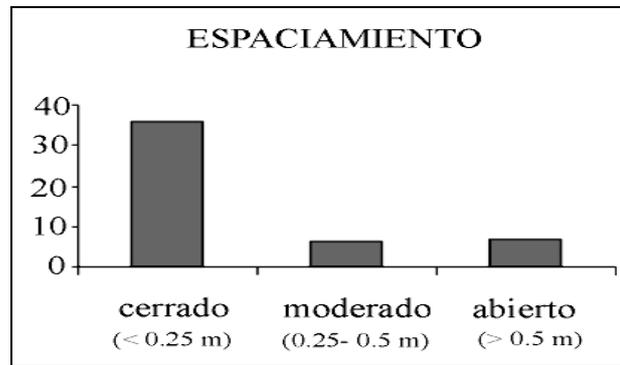
Se agradece a Carlos Costa por sus comentarios y a los árbitros por la lectura crítica de este trabajo.

FIGURA 8: ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS EN LAS DISCONTINUIDADES:

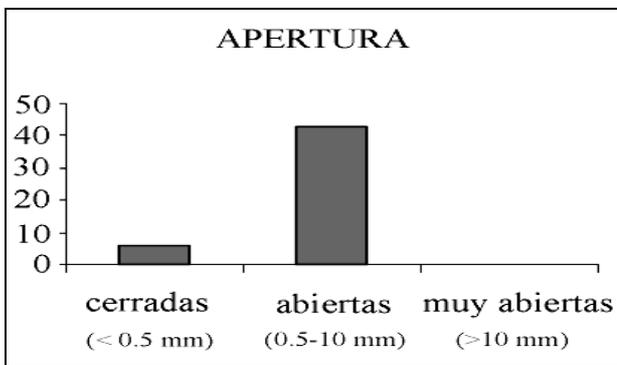
a) persistencia, b) Espaciamiento, c) apertura, d) relleno, e) sellamiento, f) rugosidad.



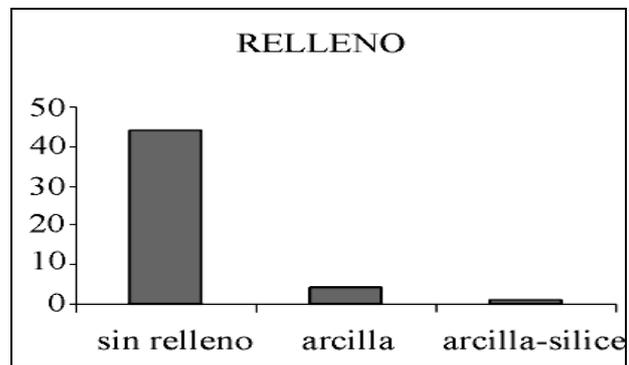
(a)



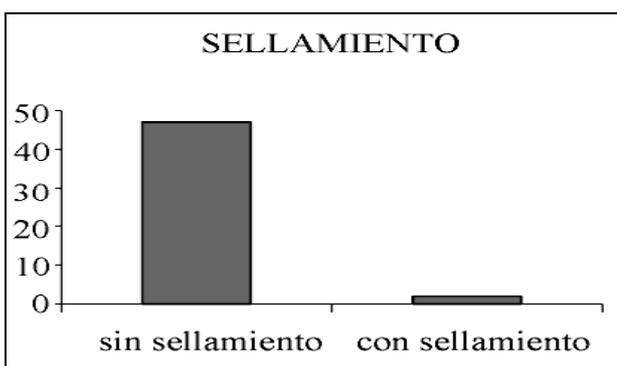
(b)



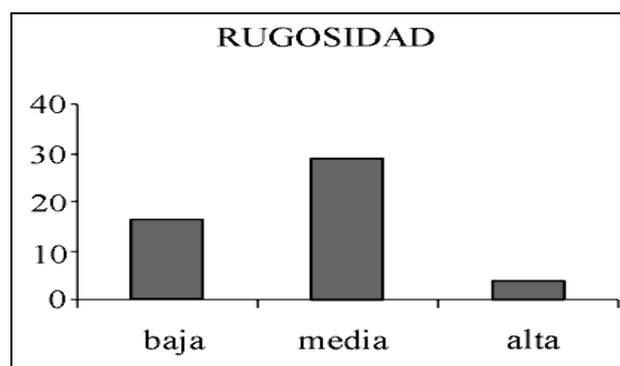
(c)



(d)



(e)



(f)

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CAMACHO, A. E IRELAND, T. 1997.
Geochronology preliminar report. Geoscientific Mapping of the Sierras Pampeanas Argentine-Australian Cooperative Project.
Australian Geological Survey Organization, Informe inédito 29 p. Buenos Aires.
- COSTA, C.H., 1992.
Neotectónica del sur de la sierra de San Luis. Tesis Doctoral.
Universidad Nacional de San Luis, 390 p. (Inédito).
- COSTA, C.H. Y J. CORTES, 1993.
Tectónica extensional en el extremo sur de la sierra de San Luis.
12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas, 3:113-118.
- CRIBADO ROQUE, P., C. MOMBRU Y V. RAMOS, 1981.
Estructura e interpretación tectónica. en: M. Yrigoyen Ed., Geol. y Rec. Nat. de la Pcia. de San Luis.
8º Congreso Geológico Argentino Relatorio: 151-192.
- GONZALEZ BONORINO, F., 1950.
Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas.
Asociación Geológica Argentina Revista 5:81-110, Buenos Aires.
- INTROCASO, A., A. LION Y V. RAMOS, 1987.
La estructura profunda de las sierras de Córdoba.
Asociación Geológica Argentina Revista 42:177-187, Buenos Aires.
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1977.
Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.
Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, Document N° 4.
- JORDAN, T. Y R. ALLMENDINGER, 1986.
The Sierras Pampeanas of Argentina. A modern analogue of Rocky Mountains foreland deformation.
Am. Journ. Science, 286:737-764, Washington.
- KILMURRAY, J. Y L. DALLA SALDA, 1977.
Caracteres estructurales y petrológicos de la región central y sur de la sierra de San Luis.
Revista Centenario del Museo de La Plata, 3:167-178.
- LIPPMANN, M.J., 1966.
Geología del extremo sur de la Sierra de San Luis.
Informe inédito. Carpeta N° 650. Dirección Nacional de Geología y Minería.
- ORTIZ SUAREZ, A., PROZZI, C. Y LLAMBIAS, E., 1992.
Geología de la parte sur de la Sierra de San Luis y Granitoides asociados,
Argentina. Estudios Geológicos, 48: 269-277.
- SIMS, J.P, IRELAND, T.R., CAMACHO, A., LYONS, P., PIETERS, P.E., SKIRROW, R.G., STUART-SMITH, P.G. & MIRÓ, R., 1998.
U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. implications for the Proto-Andean margin of Gondwana.
En: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds.) The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications, 142: 259-281.
- VON GOSEN, W. Y PROZZI, C., 1998.
Structural evolution of the Sierra de San Luis (Eastern Sierras pampeanas, Argentina): implications for the Proto-Andean margin of Gondwana.
En: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds.) The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications, 142: 235-258.
- ZENCICH, S., 1988. Evolución morfotectónica tardío-cenozoica entre el cerro Valle de Piedra y la quebrada de Los Cóndores, Departamento Capital, San Luis.
Tesis Licenciatura. Inédita. Universidad Nacional de Río Cuarto, 136 p.

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Evaluación de impacto ambiental mediante cartografía temática: un estudio de caso	<i>Argüello, L. - Palacios, A. Herrero, S. - Pierotto, M. López Villagra, G. - Bartó, C.</i>	1
Materiales plásticos aptos para ser utilizados como base en sistemas de deposición de residuos en zonas urbanas. Entre Ríos. Argentina	<i>Bertolini, Juan Carlos</i>	18
Análisis del subsuelo de Bahía Blanca, en relación a unidades ambientales homogéneas, tipología edilicia y fundaciones	<i>Caló, Jorge E. - Fernández, Elba M. Marcos, Angel O. - Aldacour, Héctor E.</i>	28
Determinación del riesgo por colapso de una zona de la ciudad de Río Cuarto. Córdoba, Argentina	<i>Campanella, Osvaldo - Origlia, H. Daniel - Gomez, M. Laura Felizzia, Juan - Borgna, Jorge</i>	36
Geología aplicada a la ingeniería, planificación ambiental y ordenamiento del territorio	<i>Di Salvo, Carlos Alberto</i>	45
Curso de campo "fenómenos naturales - espacios antropizados - áreas degradadas" Alto Valle del Río Negro y Valle Inferior de los Ríos Limay y Neuquén	<i>Engelland, Silvia - Arroyo, Luisa Castaño, Elsa</i>	54
Consideraciones Geotécnicas e Hidrológicas para la Selección del sitio de emplazamiento de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de San Juan	<i>Fiore, Juan Manuel - Castro, Adolfo Turcuman, María Hortencia</i>	60
Mapeo de plumas contaminantes en sistemas geológicos mediante georadar	<i>Francisca, Franco Matías Rinaldi, Víctor Alejandro</i>	68
Caracterización hidrogeomorfológica y análisis de crecidas de la cuenca del cañadón de La Quinta. Comodoro Rivadavia. Chubut	<i>Hirtz, Néstor - Blachakis, Andrés</i>	79
Cartografía temática para la obtención de indicadores e índices de calidad ambiental	<i>Hurtado, M. A. - Giménez, J.E. Cabral, M. - Martínez, O. Gutiérrez, M. - Sánchez, C.</i>	91
Mineralogía y usos industriales de sedimentos arcillosos de la provincia de La Rioja	<i>Karlsson, Alicia - Ayala, Rosa Mansilla, Lylían</i>	101
Procesamiento de imágenes digitales: una aplicación para análisis de curvas de nivel y cálculo de volúmenes	<i>Minkoff, Darío - Fernández, Sandra</i>	106
Modelado digital de la depresión de las lagunas encadenadas del oeste aplicado a la gestión ambiental Buenos Aires	<i>Navarro, E.- González Uriarte, M.</i>	116
Zonificación de áreas afectadas por salinización para el estudio de la peligrosidad geológica en la hoja Mendoza	<i>Regairaz; Maria Cecilia Gonzalez, Maria Alejandra</i>	124
Mapa de emisividad calculado a partir de una imagen Landsat TM sobre un sector de la Cuenca del Azul	<i>Rivas, Raúl - Caselles, Vicente Valor, Enric - Entraigas, Ilda</i>	134
Los programas de geología ingenieril, ingeniería geológica e ingeniería geotécnica para el nuevo milenio	<i>Rocca, Ricardo José</i>	141
Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca Su comportamiento frente a la RAS	<i>Marfil, S. A. - Maiza, P. J. Salomón, R.C.J.</i>	146
Caracterización geomecánica de taludes en Potrero de los Funes Provincia de San Luis	<i>Sales, Daniel A. - Gardini, Carlos Origlia, Daniel</i>	153

GEOINDICATORS WORKSHOP AND FIELD TRIP
TALLER SOBRE GEOINDICADORES Y APLICACIÓN EN CAMPO

Córdoba, 14 al 17 de mayo de 2002

E-mail: asagai@infovia.com.ar

REUNIÓN NACIONAL
SOBRE GESTIÓN AMBIENTAL EN RESIDUOS SÓLIDOS

Córdoba, agosto de 2002

E-mail: asagai@infovia.com.ar

A los fines de la impresión del presente volumen se ha recibido
apoyo económico de las siguientes empresas y asociados:

LIC. JORGE WEXLER

CIMARG S.A.

MINERA TEA SACIF

Copyright 2000 by Editorial ASAGAI
Maipú 645 - 1^{er} piso - 1006 Buenos Aires
Printed in Argentina

*Producción Gráfica y Editorial
Callerio y Asociados
(0351) 4245924
e-mail: lcallerio@agora.com.ar
Córdoba*

Se terminó de imprimir en Octubre de 2001
en sistemas de impresión directa
de Callerio y Asociados
Córdoba - Argentina