

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Evaluación de impacto ambiental del camino E-57. Tramo: Villa Allende - Unquillo - La Quebrada. Provincia de Córdoba	<i>Bejerman, Norberto Jorge - Cabral, Sandra</i>	1
Hormigones con arenas de dolomías trituradas	<i>Cabrera, Oscar - Cassinelli, Gustavo - Donza, Horacio - Menéndez, Gustavo</i>	6
Evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación utilizando un modelo entidad - relación adaptado a la tecnología de los SIG	<i>Campanella, Osvaldo - Saqripanti, Guillermo - Origlia, H. Daniel - Frascetti, Guillermo - Daniele, Marcela</i>	12
Aplicación de las dolomías como agregado en mezclas asfálticas de pavimentación	<i>Cassinelli, Gustavo - Ruiz, Miguel</i>	20
Obras de protección contra las inundaciones en las planicies aluviales de los ríos Paraguay y Paraná (sector argentino). Sus implicancias ambientales.	<i>De Francesco, Fernando O. - Colado, Ubaldo R. - Schnack, Enrique J. - Schnack, Juan A. - García Lozano, Luis C</i>	25
Aspectos hidrogeomorfológicos de la cuenca del Río Pircas, Jujuy, Argentina	<i>Dietta, Patricia M. - Mansilla, Lilyán del Valle - OroSCO, Oscar</i>	32
Utilización de cartografía geotécnica en la asignación de coeficientes de balasto para el cálculo de estructuras sometidas a momento de vuelco	<i>Elzeard, Luis - Bolinaga, Raúl</i>	38
Contaminación de freática por vertido de residuos sólidos urbanos en Villa María. Córdoba, Argentina.	<i>Fernández, Guillermo José</i>	43
Perlitas de la provincia de Salta. Nuevas aplicaciones tecnológicas	<i>Gea, S. - Noël G. Tapia A. - Suárez O.</i>	51
Uso de mapas temáticos en la confección de la carta geoambiental de Comodoro Rivadavia. Chubut, Argentina.	<i>Hirtz, Néstor - Pérez, Horacio - GriziniK, Mario - Tejedo, Alejandra - Blachakis, Andrés - Stronati, Mónica - Cavallaro, Sandra</i>	56
Hidrogeomorfología y caracterización química de la Reserva Hídrica de Finca Las Costas. Provincia de Salta	<i>Marcuzzi, Jorge - Gutiérrez, Marcelo D. - Olañeta, Marcelo R. - Peralta, Carlos M. - Núñez, Virgilio - Garrido, Daniel A. - López, Guillermo A.</i>	76
Mapa de la vegetación del ejido de la ciudad de San Carlos de Bariloche	<i>Naumann, Carlos M. - Sancholuz, Luis A.</i>	92
Base cartográfica para el partido de Escobar, provincia de Buenos Aires, Argentina. Una aplicación de la Geoinformática	<i>Olivares, Oscar R.</i>	98
Hidrogeología del área de la laguna "El Hinojo" Venado Tuerto. Provincia de Santa Fe	<i>Peisajovich, Mariela Alejandra - Fresina, Mirta E.</i>	109
La importancia de la geomorfología frente al cambio climático global en el nordeste argentino	<i>Popolizio, Eliseo</i>	123
Cuantificación de la pérdida de suelo en un sector de bardas en la Ciudad de Neuquen. Cuenca XVI.	<i>Rapacioli, Raúl - Impiccini, Agnes - Engelland, Silvia - Arroyo, Luisa</i>	128
Metodología ajustada del diagnóstico de afectación ambiental de las aguas subterráneas. Pdo de Escobar, Pcia de Buenos Aires	<i>Santa Cruz, Jorge N. - Fresina, Mirta - Silva, Adrián A. - Olivares, Oscar R.</i>	137
Krutexto: un programa para el tratamiento de datos geográficos mediante planillas electrónicas	<i>Tomás, Mónica L.</i>	147
Problemas de asentamientos en las construcciones de la ciudad de Tucumán	<i>Valoy Juan Carlos</i>	149
Tratamiento de frecuencias de discontinuidades determinadas por líneas de muestreo incorporando la incertidumbre estadística de los datos	<i>Vendramini, Néstor - Niell, Arcadio</i>	161

Número 14 - Vol. I ■ 2000

ISSN 0326-1921

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 14 ■ 2000

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

Un jalón más de la vida institucional se cumple con la edición de este nuevo número de la Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, el cual nuclea y cierra la serie de trabajos presentados al Sexto Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente y Tercera Reunión de Preparación y Uso de Mapas Temáticos realizado en la ciudad de San Carlos de Bariloche entre los días 26 y 28 de Mayo de 1999. Dicho evento resultó una reunión memorable en la vida de la Asociación, por la calidad de los trabajos presentados y por la mancomunicación de los asistentes.

En este número, además, se incorporan trabajos de asociados presentados con posterioridad a los mencionados eventos y que ameritaron su publicación, de acuerdo a lo manifestado por el Comité "ad hoc".

Resultará importante poder contar, por parte de los señores Asociados, con nuevos estudios sobre temas de la especialidad, para su ulterior publicación con el objeto de alcanzar un volumen de trabajos que nos permita ir preparando, con la debida antelación, los nuevos números de la Revista. Se ha anexado a la Revista la temática ambiental, que nos permite ampliar el temario y así dis-

poner de abundante material publicable dada la importancia que últimamente ha adquirido dicho tema entre nuestros miembros.

La organización de eventos durante el corriente año permite entrever que los mismos servirán de estímulo entre los Asociados, para posibilitar la publicación de temas diversos en numero suficiente y entonces contar con un excelente material que permita divulgar los nuevos temas.

Cabe citar que se ha previsto para el mes de octubre de este año, en San Martín de los Andes, el Tercer Encuentro Nacional de Unidades Ambientales del Sector Vial y se encuentra en curso de programación la Primera Circular del VIIº Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente y Cuarta Reunión sobre Preparación y Uso de Mapas Temáticos a realizar en octubre del 2001 en la ciudad de Bahía Blanca.

Una vez mas esperamos la colaboración de los asociados para que ambos eventos previstos resulten exitosos gracias al apoyo que, tal como nos tienen acostumbrados, puedan brindarnos y de esa forma podamos seguir proyectando la Asociación.

El Director

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, separados 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 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.
- 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 citen 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.
- 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 arábica 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.

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 y mapas, que no se ajusten a estas normas o cuya calidad sea deficiente.



Evaluación de impacto ambiental del camino E-57

Tramo: Villa Allende – Unquillo – La Quebrada Provincia de Córdoba

Bejerman, Norberto Jorge - Cabral, Sandra

Resumen

Se presenta la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), preparada en relación con el proyecto de rehabilitación del tramo Villa Allende – Unquillo – La Quebrada, del Camino E-57.

La Evaluación de Impacto Ambiental fue llevada a cabo mediante una metodología propia basada en el principio de la matriz causa – efecto, modificada a partir de la introducción de un algoritmo (Bejerman y Cabral, 1998). Este permite valorar, por medio de los siete atributos que lo integran, la relación acciones/factores ambientales.

Se incluye el Plan de Mitigación de Impactos, que se deberá considerar en la etapa de ejecución de la obra, y el Programa de Vigilancia Ambiental, elaborado sobre la base del concepto de Análisis Post-Proyecto (APP).

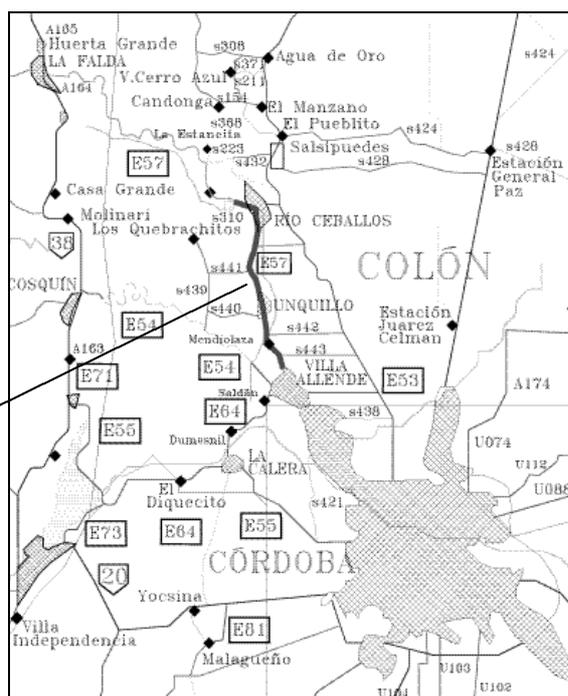
1. INTRODUCCIÓN

Se presenta la Evaluación del Impacto Ambiental (E.I.A.) correspondiente al proyecto de rehabilitación del Camino Provincial E-57, tramo Villa Allende – Unquillo – La Quebrada. El mismo se sitúa en el Departamento Colón de la Provincia de Córdoba.

La misma analiza el conjunto de impactos factibles de producirse a la vez que se delinean las acciones a seguir con el objeto de mitigar los impactos y se plantea el programa de control ambiental pertinente.

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL TRAMO

Tramo estudiado



Entregado: 15 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 16 de Setiembre de 1999

Dirección de Vialidad – Córdoba - Argentina
Casilla de Correo 846 – 5000 Córdoba

2. ESTADO PREOPERACIONAL

El tramo vincula las localidades de Villa Allende (15.928 habitantes, según *Censo Nacional de 1991*), Unquillo (11.788 habitantes, según *Censo Nacional de 1991*) y Río Ceballos (12.882 habitantes, según *Censo Nacional de 1991*) a la vez que atraviesa la localidad de Mendiola (1.505 habitantes, según *Censo Nacional de 1991*), por lo que se puede asumir para el mismo una característica interurbana. Su característica puede ser definida como interurbana, con sectores poblados (localidades mencionadas precedentemente) y otros intermedios que muestran construcciones a ambos lados del camino. La vía sirve de comunicación con la ciudad de Córdoba.

Lo mencionado precedentemente deja planteada la necesidad de dársenas de transporte y refugios asociados a las mismas, lo que ha sido contemplado en el proyecto.

En cuanto a la caracterización del medio físico, se puede mencionar lo siguiente:

- Relieve ondulado. Según la cartografía el tramo está situado entre 615 y 715 m s.n.m.
- Escurrimiento superficial, de sentido O-E
- Precipitaciones entre 600 y 700 mm. anuales
- Vientos predominantes del NE y E

Con respecto al paisaje, posee las siguientes características visuales básicas (*Smardon, 1979*):

- Forma: tridimensional
- Línea: bordes definidos
- Textura: grano, medio
densidad, medio
regularidad, en grupos
contraste interno, poco contrastado
- Escala: relativa
- Espacio: focalizado

Con respecto a calidad visual, mediante el empleo de métodos directos de subjetividad compartida se la valora como "Área atractiva" y "Área monótona" (*CEOTMA-MO-PU, 1995*). Esto se debe a las variaciones entre espacios interurbanos y urbanos.

El volumen de tránsito, T.M.D.A. de 8.492 vehículos/día.

3. PROYECTO A EJECUTAR

Está prevista la rehabilitación del pavimento existente, con capa de concreto asfáltico de 0,04 m de espesor. Ensanche, con base granular de un metro. Se prevé el

ensanche de la calzada de rodamiento, la ejecución de cordón cuneta y badenes de hormigón.

Se plantean variantes para mejorar la visibilidad en curvas verticales y horizontales (con excavación en todo terreno, extracción y reposición de árboles (Foto 1), traslado y construcción de alambrados, etc.).

Se modificaron y mejoraron los drenajes de la obra proyectando la construcción de badenes, nuevas alcantarillas, cunetas revestidas, etc.

Se diseñaron dársenas para la detención del transporte de pasajeros y la reconstrucción de los refugios para los mismos.

4. MARCO LEGAL

Se deberá respetar la legislación nacional, provincial y/o municipal que esté referidas a aspectos ambientales que puedan ser afectados por la obra vial.

5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Desarrollada con el objeto de analizar la interacción entre las acciones desarrolladas a partir del proyecto y la respuesta que podría producirse en el medio circundante a partir de su concreción.

Dicho análisis es llevado a cabo mediante una metodología (*Bejerman y Cabral, op. cit.*) que considera los atributos planteados en la Tabla I, sobre la base de la cual se elaboraron matrices para las etapas de construcción y operación de la obra.

FOTO 1



- En el algoritmo la secuencia es: Naturaleza – Intensidad – Extensión – Momento en que se produce – Persistencia – Reversibilidad del efecto - Recuperabilidad
- En el caso de impactos Beneficiosos no se valoran Reversibilidad ni Recuperabilidad
- En Generación de empleo solo se valora la Persistencia

TABLA 1

1. NATURALEZA		2. INTENSIDAD (I)		3. EXTENSIÓN (E)		4. MOMENTO EN QUE SE PRODUCE (MO)	
+	Beneficioso	1	Baja	a	Puntual	A	Inmediato
-	Perjudicial	2	Media	b	Parcial	B	Mediato
X	Previsible pero difícil de calificar	3	Alta	c	Extenso (todo el ámbito)	C	Largo plazo
5. PERSISTENCIA (PE)		6. REVERSIBILIDAD DEL EFECTO (RV)				7. RECUPERABILIDAD (MC)	
1	Temporal	a	Corto plazo			A	Mitigable, totalmente recuperable de manera inmediata
2	Permanente	b	Mediano plazo			B	Mitigable, totalmente recuperable a mediano plazo
		c	Largo plazo			C	Mitigable, parcialmente recuperable.
		d	Irreversible			D	Irrecuperable

6. PLAN DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS

De acuerdo a lo que se puede observar tras la preparación de las correspondientes matrices, se ha elaborado un plan de mitigación que en el caso de algunas acciones (Movimiento de suelos, Desobstrucción de Obras de Arte, Explotación Yacimiento de suelos, Preparación de mezcla asfáltica, Demarcación horizontal y Señalización vertical, Control de malezas y vegetales en zona de camino) conserva lo enunciado en *Bejerman y Cabral, op. cit.*

En el caso de otras acciones previstas dentro del Plan, y con referencia a lo planteado en el mencionado trabajo, se ha modificado el planteo de la puesta en práctica de las mismas por lo que se las incluye a continuación junto con otras no enunciadas con antelación:

a. Acopio de materiales

A los fines de la determinación de su ubicación se deberá tener en cuenta la existencia de núcleos poblacionales, de cualquier magnitud, y de emprendimientos de cualquier índole en las adyacencias del lugar seleccionado. Se deberá prestar especial atención a la dirección de los vientos predominantes atendiendo a los eventuales perjuicios que pudieran producir las partículas en suspensión.

Se tendrán que ubicar de forma tal que la modificación de la calidad visual no sea substancial. Se tendrán que tomar precauciones con respecto a la eventual ocurrencia de accidentes del personal involucrado en la tarea.

Por ser una ocupación transitoria del terreno, la superficie a ocupar deberá ser la mínima posible, considerando el volumen de material a acopiar.

Una vez concluida la obra, el terreno utilizado para el acopio de materiales tendrá que ser restituidas sus características a las condiciones del estado preoperacional.

b. Uso de áridos

Se deberá exigir al ejecutar la Obra que el o los proveedores presenten la autorización o habilitación expedida a tal fin por el organismo oficial pertinente según lo estipulado en la Ley Provincial 8529 (Ley de áridos).

En el caso que la Contratista planteé instalar una planta de trituración, la misma deberá estar situada de modo tal que no modifique sustancialmente la calidad visual del área de emplazamiento. En el caso de ser ubicada en las cercanías de núcleos poblacionales, de cualquier magnitud, o de emprendimientos de cualquier índole, se deberá contar con el asentimiento de quien corresponda a los fines de evitar producir una modificación extrema de la calidad de vida en el sector.

A los fines de la orientación de la planta se deberá prestar especial atención a la dirección de los vientos predominantes.

La tecnología a utilizar debe garantizar los menos niveles de ruido posibles.

En la fase de abandono se deberán restituir el terreno utilizado a su estado preoperacional.

c. Desmante en todo terreno.

La maquinaria a utilizar en la ejecución de la tarea deberá incorporar la tecnología que permita el menor deterioro posible del medio en el que se desarrollará. En tal sentido, y puntualmente, se deberá hacer uso de perforadoras hidráulicas con colector de polvo.

En el caso que fuera necesaria la ejecución de voladuras, el volumen de carga y su distribución, la elección del tipo de explosivo y los efectos que las mismas pudieran producir sobre núcleos poblacionales o bienes serán de responsabilidad exclusiva del Contratista. En el caso de resultar factible se deberá lograr un fraccionamiento óptimo y aprovechamiento máximo del material para su posterior incorporación al resto de la obra.

d. Instalación del obrador

El sitio de emplazamiento deberá ser seleccionado de modo tal que no signifique una modificación de magnitud en la dinámica socioeconómica de la zona. Cuando las rutas crucen por áreas ambientales sensibles se evitará ubicarlos en dichas zonas.

Se deberá ubicar de forma tal que no modifique substancialmente la visibilidad ni signifique una intrusión visual importante.

En la construcción de los obradores se deberá evitar la realización de cortes de terreno, rellenos y remoción de vegetación y, en lo posible, se preservarán árboles de gran tamaño o de valor genético, paisajístico, cultural o histórico.

En lo posible se deberán iniciar procesos de revegetación y reforestación perimetral con el fin de crear barreras vivas que minimicen los Impactos relacionados con ruidos y emisiones de partículas.

Se evitará que esté situado en las adyacencias de la planta asfáltica o de la planta de trituración, en zona de recarga de acuíferos, en zona que presente conflicto con el uso que le proporciona la comunidad local, aguas arriba de las fuentes de abastecimiento de agua a núcleos poblados, por los riesgos sanitarios que esto implica respecto a la contaminación.

Dentro del obrador deberán estar diferenciados, los sectores destinados al personal (sanitarios, dormitorios, comedor) de aquellos destinados a tareas técnicas (oficina, laboratorio) o vinculados con los vehículos y maquinarias (zona de lavado, engrase, etc.).

El sector del obrador en el que se realicen tareas de reparación y mantenimiento de vehículos y maquinaria, de cualquier tipo, deberá ser acondicionado de modo tal

que la limpieza o su reparación no implique modificar la calidad y aptitud de las aguas superficiales o subterráneas en el área de la obra así como producir la contaminación del suelo circundante. Se deberán arbitrar las medidas que permitan el posterior tratamiento de aceite y lubricantes.

Los materiales o elementos contaminantes, tales como combustibles, lubricantes, aguas servidas no tratadas, no deberán ser descargados en, o cerca de, ningún cuerpo de agua, sean éstos naturales o artificiales.

En lo posible los campamentos serán prefabricados. En caso de realizar montaje de campamentos con madera de la región, se tratarán de seleccionar árboles que queden en la zona de camino con el fin de evitar la tala innecesaria.

Todos los obradores deberán poseer una instalación sanitaria adecuada para el tratamiento de líquidos cloacales. No se permitirá que se afecte ninguna napa freática, debiendo para ello contar con los dispositivos sanitarios que se estimen necesarios.

No se arrojarán desperdicios sólidos de los campamentos a las corrientes o a media ladera. Estos se depositarán en un relleno sanitario manual, debiéndose cubrir los mismos con una capa de material suelto con una frecuencia no mayor a 15 (quince) días.

El pozo séptico y la fosa de residuos sólidos deberán cumplir con los requerimientos ambientales de impermeabilización y tubería de infiltración.

Los obradores contendrán equipos de extinción de incendios y un responsable con material de primeros auxilios y deberán cumplir con la normativa sobre seguridad e higiene laboral.

Se deberá señalar adecuadamente su acceso, teniendo en cuenta el movimiento de vehículos y peatones.

Una vez finalizada la obra, el contratista deberá quitar el obrador del lugar donde fuera emplazado y restituir el suelo de la zona afectada a su estado anterior. Con anterioridad a la emisión del acta de recepción de la obra se deberá recuperar ambientalmente y restaurar la zona ocupada a su estado preoperacional. Esta recuperación debe contar con la aprobación de la Inspección de Obra.

En el momento que esté previsto dismantelar el obrador, se deberá considerar la posibilidad de su donación a la comunidad local, para beneficio común.

e. Tránsito maquinarias

Se deberá requerir el buen funcionamiento de los vehículos de forma tal que procuren la menor modificación de la calidad del aire y del nivel de ruido.

En el caso de las reparaciones de las mismas fuera del obrador, se deberán tomar los recaudos para que la perturbación a producir sea mitigable en lo que se refiere a la contaminación del suelo y la generación de residuos. Estos últimos no deberán ser almacenados en el lugar que se los produjo, sino que deberán ser trasladados al relleno sanitario existente en el obrador. En el caso de aceites reemplazados, se los deberá almacenar para su ulterior traslado al obrador para su posterior tratamiento.

f. Extracción de árboles

Se deberá restringir a la mínima superficie en la que se necesite llevar a cabo.

Se deberán tomar las precauciones necesarias de modo tal que la acción no produzca daño alguno a terceros.

Se deberá señalar el camino al momento de desarrollar las tareas.

7. PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL

El Programa parte del concepto de Análisis Post-proyecto (APP). El mismo debe implementarse durante la ejecución de la obra, con el fin de verificar el cumplimiento del Plan de Medidas Correctoras y actuar sobre los

impactos residuales o no previstos que pudieran surgir.

Su puesta en funcionamiento permitirá prevenir los impactos negativos inesperados frente a súbitos cambios en las tendencias de los impactos. Las acciones relacionadas con el presente programa permitirán, además, determinar la eficacia de las medidas correctoras para su eventual modificación.

La ejecución del Programa es de índole obligatoria.

8. CONCLUSIONES

En función de las características del área donde se producirá la rehabilitación y de las acciones previstas en el proyecto a los fines de la misma así como la mejora en la circulación que significará la ejecución de la obra se puede concluir que en la medida que el Plan de Mitigación de Impactos se cumpla, la obra no implicará un deterioro sobre la calidad ambiental de los diversos medios evaluados.

Cabe agregar que en la medida que el mencionado Plan no se cumpla, está prevista la aplicación del Régimen de Infracciones planteado en el Pliego General de Especificaciones Técnicas de Impacto Ambiental elaborado en relación a la rehabilitación aquí evaluada.

9. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BEJERMAN N. J. Y S. CABRAL, 1998.

Evaluación de impacto ambiental de la Ruta Provincial N° 4. Tramo: Laguna de los Platos – Ruiz Díaz de Guzmán. Dptos: Juárez Celman y Roque Sáenz Peña. Provincia de Córdoba.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería. N° 12, pp. 1-12.

CANTER, L.W., 1996.

Manual de Evaluación de Impacto Ambiental.
Técnicas para la elaboración de estudios de impacto. McGrawHill. Madrid.

CEOTMA-MOPU.

“Guía para la elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido. Metodología.
Manuales del Centro de Estudios de Ordenación del territorio. Medio Ambiente, 1ª reimpresión. Madrid, 1995.

CONESA FDEZ. - VÍTORA, V., 1997.

Guía metodológica para la evaluación de Impacto Ambiental.
Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, 1991.

Censo Nacional de Población y Vivienda. Buenos Aires.

MOPU, 1995.

Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental. 1.
Carreteras y Ferrocarriles. Madrid.

SMARDON, R.C.

Prototype Visual Impact Assessment Manual,
State University of New York, Syracuse, 1979

SUB-UNIDAD CENTRAL VIAL P.S.F. Y D.E.P.A., 1996.

Manual de Operaciones vol. III (Manual Ambiental para Obras Viales).
Ministerio del Interior. Buenos Aires.

SUBSECRETARÍA DE LA FUNCIÓN PÚBLICA, 1994.

Departamento Colón. Córdoba.



Hormigones con arenas de dolomías trituradas

Cabrera, Oscar ¹ - Cassinelli, Gustavo ² - Donza, Horacio ¹ - Menéndez, Gustavo ¹

Resumen

El presente trabajo analiza los aspectos geológicos y mineralógicos, y las propiedades físico-mecánicas de las dolomías de Sierras Bayas en el Partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. Además, aporta datos sobre el comportamiento de morteros y hormigones elaborados con arenas provenientes de la trituración de este tipo de rocas. Se analiza el efecto de diferentes tipos de aditivos químicos sobre el contenido de agua y la trabajabilidad de las mezclas frescas. Se han obtenido hormigones con propiedades mecánicas que pueden ser utilizados en la construcción de diferentes estructuras civiles, sometidas a un amplio rango de sollicitaciones. Estos hormigones presentan propiedades similares a aquellos elaborados con arena graníticas trituradas.

1. INTRODUCCIÓN

En el centro de la provincia de Buenos Aires, la producción de agregados pétreos de diferentes orígenes mineralógicos empleados en hormigones constituye una importante actividad económica. Para este tipo de uso, las rocas graníticas son las de mayor difusión y utilización. Por otra parte, la mayor parte de los estudios sobre hormigones realizados en nuestro país se basan en la utilización de arenas naturales de buena calidad, de partículas redondeadas y textura superficial lisa. En todas las regiones de nuestro país no hay disponibilidad de arenas de este tipo, y el costo del transporte incide fuertemente en el precio de la misma restringiendo su uso. Por ello, en una parte importante de la provincia de Buenos Aires es habitual el uso de arenas trituradas para la fabricación de hormigones, aún siendo que las mismas tengan un uso restringido por los reglamentos (CIRSOC 201, 1982).

La inclusión de arenas trituradas en hormigones presenta un comportamiento muy diferente al correspondiente a las arenas naturales. Los cambios en la cantidad de agua de mezclado, la terminación y la trabajabilidad de las mezclas son diferentes. Los mayores volúmenes de agua empleados modifican la estructura de la pasta haciéndola más débil y más permeable. Estas características resultan desfavorables para la resistencia y durabilidad del hormigón endurecido.

La pasta de cemento hidratada puede llegar a contener, de acuerdo con el grado de hidratación alcanzado, hasta un 11 y 37 % de poros capilares de dimensiones entre 0.10 μm y 5 μm (para relaciones agua/cemento entre 0.40 y 0.70, respectivamente). La parte sólida de la pasta está compuesta en un 50-60 % de silicato de calcio hidratado, del cual se asume que presenta un 28 % de poros (Mehta-Monteiro, 1993). La composición de la pasta se completa con aluminatos e hidróxidos de calcio. La porosidad total de la pasta se obtiene contabilizando los poros debidos a la compactación deficiente (de dimensiones del orden de 1-10 mm) y/o a los incorporados intencionalmente (60 μm -1 mm) para prevenir el efecto nocivo de los ciclos de congelación y deshielo. La permeabilidad depende del tamaño e inter

Recibido: 30 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 16 de Julio de 1999

1. Facultad de Ingeniería - U.N.C.P.B.A. - Del Valle 5737 (7400) - Olavarría
2. D.V.B.A. Subgerencia de Estudios y Proyectos - 7 y 56 (1900) - La Plata

conectividad de la estructura de poros del sólido. En la pasta de cemento endurecida la resistencia y la permeabilidad están relacionadas con la porosidad capilar. Entonces, la durabilidad del hormigón frente al ataque de fluidos agresivos desde el exterior se vincula también con la porosidad capilar, siendo la reducción de la "relación agua/cemento" una manera efectiva de controlar la durabilidad. Para condiciones severas de exposición la relación "agua/cemento" se limita como máximo a 0.40.

Los diferentes aditivos químicos y el reemplazo de un porcentaje de arena triturada por arena natural resultan de interés para mejorar las propiedades de los hormigones con agregados finos triturados. Sobre hormigones con arenas trituradas graníticas hemos efectuados un extenso programa de investigación (Cabrera-Irassar, 1991; Donza-Cabrera, 1995; Cabrera-Donza, 1999). En cambio sobre el comportamiento de hormigones con arenas dolomíticas trituradas existe escasa o nula información, y no se tiene conocimiento de su empleo en obras.

Estas rocas generalmente se usan con fines de ornamentación (pisos, revestimientos) y como material fundente en los altos hornos de siderurgia. Estudios anteriores sobre hormigones de alta resistencia elaborados con agregados gruesos dolomíticos han presentado resultados satisfactorios (Cabrera-Donza, 1995; Sarker, 1993), e indican su potencial comercialización en el rubro de los materiales de construcción.

En el presente estudio se analiza el comportamiento de hormigones estructurales con agregado fino dolomítico, en estado fresco y endurecido. Se analiza el efecto de diferentes aditivos químicos sobre la consistencia de morteros, en referencia a morteros con arenas naturales. En los hormigones, el efecto de la arena dolomítica se compara a las características de aquellos obtenidos con arenas naturales y graníticas.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y MINERALÓGICOS DE LAS DOLOMIAS

El material dolomítico empleado en este trabajo para la elaboración de morteros y hormigones consiste en una dolomia extraída en la cantera Dolomita S.R.L., ubicada en las Sierras Bayas de la localidad homónima del partido de Olavarría (provincia de Buenos Aires); la hoja topográfica correspondiente es "Sierra Chica", Buenos Aires. Hoja 760-15-4, escala 1:50.000. 1954. Las rocas dolomíticas pertenecen a las Sierras Septentrionales o de Tandilia. Estas conforman un núcleo de forma elíptica, con un recorrido de 330 Km y un ancho de hasta 50 Km, integrado por elevaciones de altura máxima cercana a los 500 m.s.n.m.. Separadas por fallas de orientación NO-SE, constituyen las Sierras de Mar del Plata o de Balcarce, Sierras de Tandil y Azul, Sierras de Olavarría y otras.

La estratigrafía del área es simple: un basamento

cristalino llamado Complejo Buenos Aires (*Di Paola-Marchese, 1974*), cubierto por una serie de sedimentitas que corresponden al Grupo Sierras Bayas (*Iñiguez et al, 1989*), que está integrado por las Formaciones Villa Mónica, que se compone de las Cuarcitas inferiores y Dolomias, Formación Cerro Largo con Psamopelitas, Cuarcitas Superiores y Pelitas; por último la Formación Loma Negra, conformada por calizas en su totalidad. Este grupo está cubierto por material loésico, cuaternario, alcanzando en su totalidad, unos 170 m de potencia.

Estas Tres Formaciones se apoyan entre sí en forma discordante, a su vez, este paquete sedimentario yace en contacto discordante con el basamento cristalino. Con respecto a la edad del basamento, es Precámbrica, y la del Grupo Sierras Bayas alcanza al Precámbrico superior. La secuencia mencionada corresponde a una depositación en un ambiente de plataforma que se repite en el área de Barker. Las rocas dolomíticas, tema de este trabajo, pertenecen a la formación Villa Mónica. El espesor del horizonte dolomítico llega a los 36 m. Sus asomos no son continuos ya que en las partes bajas se halla oculto por acarreo de falda. En ellos la dolomia se muestra como una roca dura y compacta, de fractura irregular y de color gris a castaño oscuro, y sin estratificación visible.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Estudios y ensayos de laboratorio de las dolomías

Previamente a la elaboración de morteros y hormigones, las muestras del material dolomítico fueron sometidas a estudios petrográficos, físico-mecánicos y granulométricos para determinar su calidad, respetando las normas de Vialidad de la Nación y de la Provincia de Buenos Aires. El muestreo realizado se extendió en todo el frente de la cantera, y si bien este muestreo no es sistemático, el mismo tuvo por objetivo la obtención de información sobre comportamiento de todo el acopio y no de un modo puntual. La muestra de roca triturada para los estudios previos fue de 600 kg. y en cada ensayo se redujo por cuarteo hasta la obtención del volumen de material indicado por las normas respectivas.

TABLA I: ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS DE LA DOLOMÍA

Características / Propiedades	Valor obtenido
Peso específico saturado a superficie seca	2,785 g/cm ³
Durabilidad por ataque por sulfato de sodio	0,90 - 1,05 %
Absorción	0,90 - 1,10 %
Desgaste Los Angeles (Gradación "B")	20 %
Factor de cubicidad	0,80
Indice de plasticidad	No plástico
Equivalente arena	64 %

Las dolomías estudiadas son de color castaño amarillento y de grano fino a muy fino. Presenta estructura maciza con cierto bandeamiento o estratificación poco marcada, se trata de rocas compactas, sin alteración. Sometida a golpes efectuados mecánicamente se fractura en forma irregular. Al microscopio petrográfico se observa una textura esparítica, constituida por secciones subhedralas o euhedralas de dolomita con un tamaño medio de 150 μm . Se observan, además, sectores donde el tamaño de las secciones alcanza 250 μm . Distribuidas intersticialmente en la roca se presentan muy escasas (menos del 4 %) secciones anhedralas de cuarzo límpido. Como mineral accesorio siempre aparece la sílice (bajo forma de cuarzo) en proporciones variables nunca menor al 2 % y como máximo hasta el 10 % - 13 %. Además es posible observar escasas grietas irregulares, rellenas por dolomita recristalizada y óxidos de hierro. No se observó microfisuración y se clasifica al material como "Dolomía esparítica". En la tabla I se indica los resultados de los ensayos físico-mecánicos realizados.

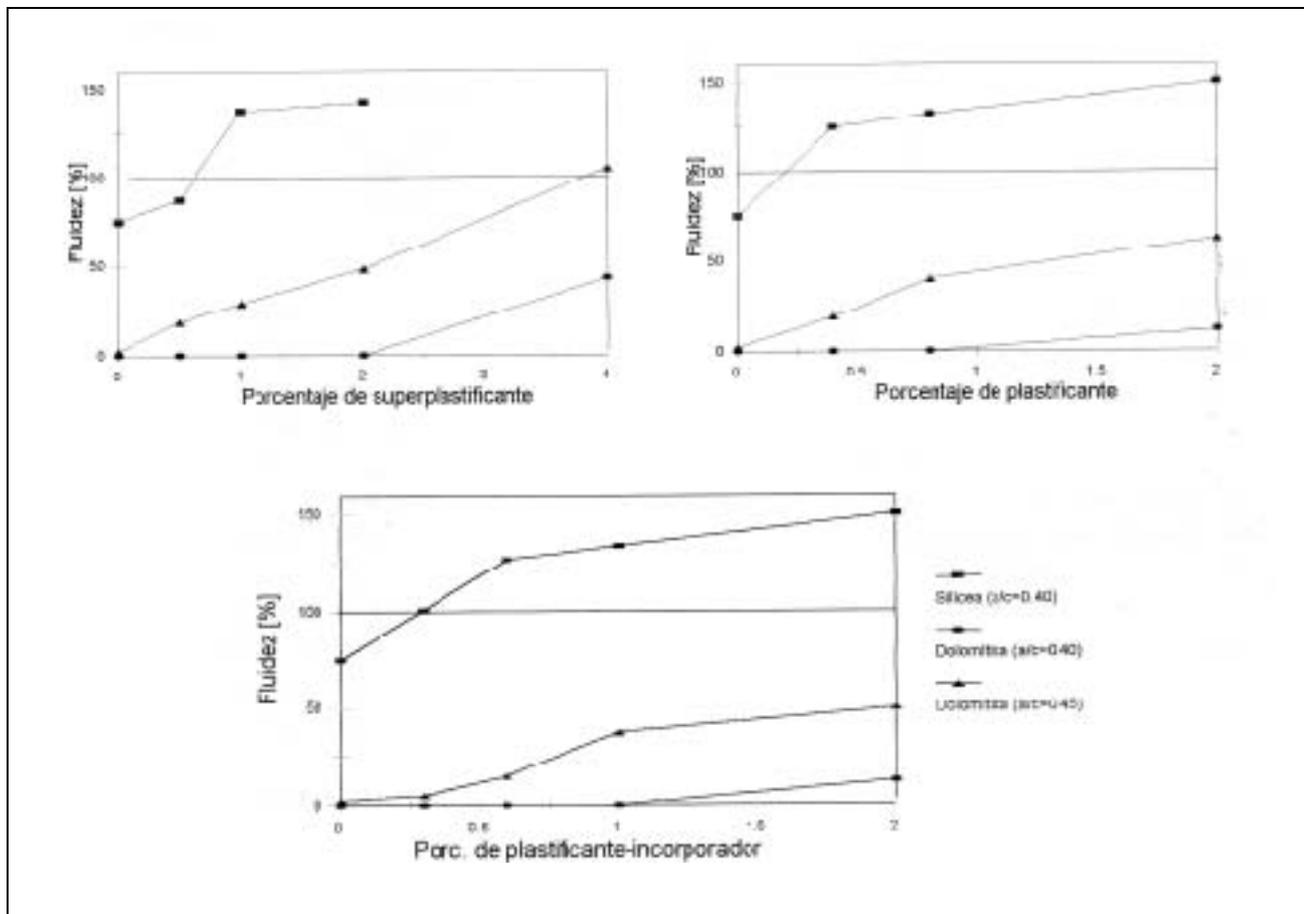
3.2. Estudios sobre morteros de arena dolomítica

El principal problema que se enfrenta el ingeniero

en su decisión de emplear arenas trituradas es el alto consumo de agua de mezclado y/o pasta de cemento. De acuerdo con la importancia de la estructura, un mayor volumen de agua puede llevar necesariamente a la búsqueda de alternativas para optimizar y asegurar la calidad del hormigón. Los aditivos químicos, reductores de agua e incorporadores de aire, presentan una solución que se contempla en los reglamentos (CIRSOC 201, 1982). Actualmente los superfluidificantes han tenido un desarrollo y aceptación importante que ha desplazado al uso de los reductores de agua. Estos aditivos a través de modificaciones de la tensión superficial, neutralización de las cargas de las partículas de cemento o por la inclusión de pequeñas burbujas de aire que incrementan el volumen de pasta, mejoran la lubricación que ejerce la pasta a las partículas de agregado.

No siempre los resultados en morteros y hormigones con arenas trituradas los aditivos químicos presentan resultados adecuados. Generalmente, los fabricantes establecen dosis máximas a fin de controlar efectos secundarios indeseables como son la exudación, el retardo del fraguado y de la adquisición de resistencia a edades tempranas, etc.

FIGURA 1: ESTADO FRESCO DE LOS MORTEROS CON ARENAS NATURAL Y DOLOMÍTICA



Las partículas de la arena dolomítica resultan ser más elongadas, con una textura más rugosa y con un tamaño de grano menor a las de arena granítica. La diferencia de las características físicas se observa en un mayor porcentaje de vacíos entre las partículas de arena que se calcula el peso unitario.

Para analizar el comportamiento de los aditivos químicos sobre morteros y hormigones con arena dolomítica triturada se utilizaron tres aditivos: un superplastificante, un plastificante y un plastificante-incorporador de aire, con dosis recomendadas por los fabricantes, en % respecto al peso de cemento, de: 0.8-2, 0.40 y 0.30 %, respectivamente.

Las características de las arenas empleadas se indican en la tabla II, y los morteros con arena natural silíceo se utilizan como referencia. El cemento empleado es el mismo con el que se elaboraron los hormigones del punto 3.3. Los morteros fueron diseñados con una proporción “cemento: arena”, en peso, de 1:3. El efecto del aditivo se analizó a través del ensayo de fluidez (norma IRAM 1570), que permite medir el desplazamiento del mortero en estado fresco ante la energía entregada por la caída libre (12,7 mm) de la mesa de asentamiento. Los morteros de referencia se elaboraron con una relación “agua/cemento” en peso de 0.40. Con arena dolomítica se realizaron dos series con relaciones a/c de 0,40 y 0,45. Las cantidades de aditivos superaron ampliamente los máximos recomendados.

Los resultados de los estudios de fluidez de los morteros se informan a través de tres gráficos agrupados en la figura 1. En esta se observa que el mortero con arena natural sin aditivos presenta una fluidez del 75 %, y con la incorporación de los tres tipos de aditivos en las dosis recomendadas, siempre se supera una fluidez del 100 %. Con esta fluidez los morteros resultan plásticos y cohesivos. Por otra parte, la presencia de los aditivos en los morteros con arena dolomítica, con relación “agua/cemento” de 0.40, no mejora la fluidez de las mezclas que se mantienen con escasa cohesión. Por este motivo, se elaboró otra serie con mayor contenido de agua (a/c=0.45), en la cual los aditivos mostraron un importante efecto sobre la fluidez respecto a las mezclas sin aditivos. A modo de comparación, el aditivo más efectivo al igual que en otros morteros con arenas graníticas trituradas, resultó ser el superplastificante (Donza-Cabrera, 1995).

Se concluye que para lograr morteros, y por ende hormigones, con suficiente fluidez es necesario utilizar un contenido de agua y una dosis de aditivo mayores respecto a aquellos que contienen arena natural. Resulta necesario efectuar un ajuste de las dosificaciones previo a la elaboración de los hormigones, y establecer si la mayor dosis de aditivo no trae aparejado efectos secundarios nocivos.

TABLA II: GRANULOMETRÍA (EN % RETENIDO) Y CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS FINOS

Tamiz	Agregados Finos	
	Dolomítico	Silíceo
4.75 mm	3	1
2.36 mm	39	12
1.18 mm	63	51
600 µm	73	74
300 µm	78	96
150 µm	82	100
- Polvo (<75µm)	13.3	0
- Módulo de Finura	3.38	3.34
- Densidad	2.77	2.64
- Vacíos (%)	38	33

3.3. Estudios sobre hormigones de arena dolomítica

Hormigones en estado fresco

El estado fresco del hormigón reviste importancia en cuanto a que en este período el material debe ser transportado, colocado y compactado. La consistencia de la mezcla debe permitir obtener un material en estado endurecido poco poroso, con una energía de compactación normal. Además, lograr recubrir y proteger las armaduras del medio al que se encuentran expuestas.

Las relaciones “agua/cemento” y “agregado/cemento” junto con el contenido de agua son las variables que gobiernan la movilidad de la mezcla. Para un grupo de agregados el contenido de agua se relaciona con el asentamiento, quién resulta ser una medida de la consistencia del hormigón. En la tabla III se observan la relación de estos parámetros en hormigones con arena dolomítica triturada y se los compara con otros elaborados con arena granítica triturada (Cabrera-Irassar, 1991) y con arena natural (ACI 211, 1997). El consumo de agua para ambas arenas trituradas es similar, y estas se diferencian notablemente con aquellos correspondientes a los hormigones con arenas naturales. En términos generales, del análisis de los valores obtenidos se desprende que es necesario incrementar 25 kg/m³ de agua en los hormigones con arenas trituradas, que se puede considerar como un 2,5 % adicional de poros en el material endurecido. Los hormigones estudiados resultaron cohesivos, aunque aquellos elaborados con un contenido unitario de cemento de 350 Kg/m³, poseían una terminación áspera.

Hormigones en estado endurecido

La resistencia a compresión del hormigón permite efectuar la clasificación del material y seleccionar el más

TABLA III: CONSUMO DE AGUA (Kg/m³) VS. ASENTAMIENTO (mm)

Asentamiento	Consistencia	Hormigones elaborados con arenas		
		Dolomítica	Granítica	Natural
5 - 50	Seca	200-218	215	190
75 - 100	Plástica	225-230	225	205
150 - 175	Fluída	248	240	216

adecuado para una determinada estructura civil. El criterio de resistencia no es completo en cuanto a que la selección del material también debe efectuarse con criterios de durabilidad. Esta está relacionada con la resistencia a través de la porosidad y permeabilidad del hormigón. Como control de calidad en las obras convencionales la resistencia a compresión es el ensayo indiscutido.

En los hormigones convencionales la resistencia generalmente esta gobernada por la resistencia de la pasta de cemento, siendo la relación agua/cemento la variable más importante en este caso. El agregado grueso y la interfaz pasta-agregado tienen un rol de menor importancia. El agregado fino, de acuerdo con su tamaño, forma y textura superficial influye fuertemente sobre la cantidad y calidad de pasta de cemento, ya que define el contenido de agua. Por ende el estudio de las alternativas tecnológicas que dispone el ingeniero para controlar estas últimas

variables reviste importancia.

Los hormigones con arena dolomítica se elaboraron con un cemento portland con una resistencia a compresión de 31MPa (similar a un cemento normal) y como agregado grueso se empleó una piedra partida granítica 6-20 mm. Las probetas cilíndricas de 150 x 300 mm se conservaron en agua saturada con cal a una temperatura de 20±2 °C. Las dosificaciones estudiadas y los resultados de las propiedades mecánicas se detallan en las tablas IV y V, respectivamente. Los hormigones en estudio no contienen ningún aditivo químico.

Los resultados se compararon con otros obtenidos utilizando un cemento de características similares y con un agregado fino, consistente en una arena granítica triturada con un módulo de finura de 2.71 (Cabrera-Donza-Garay, 1993). Para las relaciones “agua/cemento” estudiadas, el comportamiento de la arena dolomítica desde el punto

TABLA IV: DOSIFICACIONES (Kg/m³) DE HORMIGONES CON AGREGADO FINO DOLOMÍTICO

Materiales/Propiedades	Hormigones		
	0.64	0.58	0.50
Cemento portland	350	400	450
Agua	225	230	225
Arena dolomítica	762	705	674
Agregado grueso	1030	1030	1030
Relación “agua/cemento”, en peso	0.64	0.58	0.50

TABLA V: PROPIEDADES MECÁNICAS DE HORMIGONES CON AGREGADO FINO DOLOMÍTICO

Resistencia a Compresión, MPa.	Relación “Agua/Cemento”, en peso		
	0.64	0.58	0.50
Hormigón c/arena dolomítica	26.6	31.7	36.
Hormigón c/arena granítica	25.3	28.5	33.2
ACI 211 - 1997	23.0	26.5	33.0
Módulo de Elasticidad, GPa.			
Hormigón c/arena dolomítica	27.7	31.7	32.1
Hormigón c/arena granítica	26.5	28.2	30.3

de vista resistente es muy similar al caso en que se empleó arena granítica, con un incremento favorable del orden del 8 %. Además, se efectuó la comparación de los valores de resistencia obtenidos con aquellos correspondientes a la curva “resistencia-a/c” del ACI 211, y los hormigones con arena dolomítica también muestran una resistencia superior.

Respecto al módulo de elasticidad, los hormigones con arena dolomítica triturada presentan un módulo ligeramente superior que aquellos elaborados con arena granítica, siendo el incremento del mismo orden que en el caso de la resistencia a compresión.

Los análisis realizados establecen la posibilidad del empleo de dolomías trituradas como agregado fino para el hormigón de cemento portland. Recordando que la calidad final de la estructura no sólo dependerá de la calidad del hormigón, sino también del control del proyecto, ejecución y mantenimiento de la misma.

4. CONCLUSIONES

Los estudios y experiencias llevadas a cabo en el presente trabajo establecen las siguientes conclusiones:

- El consumo de agua de los hormigones con arena dolomítica triturada resultó ser similar al correspondiente a hormigones elaborados con agregado fino granítico triturado. En ambos tipos de hormigones, se determinó un incremento del orden de 25 kg/m³ respecto a los hormigones con arena natural, de partículas redondeadas y textura lisa.
- El efecto de los aditivos químicos, plastificante-incorporador y superfluidificante, resultan ser pocos efectivos cuando se emplean las dosis recomendadas. Es necesario incrementar esta dosis fuertemente para obtener una mejora en la fluidez de la mezcla.
- La resistencia a compresión de los hormigones con agregado fino dolomítico es similar a la correspondiente a hormigones con arena granítica, con un leve incremento del orden del 8 %.
- El módulo de elasticidad de los hormigones con arenas provenientes de la trituración de dolomías, respecto a aquellos que contiene arena de origen granítico, tienen un comportamiento similar al observado en la resistencia a compresión.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ACI 211 -

Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete - (1997)

CABRERA, O. - IRASSAR,

E. “Empleo de Arena Triturada en Hormigones Estructurales”

Proc. XXV Jornadas Sul-americanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre - RS - Brasil - Tomo 4 - Pág. 73-82 - (1991)

CABRERA, O. - DONZA, H. - GARAY, J.

“Ambito de Aplicación de los Hormigones con Arena Triturada”

Proc. 11 Reunión Técnica AATH - Córdoba - Tomo 1 - Pág. 379-392 - (1993)

CABRERA, O. - DONZA, H.

“Influence of Fine Aggregate Mineralogy on Mechanical Properties of High-Strength Concrete”

II International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concretes Structures (ACI-CANMET) Gramado, Brasil - (1999)

DI PAOLA, E. - MARCHESE, H.

“Relación entre la Tectosedimentación, Litología y Mineralogía de Arcillas del Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta”

Rev. Asoc. Arg. Min. Pet. Sed.. V, 3-4 Bs.As. - (1974)

DONZA, H. - CABRERA, O.

“Hormigones de Alta Resistencia con Agregados Totales Triturados”

Proc. XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Tucumán - Vol. 5 - Pág. 125-136 - (1995)

IÑIGUEZ, A. - DEL VALLE, A. - POIRÉ, D. - SPALLETTI, L. - ZALBA, P.

“Cuenca Precámbrica/Paleozoica Inferior de Tandilia, Provincia de Buenos Aires”

Cuencas Sedimentarias Argentinas- (1989)

SARKER, S.

“Performance of High-Strength Field Concrete at 7 Years”

Concrete International pp 39-42 - (January 1993)

MEHTA, K. - MONTEIRO, P.

“Concrete: Structure, Properties and Materials”

Ed. Prentice Hall - (1993)

REGLAMENTO CIRSOC 201

“Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado”

Ed. INTI - (1982)



Evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación utilizando un modelo entidad - relación adaptado a la tecnología de los SIG

Campanella, Osvaldo ¹ - Sagripanti, Guillermo - Origlia, H. Daniel - Frascetti, Guillermo - Daniele, Marcela

Resumen

La incorporación de tecnologías basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha demostrado ser muy útil para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación, a partir de las funciones que poseen las herramientas SIG para analizar la gran cantidad de datos requeridos en estudios geohidrológicos, evitar la redundancia de datos, e identificar errores e inexactitudes que en estos tipos de datos están generalmente presentes. El diseño de los modelos conceptual y lógico adaptado a la teoría de bases de datos relacionales es un estado importante para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos utilizando herramientas SIG. El propósito de este artículo es describir un nuevo método de utilización de tecnologías SIG con modelos de entidad-relación para determinar la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación. El modelo necesario para determinar la vulnerabilidad del acuífero requiere la definición de 14 entidades y la identificación de las relaciones existente entre ellas. Los resultados de un modelo de entidad-relación configuran la entrada del modelo cartográfico, el cual usa la potencia de múltiples funciones de un sistema SIG para determinar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. Las ventajas de determinar la vulnerabilidad del acuífero utilizando un modelo de entidad-relación son: bajo costo y fácil implementación. El método propuesto en este trabajo no tiene en cuenta casos particulares como la determinación de la vulnerabilidad del acuífero en los casos en que: a) la polución producida por la acción de contaminantes agroquímicos; b) el acuífero bajo estudio posea afluentes provenientes de lagos o surgentes.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de tecnologías SIG es una herramienta poderosa en estudios geoambientales. Estos requieren de las múltiples funciones de los SIG para analizar y modelar los resultados del estudio y producir cartografía temática. Dado que la mayoría de los SIG utiliza formatos de datos propios, se presenta con frecuencia el problema de la falta de compatibilidad y portabilidad de los datos producidos por un SIG determinado al querer combinarlo con información

producida por algún otro producto. El diseño de los modelos conceptuales y lógico tomados de la teoría de bases de datos relacionales es un paso importante para la correcta operación de estudios geoambientales basados en tecnologías SIG. Los mismos proporcionan las siguientes ventajas:

1. Operar independientemente con bases de datos externas;
2. Generar, consultar, actualizar datos desde cualquier aplicación externa que utiliza cualquier herramienta SIG;
3. Disminuir redundancia entre datos cargados en sistemas que no posean una estructura de base de datos;
4. Evitar inconsistencia en los datos impidiendo que el mismo dato sea ingresado o actualizado de distintas

Trabajo post-simposio

Entregado: 13 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 25 de Octubre de 1999

¹.Departamento de Geología. U.N. Río Cuarto.
Agencia Postal 3. 5800. Río Cuarto. Argentina.
email: ocampanella@exa.unrc.edu.ar

2. DISEÑO DEL MODELO PROPUESTO

El modelo está formado por un modelo cartográfico que utiliza una herramienta SIG para determinar la vulnerabilidad potencial de un acuífero. Los datos necesarios para el modelo cartográfico provienen del modelo de entidad-relación que es utilizado para calcular valores espaciales y no espaciales clasificados e interpolados mediante funciones incorporadas en la herramienta SIG utilizada para representar el modelo cartográfico. Cada entidad espacial se corresponde con un mapa. Se utilizan tablas no espaciales para calcular valores espaciales y no espaciales en el modelo de entidad-relación. Se utilizaron las siguientes premisas al definir el modelo:

- El carácter hidráulico del acuífero es considerado uniforme para toda el área de estudio, y se representa mediante polígonos cerrados.
- Los datos referidos a la distancia al agua se obtienen de determinaciones piezométricas o también pueden ser ingresados directamente como polígonos. En el primer caso, se utiliza la interpolación para definir

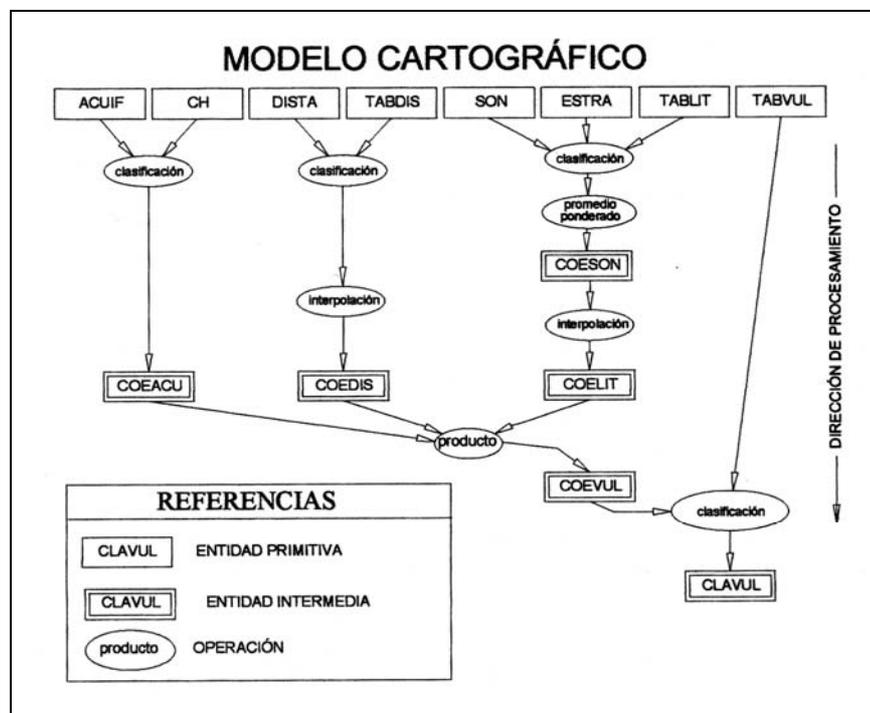
polígonos de igual distancia al agua alrededor de los puntos medidos.

- Los datos relacionados con la litología de la zona no saturada, son obtenidos de sondeos o perfiles expuestos o mapas litológicos. Dado que más de una litología puede estar presente en un determinado perfil, y que esa litología puede estar repetida en el perfil, se define una relación de muchos a muchos entre las entidades de sondeos y de litologías. Al igual que con la distancia al agua, los datos referidos a la litología pueden ingresarse directamente como polígonos.
- El diseño del modelo debería ser lo mas completo posible para poder incluir la mayor cantidad de análisis. En otras palabras, el diseño de este modelo debe acordarse para resolver otros problemas geoambientales.

3. MODELO CARTOGRÁFICO

Como se muestra en la figura 2, el procedimiento descripto para el uso del modelo cartográfico consta de:

FIGURA 2: MODELO CARTOGRÁFICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD



Respecto al carácter hidráulico del acuífero

Es considerado uniforme para toda el área de estudio y es representado mediante polígonos. Los datos son ingresados en la entidad espacial ACUIF, y utilizando una función de clasificación, codificados según los códigos de identificación que cada carácter hidráulico tiene asignado en la entidad CH, obteniendo la entidad espacial COEACU, que señala el coeficiente que le corresponde a este acuífero según su carácter hidráulico.

Respecto a la distancia al agua

Los datos son ingresados en la entidad DISTA, y utilizando un proceso de clasificación, codificado de acuerdo con la entidad TABDIS. Dependiendo de si los datos han sido ingresados como puntos o como polígonos, hay dos vías diferentes de procesamiento. Si los datos son puntuales, se realiza un proceso de interpolación que genera polígonos alrededor de la ubicación de la determinación piezométrico dando como resultado la entidad espacial COEDIS, la cual indica el coeficiente correspondiente a este acuífero para cada determinación piezométrica. Si los datos son polígonos, la entidad COEDIS es generada directamente mediante digitalización.

Respecto a la litología

Los datos relacionados a la litología de la zona no saturada puede ser obtenida de dos posibles fuentes: a) perforaciones de exploración o perfiles, donde los datos de ubicación de cada perforación o perfil son cargados en la entidad espacial SON; o b) mapas litológicos con lo

polígonos trazados. En el primer caso (a), debido al hecho que más de una litología puede estar presente en cada sondeo de exploración, y que una litología determinada puede estar presente más de una vez en un determinado sondeo, se genera una relación de muchos a muchos. Esta situación es resuelta generando la entidad ESTRA que mapea las ocurrencias de una determinada litología por sondeo y tipo de litología a través de la entidad TABLIT. Una función incluida en el SIG permite obtener el promedio ponderado del coeficiente por litología para cada sondeo o perfil. Ya que los datos son puntuales, se lleva a cabo un proceso de interpolación que genera polígonos alrededor de cada sondeo o perfil dando como resultado la entidad espacial COELIT, que indica el coeficiente por litología. En el segundo caso (b), los polígonos con los datos litológicos son digitalizados directamente en la entidad COELIT.

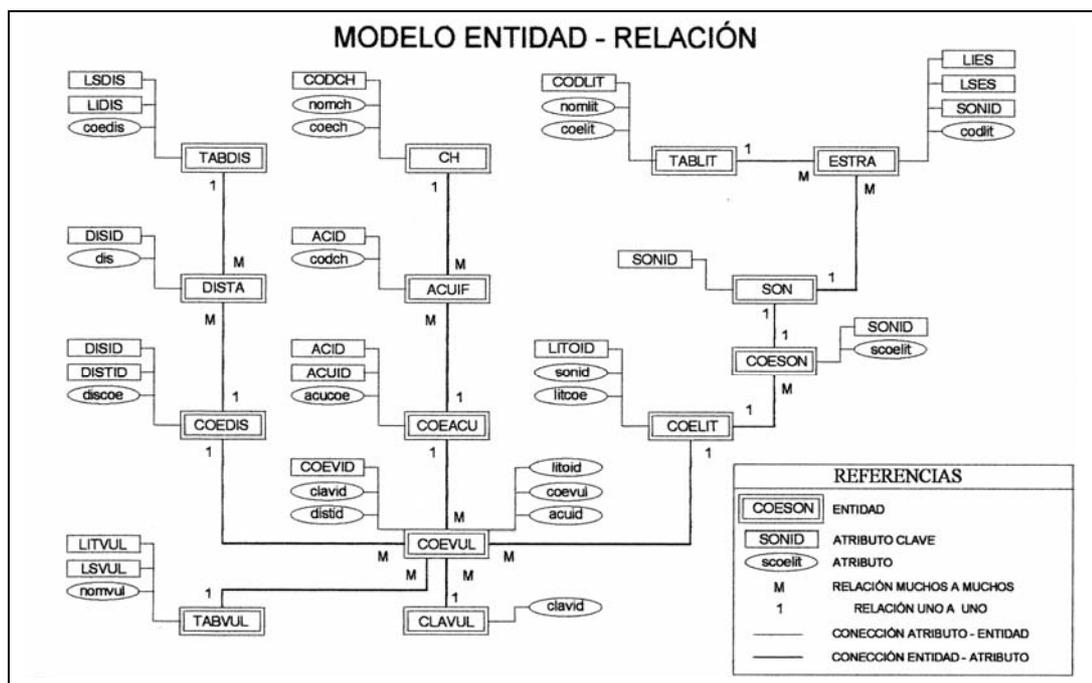
Vulnerabilidad

Por último, se lleva a cabo el producto simple de los coeficientes COEACU, COEDIS y COELIT obteniéndose la entidad espacial COEVUL. Esta entidad es clasificada con la entidad TABVUL obteniéndose el resultado final CLAVUL que es una entidad espacial que expresa, por medio de polígonos, la distribución espacial de las clases de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero.

4. MODELO ENTIDAD - RELACIÓN

El modelo de evaluación de la vulnerabilidad del acuífero fue diseñado usando como eje el modelo entidad - relación mostrado en la Figura 3.

FIGURA 3: MODELO ENTIDAD - RELACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS



5. MODELO LÓGICO

Los resultados del modelo lógico son usados en el modelo cartográfico para evaluar la vulnerabilidad del acuífero. El modelo lógico consiste de un conjunto de entidades espaciales y no espaciales. Las entidades espaciales contienen puntos o polígonos que son construidas por el SIG y las entidades no espaciales no están determinadas por su localización en el área de estudio.

Referencias:

NOMBRE DE LA ENTIDAD	
NOMBRE DEL ATRIBUTO	
Tipo de variable	.N: Numérico CHR: Caracter
Longitud de los enteros, longitud de los decimales	
PK :	Llave primaria
FK :	Llave foránea
- :	Atributo no clave

TABDIS		
LIDIS	LSDIS	COEDIS
N	N	N
3.2	3.2	1.4
PK	-	-

Tabla: 1a

DISTA	
DISID	DIS
N	N
3.0	3,2
PK	FK

1b

COEDIS		
DISTID	DISID	DISCOE
N	N	N
3.0	3.0	1.4
PK	FK	-

1c

TABDIS

Es una entidad no espacial. Sus atributos son los límites inferior y superior (LIDIS y LSDIS actuando juntos como llave primaria) y el coeficiente por distancia (COEDIS) asignado a ese intervalo. Su cardinalidad es cinco ya que el modelo original "puro" identifica cinco clases. Ver tablas 1a y 6a.

DISTA

Es una entidad espacial que representa la distancia lineal asumida entre cada punto de la superficie y el límite superior del acuífero. Sus atributos son la llave primaria

(DISID) del sitio de la determinación piezométrica y la distancia al agua (DIS). Su cardinalidad estará dada por el número de ensayos piezométricos empleados. Ver tabla 1b.

COEDIS

Es una entidad espacial. Sus atributos son: La llave primaria (DISTID), la llave foránea que mapea la interrelación entre COEDIS y DISTA (DISID) y el valor del coeficiente asignado por distancia al agua (DISCOE). Cada polígono contiene el valor asignado. Esta entidad es obtenida a partir de la clasificación de DISTA mediante TABDIS. Su cardinalidad es la misma de la entidad DISTA. Ver tabla 1c.

CH		
CODCH	NOMCH	COECH
CHR	CHR	N
3	30	1.4
PK	-	-

Tabla: 2a

ACUIF	
ACID	CODCH
N	CHR
3.0	3
PK	FK

2b

COEACU		
ACUID	ACID	ACUCOE
N	N	N
3.0	3.0	1.4
PK	FK	-

2c

CH

Es una entidad no espacial. Sus atributos son la llave primaria (CODCH), la descripción del carácter hidráulico del acuífero (NOMCH) y el coeficiente correspondiente a ese carácter (COECH). Su cardinalidad es seis, ya que el modelo conceptual "puro" identifica seis clases. Ver tablas 2a y 6b.

ACUIF

Es una entidad espacial que representa el carácter hidráulico del acuífero. Sus atributos son: la llave primaria

(ACID) y el código del carácter hidráulico del acuífero (CODCH). Su cardinalidad estará dada por el número de polígonos que se formen. Ver Tabla 2b.

COEACU

Es una entidad espacial. Sus atributos son: la llave primaria (ACUID), la llave foránea que mapea la interrelación entre COEACU y ACUIF (ACID) y el coeficiente correspondiente al carácter hidráulico del acuífero (ACUCOE). Es obtenida por la clasificación de ACUIF por medio de CH. Su cardinalidad es igual a la de la entidad ACUIF. Ver tabla 2c.

TABLIT		
CODLIT	NOMLIT	COELIT
CHR	CHR	N
5	30	1.4
PK	-	-

Tabla: 3a

SON
SONID
CHR
5
PK

3b

COESON	
SONID	SCOELIT
CHR	N
5	1.4
PK	-

3c

ESTRA			
LISS	LSES	SONID	CODLIT
N	N	CHR	CHR
3.2	3.2	5	5
	PK		FK

Tabla: 4a

COELIT		
LITOID	SONID	LITCOE
N	CHR	N
3.0	5	1.4
PK	FK	-

4b

TABLIT

Es una entidad no espacial. Sus atributos son: El código por litología -la llave primaria- (CODLIT); el nombre de la litología (NOMLIT); y el coeficiente correspondiente a esa litología (COELIT). Su cardinalidad es dieciseis, ya que el modelo conceptual "puro" identifica dieciseis clases. Ver tablas 3a y 7.

SON

Es una entidad espacial que representa la posición de cada sondeo de exploración o perfil con un único atributo (SONID) y actuando como llave primaria. Su cardinalidad estará dada por el número de sondeos y/o perfiles observados llevados a cabo en el área de estudio. Ver tabla 3b.

ESTRA

Es una entidad no espacial que interrelaciona las entidades SON (a través del atributo SONID) y TABLIT (a través del código de litología CODLIT). Contiene los límites superior e inferior del estrato (LSES y LISS), y las llaves foráneas SONID y CODLIT. La llave primaria para

esta entidad son los atributos LISS, LSES y SONID actuando en conjunto. Su cardinalidad será la suma de estratos observados en cada sondeo de exploración o perfil. Ver tabla 4a.

COESON

Es una entidad espacial que contiene datos referidos a un punto. Sus atributos son: La llave primaria (SONID) y el coeficiente asignado por litología para todo el sondeo (SCOELIT). Este es el promedio ponderado de los coeficientes por litología según el espesor obtenido de las entidades SON, ESTRA y TABLIT. Su cardinalidad es igual a la de la entidad SON. Ver tabla 3c.

COELIT

Es una entidad espacial. Sus atributos son la llave primaria (LITOID), la llave foránea que mapea la interrelación entre COELIT y COESON (SONID) y el valor del coeficiente asignado por litología (LITCOE). Es obtenido por un proceso de interpolación de COESON. Su cardinalidad estará dada por el número de polígonos que se formen. Ver Tabla 4b.

CLAVUL							COEVUL			TABVUL		
CLAVID	COEVID	CLAVID	DISTID	LITOID	ACUID	COEVUL	LIVUL	LSVUL	NOMVUL			
CHR	N	CHR	N	N	N	N	N	N	CHR			
3	3.0	3	3.0	3.0	3.0	1.4	1.4	1.4	30			
PK	PK	FK	FK	FK	FK	-		PK	-			

Tabla: 5a

5b

5c

CLAVUL

Es una entidad espacial. Su atributo es la llave primaria (CLAVID). Es obtenido por clasificación de COEVUL mediante TABVUL. Su cardinalidad estará dada por el número de polígonos que se formen. Ver Tabla 5a.

COEVUL

Es una entidad espacial. Sus atributos son: La llave primaria (COEVID), las llaves foráneas a las entidades relacionadas COEDIS, COEACU, COELIT, y CLAVUL (DISTID, ACUID, LITOID y CLAVID) y el valor del coeficiente asignado por vulnerabilidad (COEVUL). Es obtenido por el producto simple de COEACU, COEDIS y COELIT. Su cardinalidad estará dada por el número de

polígonos que se formen. Ver Tabla 5b.

TABVUL

Es una entidad no espacial. Sus atributos son: El intervalo de vulnerabilidad correspondiente, actuando en conjunto como llave primaria (LIVUL y LSVUL) y el nombre de vulnerabilidad (NOMVUL). Su cardinalidad es seis, ya que el modelo conceptual "puro" identifica seis clases. Ver Tablas 5c y 8.

Para facilitar la lectura, la composición de las entidades no espaciales TABDIS, CH, TABLIT y CLAVUL son listadas abajo, de acuerdo al modelo "puro" de evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación de *Foster e Hirata (op. cit)*.

TABDIS		
LIDIS	LSDIS	COEDIS
0.00	5.00	0.9000
5.01	20.00	0.7000
20.01	100.00	0.5000
100.01	10000.00	0.3000

Tabla: 6a

CH		
CODCH	NOMCH	COECH
NON	Ninguno	0.0000
SUR	Confinado artesiano	0.1000
CON	Confinado	0.2000
SCO	Semi-Confinado	0.4000
NOC	Semi-inconfinado (cubierto)	0.6000
LIB	No confinado	1.0000

6b

TABLIT		
CODLIT	NOMLIT	COELIT
NCARG	No consolidado (sedimentos) - arcillas	0.3000
NCSUE	No consolidado (sedimentos) - suelos residuales	0.4000
NCALU	No consolidado (sedimentos) - limos aluviales - loess	0.5000
NCAGL	No consolidado (sedimentos) - arenas eólicas	0.6000
NCEOL	No consolidado (sedimentos) - arenas y gravas glaciales y fluvio-glaciales	0.7000
NCCOL	No consolidado (sedimentos) - gravas coluviales	0.8000
CPCLA	Consolidado (rocas porosas) - limolitas	0.6000
CPLUT	Consolidado (rocas porosas) - esquistos	0.5000
CPLIM	Consolidado (rocas porosas) - limolitas	0.6000
CPTOB	Consolidado (rocas porosas) - tobas volcánicas	0.6500
COSAN	Consolidado (rocas porosas) - areniscas	0.7000
COCAL	Consolidado (rocas porosas) - yeso	0.8000
COCSA	Consolidado (rocas porosas) - limolitas - calcarenitas	0.9000
CDIMA	Consolidado (rocas densas) - formaciones ígneo - metamórfica + volcánicas viejas	0.6000
CDVOL	Consolidado (rocas densas) - lavas recientes	0.8000
CDCAL	Consolidado (rocas densas) - toscas + otras limolitas	0.9500

Tabla: 7

TABVUL		
LIVUL	LSVUL	CLAVUL
	0.0000	Ninguna
0.0001	0.1000	Despreciable
0.1001	0.3000	Bajo
0.3001	0.5000	Moderado
0.5001	0.7000	Alto
0.7001	1.0000	Extremo

Tabla: 8

4. CONCLUSIONES

Las características sobresalientes del modelo aquí propuesto son:

- Se trata de una metodología de bajo costo, debido a que los datos de entrada usualmente ya están disponibles. Por otra parte, los datos son utilizables en otras aplicaciones.
- Es fácil de implementar en cualquier aplicación SIG que soporte modelos de bases de datos relacionales.
- No está preparado para soportar casos particulares tales como la evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos en el caso de contaminación por agroquímicos donde las propiedades de la capa edafizada son relevantes.

- No está preparado para soportar el caso en que lagos o corrientes de agua superficiales se comporten como efluente o influente del acuífero.

Estudios subsiguientes sobre la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación deberían concretarse a fin de poder comparar los análisis efectuados con la tecnología de los SIG y con los métodos manuales tradicionales.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto y al Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Provincia de Córdoba por el soporte financiero para llevar a cabo los proyectos de investigación que hicieron posible este trabajo.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BLARASIN, MÓNICA, ADRIANA CABRERA, MÓNICA VILLEGAS, CECILIA FRIGERIO AND SUSANA BETTERA. 1996. "Groundwater contaminated with effluents of in situ septic tanks systems (cesspools)". *Environmental Hydrology Report. ISSN 1067-3997. Hydroweb@internetcni.com.*
- BLARASIN, MÓNICA, ADRIANA CABRERA Y OSVALDO CAMPANELLA. 1993. "Mapa de vulnerabilidad del acuífero libre de la cuenca del arroyo Las Cortaderas, Río Cuarto, Córdoba". *Publicación especial de las I Jornadas de Preparación y Uso de Mapas Temáticos, Córdoba, Argentina. pp 186-202.*
- BLARASIN, MÓNICA, CARLOS ERIC, CECILIA FRIGERIO Y SUSANA BETTERA, 1993. "Determinación del riesgo a la contaminación del acuífero libre por sistemas de saneamiento in situ de la ciudad de Río Cuarto, provincia de Córdoba, Argentina". *Publicación especial de las I Jornadas de Preparación y Uso de Mapas Temáticos, Córdoba, Argentina. pp 114-132.*
- CABRERA, ADRIANA Y MÓNICA BLARASÍN. 1993. "Estudio Geohidrológico de la cuenca del arroyo Las Cortaderas, Río Cuarto, Córdoba". *XII Congreso Geológico Argentino, Mendoza, pp. 184-196.*
- CAMPANELLA, OSVALDO, ADRIANA CABRERA Y MÓNICA BLARASÍN. 1993. "El sistema GRILLA. Una herramienta para la cartografía geoambiental". *IV Simposio Académico y Tecnológico de IBM - Universidad Nacional del Nordeste.*
- CHEN, P. 1976. "The Entity-Relationship Model/Toward a Unified a View of Data". *ACM TODS 1, núm 1. Published twice in M. Stonebraker (ed.) "Readings in Database Systems", San Mateo, California. Morgan Kaufmann (1988).*
- FOSTER, S., HIRATA, R. 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. Second revised edition. 1991.*



Aplicación de las dolomías como agregado en mezclas asfálticas de pavimentación

Cassinelli, Gustavo ¹ - Ruiz, Miguel ²

Resumen

En función de los requerimientos derivados de las necesidades de rehabilitación de la red pavimentada, así como las de dotar de transitabilidad a la no pavimentada, resulta conveniente explorar las posibilidades de empleo de una amplia variedad de materiales pétreos cuyo uso no se halla muy difundido en la tecnología de las mezclas asfálticas para la Provincia de Buenos Aires.

Entre ellos se encuentran los agregados dolomíticos provenientes de la zona de influencia de Olavarria (Sierras Bayas).

Este trabajo trata sobre los resultados de Ensayo de Laboratorio sobre agregados dolomíticos a fin de estudiar sus características comparándolas con los límites normalmente especificados en nuestro medio.

De tales estudios es dable pronosticar un buen comportamiento de estos materiales para los fines expuestos, agregándose como ventaja su bajo costo de explotación. Es importante destacar que este tipo de rocas es utilizado en distintos países, fundamentalmente europeos.

1. INTRODUCCIÓN

Para la realización de un estudio a fin de determinar la posible utilización de rocas calcáreas (Dolomías) como agregado en mezclas asfálticas de pavimentación, se extrajeron muestras de un frente de cantera de propiedad del Sr. Tofolletti, ubicada en Sierras Bayas, partido de Olavarria, Provincia de Buenos Aires.

Se destaca que estos materiales se usan como rocas de ornamentación y como fundente en los altos hornos de

siderurgia. Dichas muestras fueron sometidas a diferentes estudios: petrográficos, químicos, físico-mecánicos y granulométricos para determinar su calidad. Estos estudios se efectuaron bajo las condiciones de los ensayos normalizados que utilizan Vialidad de la Nación y Provincia de Buenos Aires.

2. UBICACIÓN DEL ÁREA

El material, objeto de este trabajo, se trata de una Dolomía extraída en la cantera "Dolomita S.R.L.", ubicada en las Sierras Bayas de la localidad homónima del partido de Olavarria (Provincia de Buenos Aires); la hoja topográfica correspondiente es "Sierra Chica", Buenos Aires. Hoja 3760-15-4, Escala 1: 50.000, relevada en 1954.

Recibido: 30 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 16 de Julio de 1999

1. Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires
2. Dirección Nacional de Vialidad

3. RESEÑA GEOLÓGICA

Las Dolomías pertenecen a las Sierras Septentrionales o de Tandilia. Estas conforman un núcleo de forma elíptica, con un recorrido de 330 Km y un ancho de hasta 50 Km, integrado por elevaciones de altura máxima cercana a los 500 m sobre el nivel del mar. Separadas por fallas de orientación NO-SE, constituyen las Sierras de Mar del Plata o de Balcarce, Sierras de Tandil y Azul, Sierras de Olavarría y otras. En este relieve se desarrolla la mayor actividad minera de la Provincia de Buenos Aires, con el aprovechamiento de los distintos elementos geológicos constituyentes del mismo.

La estratigrafía del área es simple: un basamento cristalino llamado Complejo Buenos Aires (*Di Paola y Marchese, 1974*), cubierto por una serie de sedimentitas que corresponden al Grupo Sierras Bayas (*Iñiguez, et al. 1989*) que está integrado por las formaciones Villa Mónica, que se compone de las Cuarcitas inferiores y Dolomías, Formación Cerro Largo con Psamopelitas, Cuarcitas Superiores y Pelitas; por último la Formación Loma Negra, conformada por calizas en su totalidad. Este grupo está cubierto por material loésico, cuaternario, alcanzando en su totalidad unos 170 m de potencia.

Estas tres formaciones se apoyan entre sí en forma discordante, a su vez, este paquete sedimentario yace en contacto discordante con el basamento cristalino. Con respecto a la edad del basamento, es Precámbrica, y la del Grupo de Sierras Bayas alcanza al Precámbrico superior. La secuencia mencionada corresponde a una depositación en un ambiente de plataforma que se repite en el área de Barker. La Dolomía, tema de este trabajo, pertenece a la formación Villa Mónica. El espesor del horizonte dolomítico llega a los 36 m. Sus asomos no son continuos ya que en las partes bajas se halla oculto por acarreo de falda. En ellos la dolomía se muestra como una roca dura y compacta, de fractura irregular y de color gris a pardo oscuro, y sin estratificación visible.

4. ESTUDIOS Y ENSAYOS DE LABORATORIO SOBRE LA ROCA

Previo a efectuarse los estudios, las rocas fueron trituradas con el objeto de obtener la granulometría adecuada. El volumen utilizado para este estudio fue de 600 kg de material, que se extrajo de un muestreo realizado en todo el frente de la cantera. Si bien este muestreo no es sistemático, pues al Ingeniero le interesa el comportamiento de todo el acopio y no en forma puntual. Las cantidades en peso que se utilizó para cada ensayo están indicadas en las normas respectivas.

4.1. Petrografía

Del estudio a ojo desnudo surge que se trata de una

roca de color castaño amarillento y de grano fino a muy fino. Presenta una estructura maciza con cierta estratificación poco marcada. Se trata de rocas compactas y sin alteración.

Al microscopio se observa una estructura esparítica constituida por secciones subhedrales o euhedrales de Dolomita con un tamaño medio de 150 micrones. Se observan, además, sectores donde el tamaño de las secciones alcanza a 250 micrones. Distribuidas intersticialmente en la roca, presentan muy escasas secciones anhedrales de cuarzo límpido (Menos del 4%). Además es posible observar escasas grietas irregulares rellenas por dolomita recristalizada y óxidos de hierro. No se observó microfisuración. Como mineral accesorio aparece la sílice (bajo forma de cuarzo) en proporciones variables, nunca menor al 2% y como máximo hasta el 10% o 13%. Como excepción una sola muestra llegó a 33%.

Del análisis petrográfico surge que no se detectan minerales en proceso de alteración o sustancias extrañas que puedan ocasionar alterabilidad en función del tiempo.

Clasificación: dolomía esparítica

4.2. Ensayos químicos

Los resultados de análisis químicos sobre las muestras revelan el predominio de compuestos de carácter alcalino, derivados del Ca y el Mg. (OCa, OMg, CO³ Ca, CO³ Mg).

A los efectos de valorar posible presencia de cal activa en el material fino, se determinó el porcentaje de Cal Util Vial sobre el material que pasa el Tamiz N° 40, arrojando un resultado de 0,28%. Esto es, los óxidos de Ca y Mg no ceden cationes al entrar en contacto con agua, no se generarían reacciones de tipo corrector o cementante en contacto con suelos.

El contenido de sílice es variable, oscila entre 2% de promedio en el horizonte medio e inferior hasta un 12 % en el superior.

4.3. Ensayos Físico-mecánicos

Se consignan a continuación los resultados de ensayos físico-mecánicos practicados:

Masa unitaria (agregado saturado a superficie seca): 2,785 gr/cm³

Durabilidad frente al ataque por sulfato de sodio: 0,90 a 1,05 %

(Norma IRAM 1525). El límite máximo de pérdida especificado para empleo en mezclas asfálticas es de 12 %, luego de 5 ciclos de exposición. Las muestras ensayadas cumplimentan holgadamente el límite).

Desgaste Los Angeles (Gradación B): 20 %.

(Norma IRAM 1532). Las normativas vigentes adoptan los siguientes máximos para el Desgaste Los Angeles, considerando la aplicación del agregado en mezclas asfálticas:

Tratamiento superficial bituminoso	LA máx. 40
Carpeta asfáltica	LA máx. 40
Base granular asfáltica	LA máx. 50

Las muestras ensayadas cumplimentan en todos los casos, alcanzando niveles de Desgaste compatibles con los normalmente obtenidos para agregados graníticos empleados en la Provincia de Buenos Aires superándolos en algunos casos.

Indice de Degradación

Dado que en el ensayo de Desgaste Los Angeles, como se expuso en el *Octavo Simposio de Calidad de Pavimentos Asfálticos* (1982), existen algunos factores de incertidumbre que hacen aconsejable reemplazarlo paulatinamente por otras técnicas más adaptadas a las solicitaciones reales del material en obra y servicio, se sometió además al agregado al ensayo de Degradación en el Compactador Giratorio de que dispone la Dirección de Vialidad de la Provincia de Bs. As.

La técnica del ensayo fue descrita en la XXVI Reunión de la Comisión Permanente del Asfalto y trabajos anteriores. Básicamente, se aplica al esqueleto granular un determinado número de giros con el compactador, imprimiéndole un efecto de amasado a la mezcla similar al que le imprime el tránsito soportando una presión vertical representativa de la intensidad del mismo. El promedio pesado de la diferencia en ordenadas de los gráficos granulométricos correspondientes a la mezcla primitiva y a la degradada constituye el Índice de Degradación, el cual se considera más representativo que el Desgaste Los Angeles, desde que la solicitación se corresponde con el efecto real que produce el paso de vehículos en la estructura.

El valor obtenido (ID: 4,1) es inferior al detectado en materiales graníticos y ortocuarcíticos, confirmando la buena respuesta del agregado dolomítico frente a la abrasión ejercida por el tránsito. Cabe destacar que en el ensayo los agregados estaban lubricados por agua y no por asfalto, de modo de lograr una solicitación más intensa que la real en la estructura.

Factor de Cubicidad : 0,80.

Para mezclas asfálticas de tipo superior, las Especificaciones de la Provincia de Buenos Aires fijan un límite mínimo de 0,50 para base granular asfáltica y de 0,60 para carpeta asfáltica, ensayando el material retenido por la criba 3/8".

El valor obtenido asegura un buen papel en cuanto

a la atenuación de las probabilidades de segregación durante el transporte de la mezcla, logrando un empaquetamiento adecuado que contribuye a que las partículas repartan isotrópicamente las tensiones derivadas del esfuerzo de compactación en etapa constructiva y del tránsito en servicio.

A los efectos de comparar el valor obtenido con el criterio actualmente adoptado por IRAM, se ejecutó asimismo el Índice de Lajosidad.

Indice de Lajosidad (Norma IRAM 1687-1): 18%

Del resultado de estos ensayos se desprende una buena condición de forma del agregado triturado.

Indice de Plasticidad:

El material fino (pasa el Tamiz N° 40) no posee plasticidad, presentándose como friable. En consecuencia, no introduce contaminaciones en la mezcla ni componentes de tipo coloidal que puedan interferir con la adherencia asfalto-agregado.

Equivalente Arena: 64%

Vialidad de la Pcia. De Bs.As. específica un mínimo de 50 para el material que Pasa el Tamiz N° 4 en la mezclas de base granular asfáltica, y de 55 para carpeta asfáltica. El agregado ensayado (mezcla con dolomíticos en su totalidad) cumple la condición.

Porosidad: 1,32 a 1,70 %.

4.4. Ensayos sobre mezcla de carpeta asfáltica

Se dosificó una mezcla destinada a carpeta asfáltica de colocación en caliente.

La fórmula encontrada como óptima, para los materiales ensayados, fue:

Agregado grueso e intermedio: 86% en peso de agregado dolomítico.

Agregado fino: 14% de arena silíceo.

Cemento asfáltico (70-100) 5,5%

El filler (Pasa Tamiz N° 200) es aportado totalmente por el agregado de trituración dolomítico.

Los límites usados para la confección de la curva granulométrica empleada en la experiencia constan en Tabla 1.

Y la curva de áridos resultante en Tabla 2.

Se moldearon probetas con 50 golpes por cara, ensayándolas con la técnica Marshall, obteniéndose los siguientes resultados para los parámetros principales que definen el comportamiento de la mezcla.

Densidad Marshall: 2,485 g/cm³

Estabilidad: 880 kg

Fluencia: 3,0 mm

Relación Estabilidad/Fluencia: 2933 kg/cm

Vacíos de la mezcla (Método Rice): 4,0%

Estabilidad remanente: 90% respecto de la Estabilidad sin Inmersión

Índice de Compactabilidad: 6,9 %.

Los valores obtenidos para los parámetros cumplen con las especificaciones de la DVBA.

A la muestra en estudio, se la utilizó para la determinación de la "Superficie recubierta" y la resistencia al agua de la película con emulsión catiónica, dando un recubrimiento del 90% al 95%.

4.5. Ensayos granulométricos

Los límites (Tabla 1) usados para la confección de la curva granulométrica emplea en la experiencia es:

Tamiz	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa	100	82-100	70-90	55-79	40-67	17-44	9-29	2-8

Y la curva propiamente dicha (Tabla 2):

Tamiz	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% Pasa	100	90,1	74,3	59	43,2	23,2	12,1	5

5. CONCLUSIONES

Es necesario aclarar que en la técnica vial se entiende como roca granítica a cualquier roca del basamento ya sean ígneas, metamórficas o migmatitas, es decir que cuando en cualquier informe realizado para mencionar el uso de un determinado agregado pétreo granítico no se está refiriendo al granito como tal, sino como un término genérico que involucra las rocas mencionadas anteriormente.

Los agregados dolomíticos estudiados han cumplido satisfactoriamente todos los requisitos de calidad usuales para ser utilizados en la superestructura asfáltica del camino (mezclas en caliente, carpetas densas). Los valores emergentes de ensayos practicados sobre esos áridos son comparables, o aún superan en algunos casos, a los agregados graníticos de buena calidad.

Desde el punto de vista de la explotación en cantera, las perforaciones para el estudio de apertura (evaluación inicial) y las perforaciones para voladuras, cuando está en explotación, son más económicas que en el material granítico, en una relación de 1 a 3. A ello se agrega la mayor duración que podrían tener las mandíbulas de las plantas trituradoras ya que prolongarían su vida útil en un 50% o

más, a consecuencia del bajo contenido de cuarzo de la roca dolomítica. Ello podría incidir en una ventaja económica, constituyéndose su uso en una buena alternativa técnico-económica para la construcción de las capas de rodamiento citadas. Como otro punto a favor es que trae filler incorporado, ya que el material que pasa el Tamiz 200 es totalmente calcáreo.

La presencia de cuarzo diseminado en cuarzo de 5% de promedio le da mayor resistencia y un desgaste diferencial. Según *González Bonorino (1954)*, la acción de las aguas de lluvia al disolver los carbonatos presentes en la Dolomía genera una superficie rugosa a modo de "piel de elefante". Esto último actuaría como efecto negativo al deslizamiento.

A los fines de la extensión de los resultados, debe tenerse en cuenta que este estudio es puntual, debería completarse analizando todo el horizonte dolomítico en todos los afloramientos de la Formación Villa Mónica, a fin de determinar la homogeneidad del material.

Como resumen final podemos decir que de acuerdo a todos los ensayos y estudios realizados las Dolomías demuestran brindar un árido de buena calidad para ser utilizados en obras viales (bases y carpetas).

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

DI PAOLA – MARCHESI – 1974.

“Relación entre la tectosedimentación, litología y mineralogía del Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta”.

Rev. Asoc. Arg. de Minería, Petrol y Sedim. Vol. 3-4 (Bs.As.).

GONZÁLEZ BONORINO, F. – 1954.

“Geología de las Sierras Bayas, Partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires”.

M.O.P. – L.E.M.I.T. Serie II, 55 (La Plata).

IÑIGUEZ, DEL VALLE, POIRE, SPALLETTI Y ZALBA –1989.

“Cuenca Precámbrica / Paleozoica Inferior de Tandilia, Provincia de Buenos Aires, Cuenca Sedimentarias Argentinas”.

Serie Correlación Geológica N° 6. Instituto Superior de Correlación Geológica. Universidad Nacional de Tucumán.

DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD.

“Normas de Ensayo”.

Edición Actualizada. Enero 1993. M.O.S.P.

“NORMAS IRAM”.

Año 1960.

D.V.B.A.

“Normas Técnicas”.

Segunda Edición. Noviembre 1961. Publicación N° 14.

“ANNUAL BOOK A.S.T.M. STANDARD”

1955.



Obras de protección contra las inundaciones en las planicies aluviales de los ríos Paraguay y Paraná (sector argentino) Sus implicancias ambientales

De Francesco, Fernando O.¹ - Colado, Ubaldo R.^{1,2} - Schnack, Enrique J.^{1,2} - Schnack, Juan A.^{1,3} -
García Lozano, Luis C.⁴

Resumen

Se presentan los resultados de un estudio sobre el impacto ambiental de proyectos de protección contra las inundaciones en el noreste argentino. En una etapa posterior al análisis ambiental regional, se realizó el estudio sobre los proyectos específicos. La secuencia analítica incluyó la caracterización de las obras, la definición y clasificación de sus impactos ambientales, la vulnerabilidad de la obra, y las medidas de mitigación y monitoreo. Los resultados fueron expresados en una ficha resumen por proyecto, que permite su inspección expeditiva y completa por parte de funcionarios y planificadores.

1. INTRODUCCIÓN

Es conocido el efecto causado por excesos hídricos sobre las poblaciones asentadas en las planicies de inundación de los ríos Paraguay y Paraná (Fig. 1), los que muestran recurrencia de sus picos máximos, en muchos casos asociados a eventos El Niño (Andersen *et al.*, 1993; Depetris *et al.*, 1996; Schnack *et al.*, *en prensa*). Cuando ocurren, estas pulsaciones coinciden con las crecientes anuales normales del sistema, que por sus características morfológicas e hidrológicas pertenece al tipo de los "ríos aluviales"

(Schumm, 1985). El área total inundada en el evento 1982/83 fue de 3.373.000 ha y los daños económicos totales alcanzaron los 1.800 millones de US\$ (Bergman, 1994) y se la considera como la inundación más importante del siglo. Como medidas de protección ante dichos episodios, en particular después de 1982/1983 y 1992, se han realizado y se encuentran en vías de planificación y ejecución un conjunto de respuestas estructurales que tienden a mitigar los efectos de estas pulsaciones sobre los asentamientos humanos. Estas medidas, con mayor o menor intensidad, provocan impactos ambientales en los complejos ecosistemas de la región. En la planificación de estas obras también se debe tener en cuenta su vulnerabilidad (estabilidad, durabilidad y efectividad), dado que en muchos casos, debido a la necesidad de una rápida respuesta, hay un accionar improvisado que puede llevar a situaciones de colapso, como puede ocurrir, por ejemplo, debido a la inadecuada

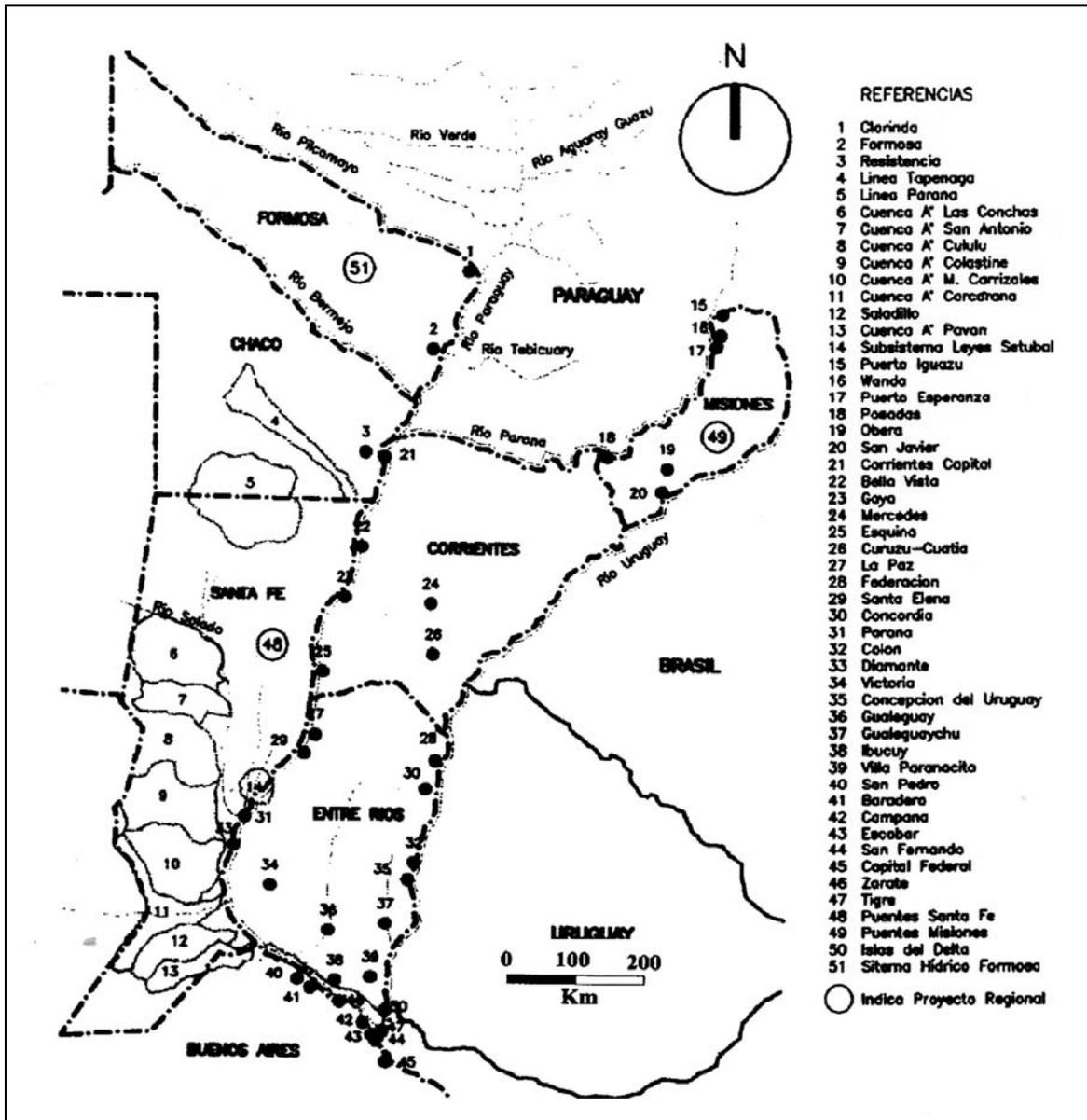
Recibido: 26 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 18 de Mayo de 1999

1. Fac. de Cs. Nat. y Museo de La Plata, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata
2. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
4. Fundación Neotrópicos, 50 N° 3850, Of. 204, Medellín - Colombia

composición y escaso o nulo grado de consolidación de los materiales utilizados. Es por ello que durante la etapa de planificación se debe tener un exhaustivo conocimiento de las condiciones ambientales, ya que de ellas surgirá la mayor efectividad y durabilidad de las obras. Durante la etapa constructiva, estos aspectos deben ser considerados como fundamental importancia, mediante el cumplimiento de

normas establecidas, destinadas a minimizar deterioros ambientales en las etapas que comprenden los distintos tipos de actividades relacionadas a la concreción de las obras. Otro aspecto importante es aquel relacionado con las tareas de mantenimiento y monitoreo ambiental. El objetivo de este trabajo es presentar una nueva metodología de evaluación para proyectos específicos.

FIG. 1: UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS DEL PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES



2. TIPOS DE OBRAS

Los distintos proyectos de protección contra las inundaciones (Fig. 1) confrontan distintas situaciones, según los casos y localizaciones. Están distribuidos en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe, Corrientes, Chaco, Formosa y Misiones. Entre los diferentes tipos de

obras tendientes a mitigar los efectos de las inundaciones, se pueden mencionar aquellas como las de derivación de caudales, construcción de terraplenes de defensa, compuertas aliviadoras y estaciones de bombeo para la evacuación de excedentes pluviales acumulados en los recintos generados, alteo de caminos y rutas, entre otras.

Los proyectos pueden agruparse de la siguiente manera:

- Terraplenes en recinto
- Terraplenes abiertos
- Rectificaciones y canalizaciones rurales
- Rectificaciones y canalizaciones urbanas
- Drenajes pluviales
- Puentes y accesos
- Drenajes a cielo abierto y pozos drenantes
- Defensas costeras, aleros perimetrales y desagües pluviales
- Control de erosión pluvial

3. IMPACTO AMBIENTAL

En una etapa anterior, el impacto ambiental regional de los proyectos fue considerado como irrelevante, dado su carácter localizado (*Schnack et al., 1995a*). En consecuencia, el enfoque de este trabajo se limitó al estudio de los proyectos específicos.

Un impacto ambiental de carácter primario en algunas de estas obras, tales como terraplenados, se manifiesta en modificaciones de los biotopos sometidos a anegamientos periódicos, en tanto que la alteración del medio físico se

define, principalmente, a través de marcados cambios en el escurrimiento superficial, modificación de los patrones de sedimentación y variación de los niveles freáticos. Los sistemas de bombeo, si bien son esenciales, pueden llegar a generar impactos negativos, aunque de menor cuantía en relación a los beneficios, tales como los anegamientos en áreas localizadas de desagote y la mortandad de peces.

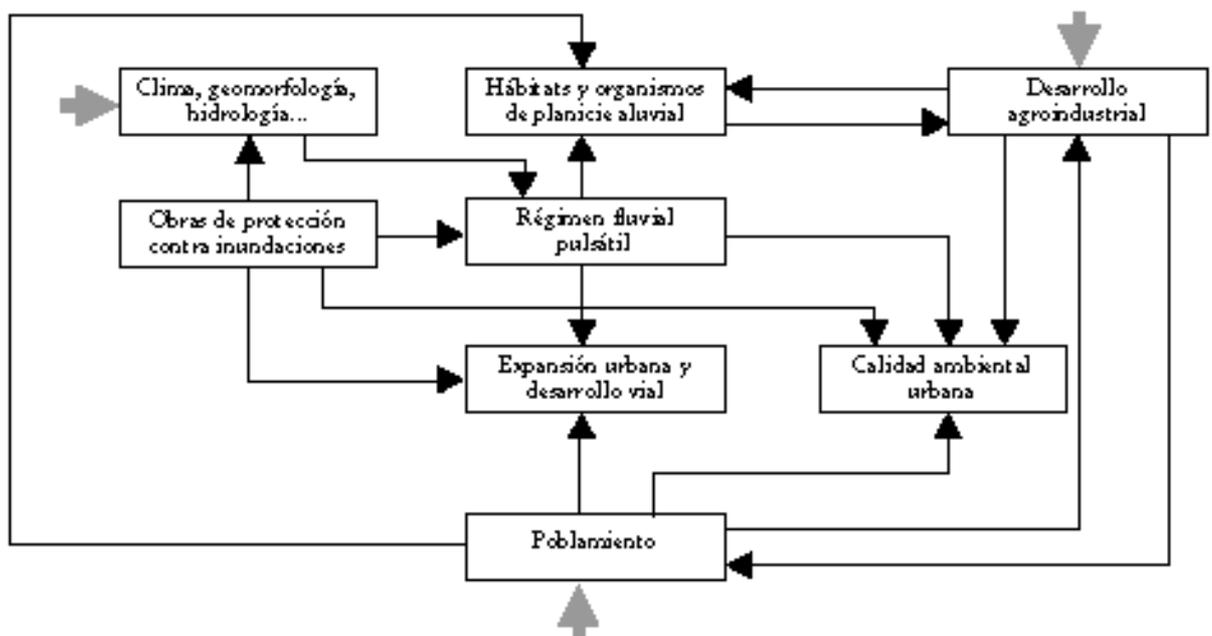
El esquema conceptual (Fig. 2) integra distintos elementos de análisis, que abarcan a los factores ambientales y su interacción con otros fenómenos externos al marco geográfico empleado, i.e. fenómenos exógenos a las planicies aluviales. En particular, se plantean los siguientes problemas:

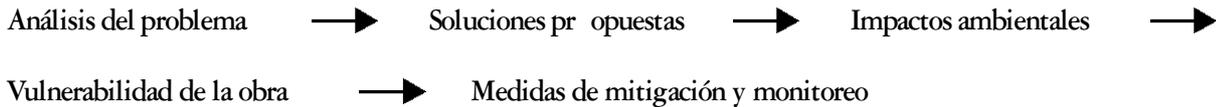
- Interferencia de las obras sobre la dinámica natural y cultural regionales
- Evaluaciones ambientales detalladas de proyectos típicos del programa
- Recomendaciones sobre el manejo adecuado de las consecuencias ambientales negativas susceptibles de ocurrir por la ejecución de los proyectos
- Consecuencias ambientales regionales

El esquema general se orientó, entonces, a un abordaje secuencial que comprendió los siguientes pasos (*Schnack et al., 1995b*):

FIG. 2. ELEMENTOS DEL ANÁLISIS AMBIENTAL. SITUACIÓN CON PROYECTO

El diagrama ilustra las interacciones asociadas al desarrollo de las planicies aluviales y a la calidad del ambiente urbano. Las líneas delgadas indican la dirección (causa-consecuencia) de la acción y/o interacción. Las flechas gruesas indican fenómenos externos al marco geográfico de análisis utilizado, i.e. fenómenos exógenos a las planicies aluviales.





Los impactos fueron analizados en calidad y magnitud para los medios físico, biótico y antrópico. Los grados de impacto fueron clasificados en:

- I Mínimo
- II Moderado
- III Severo
- IV Crítico

El grado IV no admite mitigación; por lo tanto, se trata de un proyecto total o parcialmente incompatible con el ambiente. En los otros grados o intensidades, las medidas de mitigación y monitoreo permiten la compatibilización ambiental del proyecto, por lo que se arriba a la jerarquización final (JR).

Los resultados fueron volcados en una Ficha-Resumen por proyecto (total=51), de los cuales se presentan algunos representativos, correspondientes, aunque no en forma excluyente, a terraplenados (Gualeduay- Ficha 1), defensas costeras (Campana- Ficha 2) y defensas- drenajes

pluviales (Clorinda-Ficha 3).

4. CONCLUSIÓN

El esquema de análisis y su expresión final permite una inspección rápida y al mismo tiempo abarcativa de los impactos ambientales y de su mitigación. Facilita su análisis por parte de especialistas y también de otros expertos, funcionarios y planificadores de una manera sencilla y práctica. Tratándose de numerosos proyectos, es necesario llegar a expresiones sintéticas, de las que este trabajo constituye una nueva propuesta de análisis.

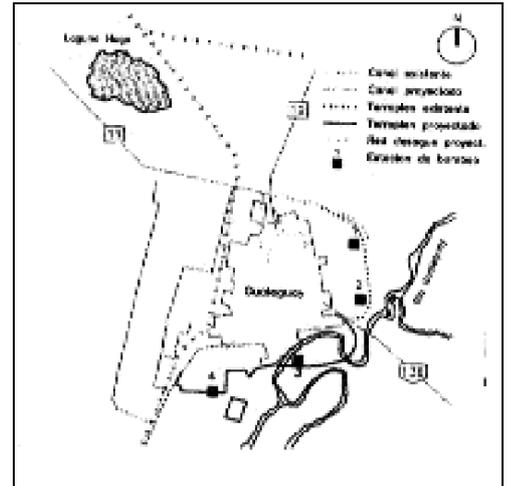
5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a las autoridades de la Subunidad Central de Coordinación para la Emergencia (SUCCE, Ministerio del Interior) y a J.D. Quintero (Banco Mundial) por haberles brindado la oportunidad de realizar los trabajos ambientales cuya expresión sintética se brinda en esta oportunidad.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ANDERSEN, R.J., SANTOS, N. AND DÍAZ, H.F., 1993.
An analysis of flooding in the Paraná/Paraguay river basin.
LATEN Dissemination, Note N° 5, The World Bank, Latin American Technical Department. Environmental Div. September 1993, 19 pp.
- BERGMAN, R., 1994.
Informe sobre daños. Recopilación de antecedentes de los daños de crecidas de 1983 y 1992. Evaluación económica.
Secretaría de Asistencia para la Reforma Económica Provincial, Ministerio del Interior, SUCCE, 185 pp.
- DE FRANCESCO, F.O., COLADO, U.R., SCHNACK, E.J., SCHNACK, J.A. & L.C. GARCÍA LOZANO, EN PRENSA.
La Inundación 1982/1983 en la porción argentina de la Cuenca del Río Paraná.
En: Desastres Naturales en América Latina, J. Lugo y M. Inbar, Eds. Fondo de Cultura Económica, México.
- DEPETRIS, P.J., KEMPE, S., LATIF, M. AND MOOK, W.G., 1996.
ENSO-controlled flooding in the Paraná River (1904-1991).
Naturwissenschaften 83, 127-129.
- SCHNACK, E.J., COLADO, U.R., DE FRANCESCO, F.O., GARCÍA LOZANO, L.C. Y J.A. SCHNACK, EN PRENSA.
El Niño y las inundaciones en el río Paraná, Argentina.
Actas, Taller sobre El Niño en América Latina. Sus impactos biológicos y sociales. Lima, Perú, noviembre de 1998.
- SCHNACK, J.A., DE FRANCESCO, F., GALLIARI, C., NEIFF, J., OLDANI, N., SCHNACK, E.J. & G. SPINELLI, 1995(a).
Estudios ambientales regionales para el proyecto de control de las inundaciones.
SUCCE (Min. del Interior, Argentina)-Banco Mundial, 147 pp.
- SCHNACK, J.A., DE FRANCESCO, F.O., SCHNACK, E.J., GARCÍA LOZANO, L.C. Y U.R. COLADO, 1995(b).
Proyectos específicos de protección contra las inundaciones.
SUCCE (Min. del Interior, Argentina) - Banco Mundial, 120 pp.
- SCHUMM, S.A., 1985.
Patterns of alluvial rivers.
Ann. Rev. Earth Planet 13, 5-27.

FICHA 1: GUALEGUAY, PROVINCIA DE ENTRE RÍOS



Problemas	Soluciones propuestas
<p>1. Desbordes del Río Gualeguay (r>10 años), incrementados por remansos del Río Paraná. Zona inundable (cuota 8 m) limitada por pendientes suaves(2%).</p> <p>2. Inundación de la ciudad por lluvias, agravada por drenajes pluviales insuficientes e ingreso en los sectores N y NO de aguas provenientes del desborde de la laguna Hugo.</p>	<p>1. Terraplén a contruir desde ruta 136 hacia el oeste, pasante por isla, con variantes de traza en laguna estabilizadora (recinto independiente o integrado a la defensa) con compuertas y dos estaciones de bombeo (E3 y E4).</p> <p>2. Canales de alivio de excedentes de laguna Hugo al oeste de la línea ferroviaria; drenajes pluviales urbanos en el sector norte; taponamiento de alcantarillas en terraplén ferroviario.</p>

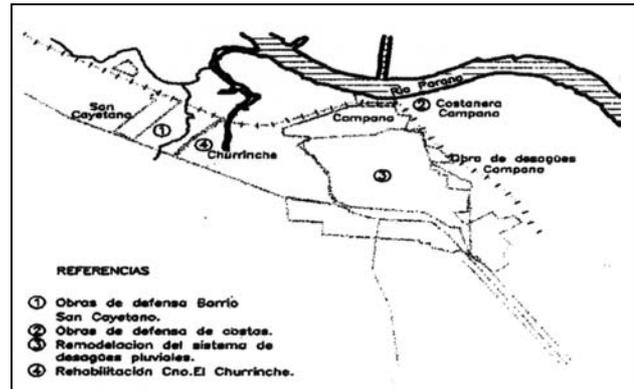
IMPACTOS

Obra	Medio Físico	Medio Biótico	Medio antrópico	Grado	Vulnerabilidad de la obra	Grado
1.	<p>1.1. Alteración del escurrimiento superficial con formación de charcas en los sectores E y S, alimentadas por aguas de lluvia y afloramientos freáticos.</p> <p>1.2. Contaminación de niveles freáticos y superficiales por movilidad de aguas procedentes de disposición de residuos.</p>	<p>1.1. Cambios en la vegetación con posible proliferación de vectores de enfermedades de origen hídrico.</p> <p>1.2. Afectación de comunidades biológicas.</p>	<p>1.1./1.2. Incremento de riesgos sanitarios.</p>	III	<p>1. Carcavamiento por acción hídrica en terraplenes sin vegetal y asentamientos diferenciales por uso inadecuado de materiales; en sector de compuertas, posible inestabilidad de las estructuras.</p>	III
2.	<p>2.1. Posibles desbordes y anegamientos por obstrucción y tarquinamiento de conductos y canales durante precipitaciones intensas.</p>	<p>2.1. Crecimiento de vegetación herbácea sobre material de la obstrucción, aumentando el efecto de taponamiento.</p>	<p>2.1. Posible afectación de producción agrícola por inundación de chacras.</p>	III	<p>2. Tarquinamiento y erosión nspec periód estado de taludes del terraplén y funcionamiento compuertas.</p>	III

MEDIDAS DE MITIGACION Y MONITOREO

Impacto	Medidas de mitigación	Monitoreo	JF
1.1./1.2.	<p>Exclusión de sectores E y S de zona de ampliación urbana; posesión de área recreativa en base a legislación. Vegetación de taludes; utilización de materiales seleccionados de áreas de préstamo adecuadas; ubicación adecuada de compuertas sustentadas en criterios geotécnicos.</p>	<p>Inspección periódica del estado de los taludes del terraplén y del funcionamiento de las compuertas</p>	I
2.1.	<p>Adecuación de ángulos de quiebre y mantenimiento de conductos y canales.</p>	<p>Inspección periódica.</p>	I

FICHA 2: CAMPANA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES



Problemas	Soluciones propuestas
1. Erosión costera e inundación por el río Paraná de las Palmas 2. Inundaciones por desbordes del arroyo Pesquería (B° San Cayetano) y excedentes pluviales 3. Inundación y anegamiento de calles por insuficiente evacuación de aguas pluviales en el ejido urbano	1. Defensa costera en la ciudad de Campana (tablestacado de hormigón armado) 2. Obras de defensa contra inundaciones del arroyo y completamiento de cierres por alteo de calles y adecuación del drenaje de alcantarillas 3. Remodelamiento de desagües pluviales en el SE de la ciudad

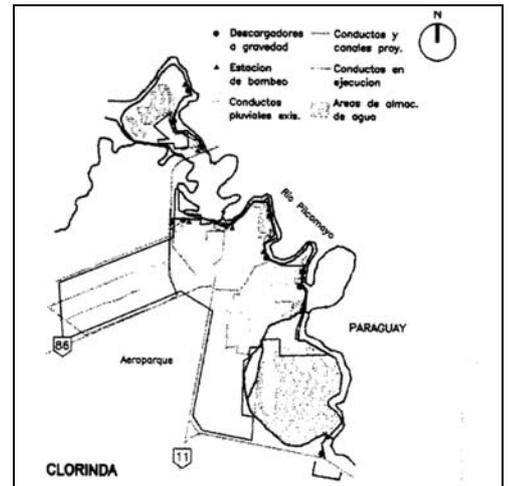
IMPACTOS

Obra	Medio Físico	Medio Biótico	Medio antrópico	Grado	Vulnerabilidad de la obra	Grado
1	1.1. Encharcamiento por interrupción del escurrimiento		Alteración del tránsito general	II	Debilitamiento de la defensa por acción fluvial	III
2	2.1. Residencia de agua de lluvia por recintado	Alteración del hábitat, posible invasión de hidrófitas y vectores	Aumento de riesgos sanitarios	III	Obturación de canales de drenaje; erosión hídrica y debilitamiento de los alteos	II
3	3.1. Anegamientos localizados por obstrucciones		Aumento de riesgos sanitarios por conexiones clandestinas	II	Obstrucciones y tarquinamiento	II

MEDIDAS DE MITIGACION Y MONITOREO

Impacto	Medidas de mitigación	Monitoreo	JF
1.1.	Mantenimiento y protección de las defensas en la base expuesta a la acción fluvial	Inspección periódica del estado del tablestacado y de la protección	I
2.1.	Instalación de estaciones de bombeo; empastado y mantenimiento de taludes	Inspección periódica de equipamiento, alteos y alcantarillas	I
3.1.	Diseño de ángulos de quiebre y dimensiones adecuadas para rápida evacuación y prevención de obstrucciones; mantenimiento de drenajes	Inspección periódica a fin de detectar conexiones clandestinas (cloacales e industriales)	I

FICHA 3: CLORINDA, PROVINCIA DE FORMOSA



Problemas	Soluciones propuestas
1. Inundaciones por lluvias y/o desbordes de los ríos Paraguay y Pilcomayo 2. Defensas puntualmente precarias, con pendientes excesivas en sus taludes	1. Tendido y protección de taludes de terraplenes perimetrales existentes que forman recinto; zanja al pie del talud interior para evacuación de excedentes pluviales 2. Construcción de drenajes pluviales

IMPACTOS

Obra	Medio Físico	Medio Biótico	Medio antrópico	Grado	Vulnerabilidad de la obra	Grado
1	1.1. Desbordes y acumulaciones de agua al pie del talud; afloramientos del nivel freático; alteración del escurrimiento superficial	Alteración del hábitat y aumento de la presencia de vectores	Aumento de riesgos sanitarios	II	Carcavamiento y posibles asentamientos diferenciales en los terraplenes; obstrucción de zanja al pie del talud	III
2	2.1. Desbordes puntuales en los canales	Alteración del hábitat y dispersión de contaminantes por ingreso de aguas servidas clandestinas; invasión de macrófitas y asentamiento de vectores	Aumento de riesgos sanitarios	III	Obstrucciones de los drenajes pluviales	II

MEDIDAS DE MITIGACION Y MONITOREO

Impacto	Medidas de mitigación	Monitoreo	JF
1.1./2.1.	Mantenimiento de descargadores y sistemas de bombeo; limpieza permanente de drenes y empastado de taludes; diseño de quiebres adecuados de los drenajes	Inspección permanente del estado de los terraplenes (carcavamientos, protección de vegetación) y control del vertido de efluentes cloacales en los drenajes pluviales	I



Aspectos hidrogeomorfológicos de la cuenca del Río Pircas

Jujuy, Argentina

Dietta, Patricia M.² - Mansilla, Lilyán del Valle ¹ - Orosco, Oscar ²

Resumen

El objetivo del presente estudio es analizar el comportamiento de la cuenca del Río Pircas ubicada al noroeste de la provincia de Jujuy, Argentina. Su sistema hidrográfico es exorreico y está compuesto principalmente por ríos transitorios y algunos permanentes.

Con la finalidad de lograr dicho objetivo se efectuó un análisis morfométrico cuantitativo de la cuenca. Los parámetros analizados son la superficie, la forma y el sistema de avenamiento.

Como conclusión se observa que el comportamiento hidrológico de la cuenca está controlado por tres factores principales: la historia geológica, las características estructurales y las litológicas.

1. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en nuestro trabajo corresponde a la propuesta por Horton (*Horton, 1945*) y utilizada por Mansilla (*Mansilla, 1998*). La investigación fue llevada a cabo siguiendo la secuencia que se describe a continuación:

- 1) recopilación bibliográfica y cartográfica,
- 2) elaboración de mapa hidrográfico mediante fotointerpretación; utilizando fotografías aéreas escala 1:50.000,
- 3) corroboración en el terreno de toda la información obtenida por medio de este procedimiento,
- 4) análisis morfométrico,
- 5) elaboración de un informe final.

Recibido: 26 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 23 de Noviembre de 1999

1. UNC. Fac. de Cs. Ex. Fis. y Nat., Cátedra de Geomorfología.
Av. Veléz Sarfield 299 (5000) Córdoba
2. Sunshine Argentina INC. - Patricias Argentinas 287 - (4600)
S. S. de Jujuy - e-mail: pringeo@argosmail.com.ar

2. GEOLOGÍA

Ordovícico

Está representado por la **formación Acoite** (*Harrington et al, 1957*) que aflora en todo el sector por acción de los movimientos tectónicos que la exponen por elevación en bloques y alberga la mineralización de mina Pirquitas. Constituida por una secuencia de areniscas, pelitas y lutitas de colores verdosos y gris verdoso, depositadas en ambiente marino de plataforma. Posteriormente sufrieron un metamorfismo de bajo grado a escala regional y fueron afectadas por un plegamiento intenso seguido por fracturación. Las capas están bien estratificadas; su espesor puede variar desde pocos centímetros hasta metros y su potencia puede alcanzar los 900 metros.

Terciario

La **formación Peña Colorada** (*Bellman y Chomnales, 1960*) consiste en un conjunto de sedimentitas clásticas de color rosado a rojizo de génesis continental, las cuales

se originaron mediante el retrabajo de sedimentitas y vulcanitas clásticas. Las rocas que forman Peña Colorada son pobremente consolidadas apareciendo, en ocasiones, un cemento calcáreo y ferruginoso. Presenta algunos niveles tobaceos hacia el techo de la formación. El paisaje muestra los efectos de la arroyada, presentando cárcavas, también valles y cerros redondeados. Su edad fue estimada como Oligoceno superior a Mioceno medio debido a que se depositaron antes de la intrusión del cerro Galán.

La **formación Galán** (Turner, 1978) está constituida por rocas intrusivas ácidas, las cuales se observan al este de mina Pirquitas. El cerro Galán es el miembro más importante de la formación. La roca es una dacita porfírica, homogénea, con fenocristales de biotita, feldespato, cuarzo y anfíboles en una pasta afanítica. Se estima su edad en Mioceno medio, debido a que su intrusión es anterior a las rocas del complejo caldérico Vilama-Coruto (Coira et al, 1996).

Al norte de la zona de estudio, en los alrededores del río Laimé se encuentran rocas volcánicas extrusivas pertenecientes al complejo caldérico Vilama-Coruto. En la zona pueden observarse las rocas correspondientes a los registros extracaldera del ciclo denominado **Ignimbrita Granada** (Coira et al, 1996). El ciclo está formado por una sucesión de flujos piroclásticos dacíticos con las siguientes características: color gris, de 2 a 8 metros de espesor, de 80 a 100 metros de potencia y edad Mioceno superior.

Cuartario-Pleistoceno

La **formación Acanco** (Turner, 1982) es un conglomerado polimíctico, clastosoportado, de aspecto masivo y diversos grados de compactación, de origen fluvial y aluvial. Texturalmente tiene una variada gama de sus constituyentes clásticos que oscilan entre 2 y 50 centímetros. Están asociados a una matriz de naturaleza areno arcillosa y en muchos sectores se encuentran cementados con óxidos de hierro (ferricretes). Su espesor es variable, de 20 a 50 metros. Se estima su edad en Pleistoceno superior.

Cuartario-Holoceno

Sedimentos coluviales: se encuentran sobre los interfluvios, tienen potencias del orden de centímetros a decenas de metros. Su génesis se debe a la meteorización química y física de las rocas de las vertientes, que posteriormente han sido ligeramente transportadas por efecto de la gravedad. Son depósitos sin cementación, clastosoportados en una matriz arenosa gruesa.

Sedimentos fluviales: los depósitos de cauce se caracterizan por una alta heterometría. Están constituidos por clastos de diversos tamaños desde centímetros hasta bloques de tres o cuatro metros; son inmaduros, de forma planar y angulosos. Tienen alto porcentaje de arena gruesa.

Sedimentos de pie de monte: están formados por fenoclastos de 4 mm. a 30 cm, subangulares y planares,

provenientes de la formación Acoite, con un 10% de clastos de cuarzo de veta de la misma formación y abundante arena.

3. FISIOGRAFÍA

La cuenca hídrica del Pircas está constituida por serranías redondeadas, cortadas por una amplia red hidrográfica exorreica. El sector está formado por serranías compuestas en su mayoría por rocas de la formación Acoite que fueron intensamente plegadas en anticlinales y sinclinales, con orientación general N / N-NE. La formación Peña Colorada aflora intermitentemente en varios sectores, el más importante de ellos se encuentra al norte del campamento central. El relieve en este sector está dominado por las típicas "tierras malas" o badlands.

En toda el área de estudio se observaron los efectos de la meteorización, en particular los producidos por los cambios de temperatura. La gran amplitud térmica diaria trae aparejada la dilatación diurna y brusca contracción nocturna de las rocas produciendo un lento deterioro. Sobre las grietas producidas por este fenómeno actúan agentes químicos y físicos disgregadores de las rocas que ayudados por la extrema aridez del clima dan como resultado detritos que, expuestos al intemperismo, continúan degradándose por acción de la gravedad, el agua y el viento.

Los interfluvios tienen pendientes uniformes cuando están cubiertos por depósitos coluviales. Estos son de granulometrías medias a gruesas y tienen espesores variables. En estos sectores la meteorización ha producido importantes depósitos de detritos.

En el sector donde predominan las rocas de la formación Acoite, los cauces tienen control estructural. Si bien la mayoría de los cauces son estacionales, tienen un importante volumen de sedimentos de granulometría gruesa, cuyos bloques en ocasiones pueden alcanzar un tamaño de los 2 ó 3 metros, de forma subangular y de escasa selección. Todo esto indica la proximidad de estos bloques a las cabeceras. Es posible observar las vertientes escarpadas cuando están próximas a los cauces más importantes, señalando así la importancia en la génesis de estas geoformas que en otras épocas tuvieron los procesos fluviales y fluvio-glaciales además de los tectónicos.

Las vertientes ubicadas al norte del río Laimé están constituidas por escarpas de las mesadas de Lipe Huasi y Laimé. Las mismas están formadas por ignimbritas de la denominada **Ignimbrita Granada**. La parte superior de las escarpas está constituida por roca con mayor soldamiento entre sus partículas que la de los sectores basales. Esta característica del afloramiento da lugar al paisaje de mesadas.

El cerro Galán es un domo constituido por rocas volcánicas dacíticas que intruyeron a la formación Peña Colorada durante el Mioceno medio. Sus vertientes son escarpadas, con pendientes de más del 30%. El domo tiene

algunos sectores cubiertos por una capa de sedimentos coluviales de poca potencia.

La erosión fluvial en principio ocurre por medio de la arroyada superficial, luego el agua se concentra en cauces donde predomina la erosión linear. En las vertientes con sedimentos coluviales se observan las típicas "pisadas de vaca".

La erosión eólica está presente en toda el área, principalmente en aquellos sectores donde los materiales superficiales están sueltos y con poca o ninguna protección vegetal.

4. MORFOMETRÍA

El subsistema hidrográfico principal es el del río Pircas (ver mapa hidrográfico). Al sur y al norte se encuentran los subsistemas de los ríos Esquina Colorada y Laime respectivamente.

El subsistema del río Esquina Colorada tiene una longitud de 8 km y es de orden 4. El control es estructural por fracturación, observándose así el cauce principal que corre en líneas rectas durante la mayor parte de su trayecto. La red es de tipo subparalela debido a que la corriente principal tiene sentido oblicuo respecto de las secundarias. La uniformidad del drenaje da una idea de que tanto la litología como las estructuras también lo son. Este río al salir de la quebrada deposita sedimentos en un importante cono de deyección.

El subsistema del río Laime tiene una longitud de 14 km y es de orden 5. Está formado por un cauce principal, cuyas nacientes se dividen en dos cauces secundarios, uno hacia el sur, de tipo dendrítico, otro hacia el norte de tipo subparalelo. En este caso el control es principalmente litológico. Toda la red hidrográfica del sector norte del río presenta uniformidad y alta densidad de avenamiento. La misma se sitúa sobre rocas de la Ignimbrita Granada de granulometría fina a media. En el sector sur, la red tiene diferentes características. En el área donde la red está sobre las ignimbritas los cauces tienen una tendencia a ser subparalelos, de escasa densidad y pobre uniformidad. Cuando se sitúa sobre la formación Acanco, los afluentes del Laime tienen aspecto de red tipo espina de pez, característico de los conglomerados, con buena uniformidad y alta densidad de avenamiento. En el sector este, sobre la formación Peña Colorada, los afluentes son de tipo subparalelos con alta densidad y uniformidad. En cercanías del cerro Galán se encuentran los restos de un abanico aluvial donde en otros tiempos el río Laime descargó sedimentos, pero debido al levantamiento del cerro, quedó fuera de actividad.

El subsistema del río Pircas es el que ocupa la mayor parte del área. Tiene una longitud de aproximadamente 16 km y es de orden 6. Está formado por un cauce principal, el río Pircas y seis afluentes importantes:

Médanos, Cortaderas, Chicharrón, Guayayoc, Carbajal y Farellón. En todo el sector oeste de la cuenca y hasta la quebrada de Guayayoc, la red es claramente de tipo dendrítico. La uniformidad de la red de avenamiento está determinada por la roca, que en todo este sector pertenece a la formación Acoite. La densidad de la red es media y el control es estructural tanto por plegamiento como por fracturación. Desde la quebrada Guayayoc hacia el este presenta diferentes características. En primer lugar, tiene tendencia a ser subparalela debido a la presencia de un bloque tabular de rocas ordovícicas que buza hacia el norte. En esta zona el control estructural es importante, la uniformidad es baja y la densidad es media. Cuando estos cauces salen del bloque atraviesan depósitos de faldeo, disminuyendo su densidad. Hacia el norte la red es bastante densa y no uniforme. En ella es marcado el control litológico generando las distintas litologías una red de características aleatorias.

En el abanico aluvial de río Esquina Colorada la red hidrográfica es de tipo radial centrífuga. Se pueden observar algunos cauces bien marcados y otros que tan sólo son líneas de escurrimiento. Diferente es la distribución de los cauces sobre el antiguo abanico aluvial del río Laime. Debido a que quedó fuera de actividad, fue retrabajado por erosión de tipo linear y un nuevo diseño se insinúa sobre su superficie. Sus cauces están ramificados, con tendencia dendrítica, tienen órdenes de jerarquía 3.

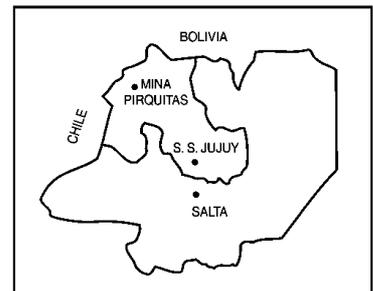
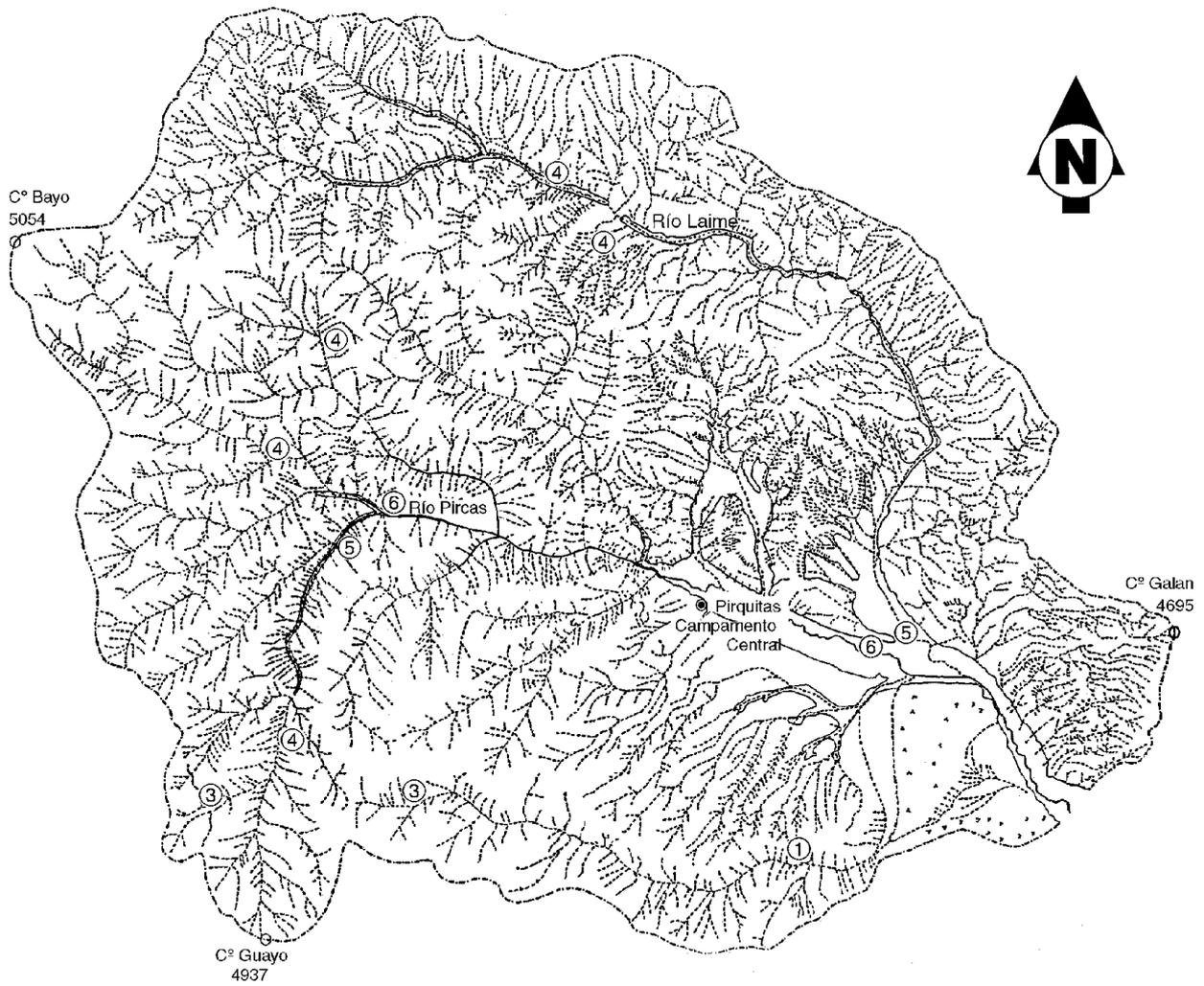
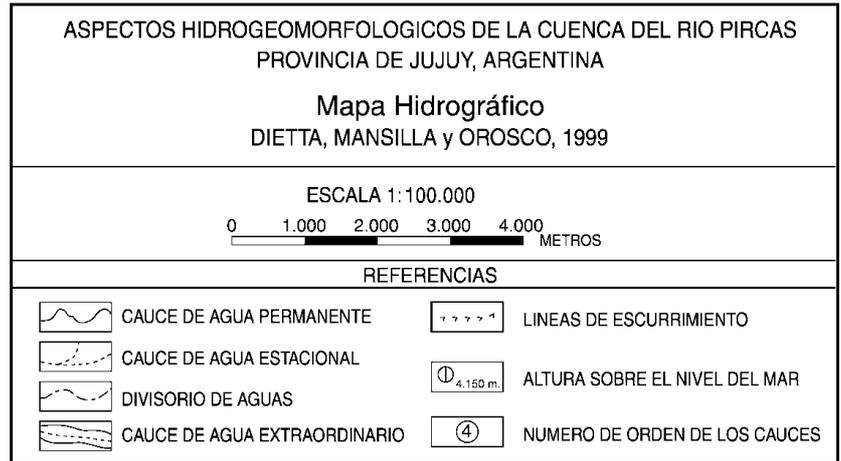
Los ríos Laime y Esquina Colorada tienen perfiles longitudinales irregulares debido al rejuvenecimiento de la superficie en los últimos movimientos andinos. Es frecuente observar cambios bruscos de pendientes en ellos -principalmente en el primero- debidos a cambios litológicos y a importantes descargas asociadas a sus afluentes. El río Pircas tiene un perfil longitudinal un poco más uniforme que los anteriores. Esta característica puede tener origen en dos causas diferentes: la primera porque se trabajó su cauce más tiempo y, la segunda, por la existencia de diferentes movimientos de la zona. Esta afirmación estaría fundamentada en la existencia de terrazas asociadas a los movimientos tectónicos. Se observan cambios de pendientes cuando los ríos antes mencionados llegan al cauce del río Pircas. Esta situación es puesta en evidencia por los depósitos aluviales asociados. Los diferentes cauces y líneas de escurrimiento tienen importantes gradientes debido a su juventud.

5. PARÁMETROS HIDROGEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

Perímetro

Esta característica expresada en kilómetros indica el tiempo de concentración de una cuenca, es decir, el tiempo que tarda una gota de agua que cae desde el punto más alejado de la cuenca en llegar a la desembocadura. Para la cuenca del río Pircas se midió un perímetro de 55,10 kilómetros.

FIGURA 1



Superficie

Se considera área total de la cuenca a toda el área de terreno cuyas precipitaciones son evacuadas por un sistema común de cauces, comprendida desde el punto donde se inicia la evacuación hasta su desembocadura. El área total de la cuenca del río Pircas es de 151,42 kilómetros cuadrados.

Forma de la cuenca

Determina la distribución de las descargas a lo largo del curso principal y es en gran parte responsable de las características de las crecientes que presentan las mismas. Es expresada por parámetros tales como el índice de circularidad, el coeficiente de compacidad y el factor de forma.

El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius:

es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área es equivalente al área de la cuenca de estudio. Se aproximará a una forma circular cuando su valor se acerque a la unidad. El coeficiente de compacidad de la cuenca del río Pircas es 1,26 que corresponde a una cuenca de clase 2 con forma oval redonda a oval oblonga.

Factor de forma:

el factor de forma es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del curso de agua más largo. Para cuencas de igual área y precipitaciones, tendrán menos probabilidades de crecientes aquellas que tengan factor de forma menor. El factor de forma de la cuenca del río Pircas es 0,51.

Sistema de avenamiento

Grado de ramificación:

para determinar el grado de ramificación del curso principal se considera el número de bifurcaciones que tienen sus tributarios, asignándoles un orden a cada uno de ellos en forma creciente, desde el inicio de la divisoria hasta llegar al curso principal de manera que el orden atribuido a éste nos indique en forma directa el grado de ramificación del sistema de drenaje. El río Pircas presenta un grado de ramificación 6.

Densidad de avenamiento:

este parámetro indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua de una cuenca y el área total de misma. La densidad de drenaje de la cuenca del río Pircas es 5,4 km/km². Este valor está controlado por la litología de la región, la permeabilidad y la cobertura vegetal.

Frecuencia de ríos:

es un parámetro que relaciona el total de cursos de agua con el área total de la cuenca. Se expresa en número de cauces por kilómetro cuadrado. Para la cuenca del río Pircas, 20,76 cauces/km² es el valor de frecuencia de ríos.

Relación de bifurcación:

es la relación entre el número de segmentos de un orden dado y los de orden inmediato superior (Cuadro 1).

Relación de longitud:

es la relación entre longitud media de cauces de un orden con respecto a la longitud media de cauces de un orden inmediato inferior (Cuadro 1).

Coefficiente de torrencialidad:

este parámetro indica la relación entre el número de cursos de agua de primer orden y el área total de la cuenca. El coeficiente de torrencialidad del río Pircas es de 17,05 cauces/km². Se expresa en cauces/km² e indica la erodabilidad de una región al ser los cursos de primer orden de génesis erosiva.

CUADRO 1: RESUMEN DE PARÁMETROS HIDROGEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO PIRCAS

Perímetro de la cuenca (km)	55,1
Superficie	
Área total de la cuenca (km ²)	151,42
Forma	
Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius	1,26
Factor de forma	0,51
Sistema de avenamiento	
Grado de ramificación	6
Número de cauces de orden 1	2582
Longitud de cauces de orden 1 (km)	482,65
Relación de longitud cauces orden 2/ orden 1	0,46
Relación de bifurcación cauces orden 1/ orden 2	6
Número de cauces de orden 2	425
Longitud de cauces de orden 2 (km)	174,8
Relación de longitud cauces orden 3/ orden 2	0,44
Relación de bifurcación cauces orden 2/ orden 3	4
Número de cauces de orden 3	101
Longitud de cauces de orden 3 (km)	93,94
Relación de longitud cauces orden 4/ orden 3	0,55
Relación de bifurcación cauces orden 3/ orden 4	4
Número de cauces de orden 4	25
Longitud de cauces de orden 4 (km)	42,01
Relación de longitud cauces orden 5/ orden 4	0,79
Relación de bifurcación cauces orden 4/ orden 5	3,5
Número de cauces de orden 5	7
Longitud de cauces de orden 5 (km)	19,04
Relación de longitud cauces orden 6/ orden 5	0,18
Relación de bifurcación cauces orden 5/ orden 6	7
Número de cauces de orden 6	1
Longitud de cauces de orden 6 (km)	11,4
Densidad de avenamiento (cauces/km ²)	5,4
Frecuencia de los ríos (cauces/km ²)	20,76
Coeficiente de torrencialidad (cauces/km ²)	17,05

6. DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

A partir del estudio realizado sobre los aspectos hidrogeomorfológicos de la cuenca del río Pircas se pueden

inferir las siguientes consideraciones.

La cuenca objeto de estudio presenta un avenamiento de grado de ramificación seis, no muestra ramificaciones anómalas.

Las rocas terciarias y cuaternarias presentan una alta densidad de avenamiento y un estado erosivo incipiente. Estas características no se observan en las rocas ordovícicas.

La relación de bifurcación se mantiene constante en un valor de cuatro, con excepción de los órdenes primero y quinto donde toma valores de seis y siete respectivamente. Las causas de estas irregularidades son diferentes en cada uno de los casos. En el primero, se debe al elevado comportamiento erosivo de los cauces. En el segundo, es decir, en los cauces de quinto orden, el valor siete de la relación de bifurcación tiene su origen en la importante sedimentación producida por la descarga de los afluentes en el río Pircas.

La existencia de un solo cauce de orden seis se debe a las características estructurales de la depresión donde se ubica el campamento central de la mina Pirquitas. La cuenca se encuentra dominada por un lineamiento central de dirección este-oeste que encauza todo el avenamiento en una sola dirección.

La relación de longitud de los diferentes órdenes de

la cuenca es uniforme. El primer valor es de 0,46 creciendo a medida que aumenta el número de orden, alcanzando un valor de 0,79 en el orden quinto. Esto indica que los cauces aumentan ligeramente su longitud media a medida que aumentan de orden. Un evento atípico se produce en la relación de longitud entre el cauce de orden sexto respecto de los de orden quinto. Aquí su valor es 0,18. Esta relación es la que corrobora la existencia del lineamiento estructural sobre el que fluye el río Pircas.

Resumiendo, podemos decir que la región estudiada fue elevada en varios eventos por los últimos movimientos andinos; lo que explica que el relieve se encuentra en un estado de juventud y se manifiesta a través de la presencia de terrazas asociadas a estos cambios tectónicos. Este rejuvenecimiento del paisaje dejó expuestas rocas ordovícicas y terciarias. Los fenómenos que tuvieron lugar en la zona proporcionaron diferentes productos, como las rocas extrusivas -Ignimbrita Granada- y el domo intrusivo -Cerro Galán-, quien modificó el curso de los ríos Laime y Pircas, cuya cuenca es objeto del presente trabajo.

Como consideración final, destacamos que la cuenca del río Pircas posee una forma oval redonda a oval oblonga y de acuerdo a su coeficiente de compacidad (1,26) presenta una moderada a baja probabilidad de concentrar crecientes, lo que se presenta reflejado en su bajo valor del factor de forma (0,51).

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BELLMANN, R. N. Y R. CHOMNALES, 1960.

Estudio Hidrogeológico del valle de Puesto Grande y sus posibilidades económicas.
Acta Geol. Lilloana, S. M. de Tucumán, 3: 59-84.

COIRA, B.; CAFFE, P.; DÍAZ, A. Y A. RAMÍREZ., 1996.

Sistema de calderas anidadas del Cenozoico superior: Vilama-Coruto, Puna (Argentina)-Altiplano (Bolivia).
Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia, Tarija, Bolivia.

DIETTA, P., 1999.

Vulnerabilidad geoambiental de la cuenca del río Pircas, Jujuy, Argentina.
Trabajo Final. Fac. de Cs. Exac. Fís. y Nat. Univ. Nac. de Córdoba.

HARRINGTON H. J. Y A. F. LEANZA., 1957.

Ordovician trilobites of Argentina.
University of Kansas, Dpto Geol. Spec. Publ. 1-272. Lawrence.

HORTON, R. E., 1945.

Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology,
Geol. Soc. Am. Bull., 56:275-370.

MANSILLA, L., 1998.

Evaluación de las transformaciones del paisaje
Curso. Asociación argentina de geología aplicada a la Ingeniería. Córdoba, Argentina.

TURNER, J., 1978.

Geología de la Comarca de Mina Pirquitas, Jujuy.
VII Congr. Geol. Arg. Neuquén, Actas I, pp 351-365.

TURNER, J., 1982.

Descripción Geológica y mapa geológico de la hoja 3 a-b, Mina Pirquitas, Jujuy.
Servicio Geológico Nacional. Boletín N° 187. Sec. Ind. y Min. Buenos Aires.



Utilización de cartografía geotécnica en la asignación de coeficientes de balasto para el cálculo de estructuras sometidas a momento de vuelco

Elzeard, Luis - Bolinaga, Raúl

1. INTRODUCCIÓN

En la presente cartografía de suelos de la planta urbana de Cutral-Có y Plaza Huincul, provincia del Neuquén, a escala 1:15.000; se han representado valores de coeficientes de balasto sobre las diferentes zonas con parámetros particulares para el cálculo de momentos de vuelco por el método de Sulzberger, aplicables al diseño de fundaciones sometidas a esfuerzos horizontales.

Este mapa resulta de utilidad para las empresas de servicios eléctrico y telefónico, como también de construcciones civiles en general, ya que responde a las necesidades de contar con información amplia y confiable para la asignación de coeficientes de balasto y fricción en el cálculo de fundaciones del tipo mencionado.

La posibilidad de disponer *a priori* de esta información resulta beneficiosa para prever los costos de excavación y de materiales para construcción de cimentaciones en un proyecto, por ejemplo: de tendido eléctrico, al poder estimar las dimensiones de las fundaciones en forma previa a las excavaciones.

Los parámetros presentados en cada zona pueden ser utilizados para determinar el dimensionamiento de las fundaciones conjugando seguridad con economía de obra.

La metodología de aplicación de la información cartográfica se ha tratado de simplificar al máximo, de manera que los datos se utilicen de forma directa y sencilla en las ecuaciones de cálculo.

A modo de apoyo, se presenta junto al mapa un texto explicativo donde se da una visión general del tipo de suelos de la zona y sus problemas relacionados con las fundaciones. También se expone brevemente el método utilizado para la elaboración del mapa y algunos aspectos relativos al uso de la información presentada en el trabajo.

2. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS DE CUTRAL-CO Y PLAZA HUINCUL

Los suelos presentes en las ciudades de Cutral-Có y Plaza Huincul se pueden agrupar en dos unidades con características propias bien diferenciadas en cuanto a sus propiedades geomecánicas.

Una de estas unidades, la más antigua, está conformada por areniscas amarillentas, fácilmente identificables, pertenecientes al Miembro Huincul de edad Cretácico Superior.

Sobre el Miembro Huincul se deposita la otra unidad compuesta por arenas limosas y limos arenosos sueltos de edad Reciente. A continuación se describe cada una de ellas.

Areniscas Miembro Huincul

Integrada predominantemente por areniscas amarillentas, grises y rojizas, de grano medio a grueso, con cementación variable, desde friables hasta bien consolidadas. Estos materiales se clasifican como roca y constituyen el sustrato de mayor capacidad portante de la zona, con tensión admisible mínima estimada en 4,000 kg/cm².

Dentro de este paquete es frecuente encontrar intercalaciones de arcillas y limolitas verdes y rojizas, muy

Entregado: 18 de Mayo de 1999 ■ Aceptado: 27 de Agosto de 1999

GeoComahue S.H., Nolasco 690, 8322 Cutral-Có,
Provincia del Neuquén

compactas y de plasticidad relativamente alta. Algunas de estas arcillas son activas, es decir propensas a cambios volumétricos relacionados a modificaciones en su humedad. La tensión admisible de estos paquetes arcillosos varía entre 1,500 y 3,000 kg/cm².

Arenas Aluviales Modernas

Compuesta por arenas limosas castañas, sin plasticidad y de baja compacidad. La tensión admisible de estos materiales es muy variable, oscilando entre 0,150 y 0,700 kg/cm².

Subordinadamente se intercalan niveles aislados de arcillas limosas rojas de plasticidad menor que las de la unidad anterior. Su tensión admisible media es de 1,500 kg/cm².

El conjunto de estos sedimentos alcanza un espesor máximo de 7 m.

3. RIESGOS GEOTÉCNICOS

Algunos suelos pertenecientes a la zona de estudio suelen presentar, bajo determinadas condiciones, un comportamiento problemático. El desconocimiento de estos eventuales riesgos, como también una incorrecta identificación de los suelos, pueden provocar serios inconvenientes en las estructuras de las construcciones.

A continuación se mencionan los principales riesgos geotécnicos que han sido detectados en la zona:

Arcillas Expansivas

Dentro de la unidad litológica del Miembro Huincul se han detectado capas de arcillas verdes y grisáceas, con espesores de pocos centímetros hasta 2,50 m, cuyos altos parámetros de plasticidad ($LL > 50$, $IP > 30$) permiten identificarlas como potencialmente expansivas.

Las consecuencias de los cambios volumétricos (expansión o contracción) pueden provocar el levantamiento o hundimiento de las fundaciones.

La presencia de estas arcillas ha sido detectada principalmente en los Barrios 25 de Mayo y Pueblo Nuevo de Cutral-Có, extendiéndose hacia Plaza Huincul. No se puede descartar que se localicen también en otras zonas.

Asentamientos

Las propiedades mecánicas de los suelos areno-limosos de las zonas I y II implican, por su baja densidad y resistencia, la posibilidad de asentamientos importantes e incluso fallas por colapso.

Las variaciones de humedad por anegamiento y la cercanía a fuentes vibratorias favorecen el reacomodamiento de las partículas. En el caso particular de fundaciones

para columnas mediante dados de hormigón, además de la problemática estética, se produciría pérdida de estabilidad de las columnas con peligro de vuelco.

Erosión

En cercanías de las líneas de drenaje principales, existe riesgo de erosión del suelo de la tapada, con pérdida de sustentación lateral.

En las zonas más expuestas a la acción del viento, especialmente en los altos topográficos, se produce la voladura de suelo suelto con los consiguientes peligros de pérdida de estabilidad de las bases.

4. ZONIFICACIÓN DE COEFICIENTES DE BALASTO

Metodología

Dada las características y uso de este parámetro, se ha decidido presentar la información a través de una hoja a escala 1:15.000 del amanzanamiento catastral del área urbana de las ciudades de Cutral-Có y Plaza Huincul (Fig. 1).

La información geotécnica básica se obtuvo del Mapa Geotécnico de Cutral-Có y Plaza Huincul, trabajo que sido editado parcialmente para la ciudad de Cutral-Có. Las litologías, profundidades, espesores y extensión areal fueron obtenidos del Mapa mencionado.

En el presente trabajo se asignan, para cada zona, valores de coeficientes de balasto y coeficientes de fricción entre suelo y cemento para el cálculo de momentos de empotramiento y momentos de fondo, en función de las litologías presentes y de un diseño tipo de fundación de columnas para redes de distribución eléctrica.

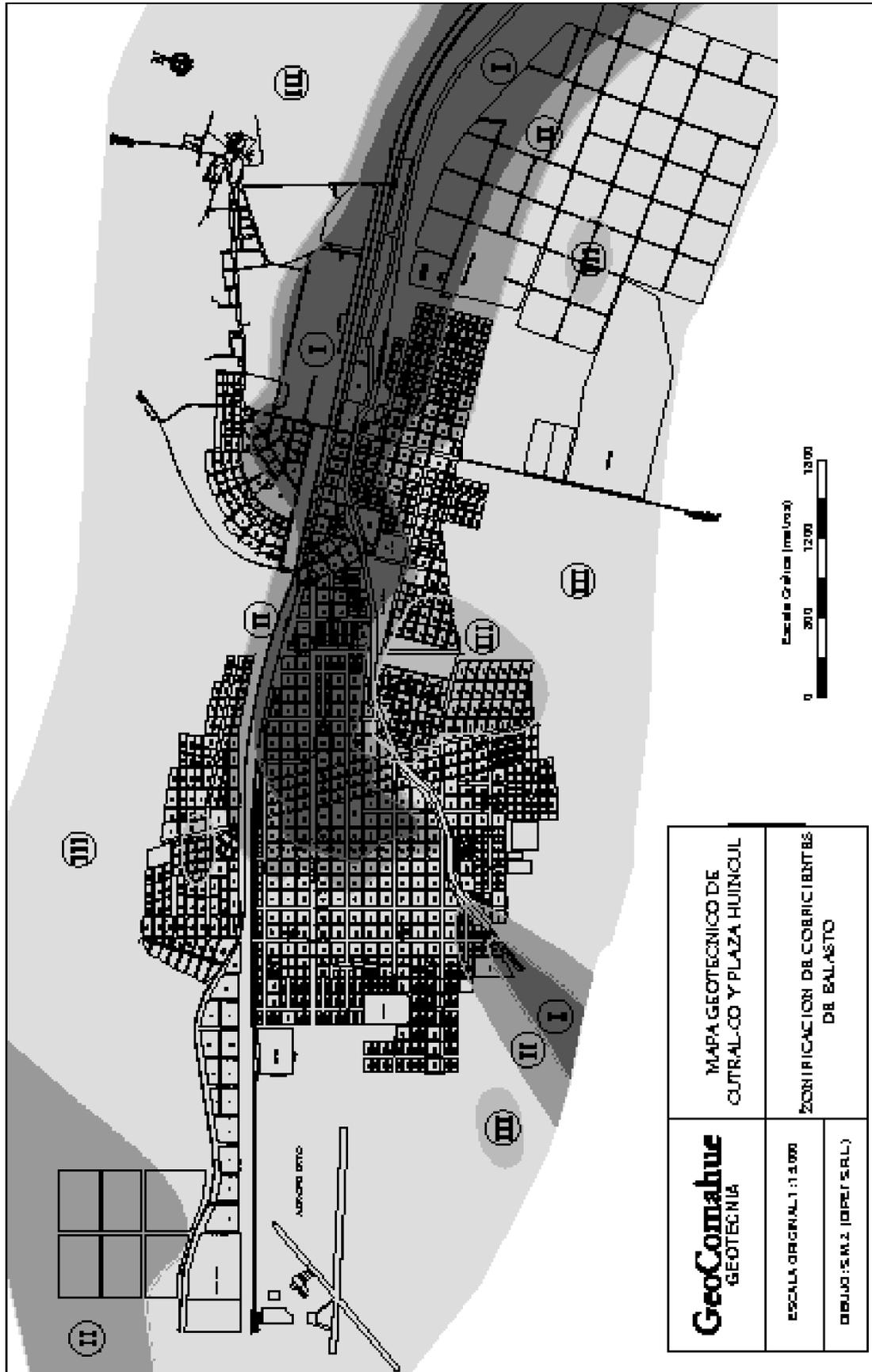
Los valores de coeficiente de balasto y de fricción fueron obtenidos a partir de correlaciones de ensayos de penetración normalizados con dichos parámetros, a partir de tablas preparadas por distintos autores (*Manzur, Faas y Terzariol, 1989*).

Los datos resultantes se originan en la información de aproximadamente 200 ensayos de penetración realizados a profundidades de 1 y 2 m cubriendo el área de mapeo.

Se ha realizado un ordenamiento estadístico de los datos determinando un rango de mayor frecuencia de ocurrencia (90%). De este modo se obtuvieron promedios de resistencia a la penetración para cada litología a la profundidad considerada, valores que luego se correlacionaron con las tablas mencionadas.

Se han diferenciado 3 zonas en función del tipo de suelo y del espesor afectado por un dado de fundación dimensionado a priori con altura máxima de 1,50 m.

FIGURA 1: MAPA GEOTÉCNICO DE CUTRAL-CÓ Y PLAZA HUINCUL



Para cada zona se han asignado coeficientes de balasto de empotramiento y de fondo como así también coeficientes de fricción entre suelo y cemento utilizables para la elección de las ecuaciones de cálculo (Fig. 3).

Zona I

El límite de esta zona lo constituye la línea correspondiente a un espesor mínimo de arena suelta de 1,50 m, razón por la cual las fundaciones estarán en contacto exclusivamente con este material. La diferencia de valores de empotramiento y fondo está dada por el aumento de la compacidad de las arenas en función de la profundidad.

Esta zona se caracteriza por suelos de fácil y rápida excavación, por lo menos para las profundidades requeridas en este tipo de fundaciones. La operación se puede realizar simplemente con palas.

Zona II

Está delimitada por las líneas correspondientes a 0,50 y 1,50 m de espesor de arenas sueltas. El valor del

coeficiente de empotramiento es el mismo que el de la zona I, modificándose el valor del coeficiente de fondo, ya que la base de la fundación se considera que apoyará sobre las areniscas o arcillas compactas subyacentes.

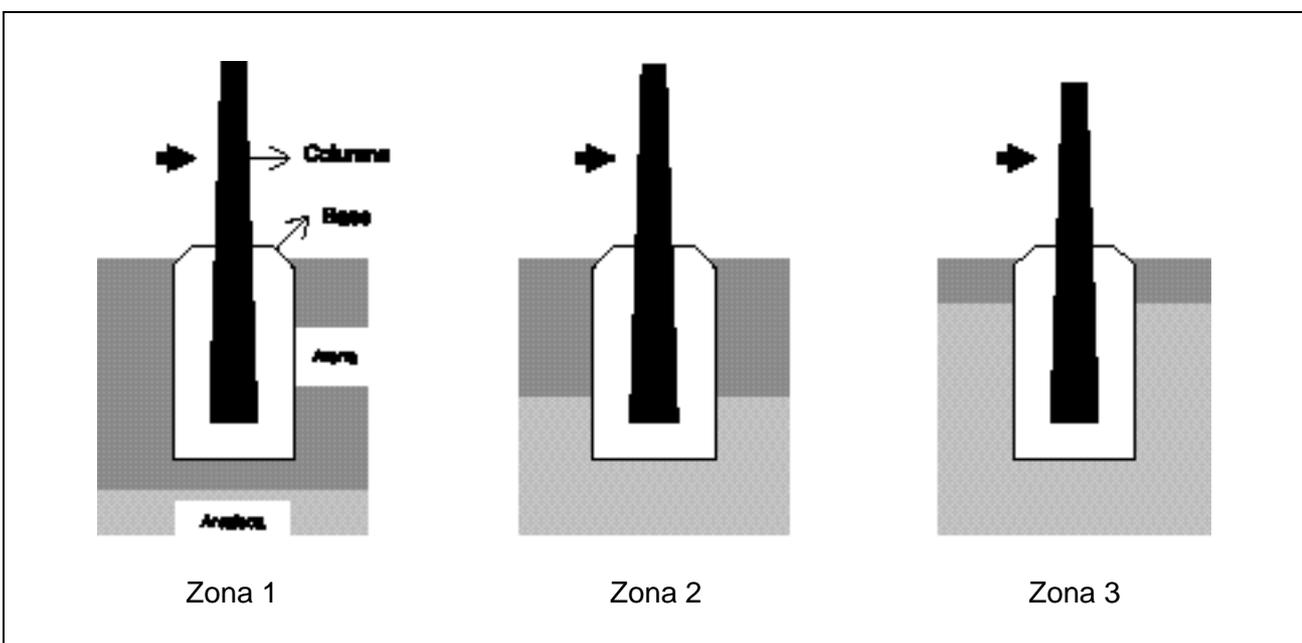
En cuanto a la excavabilidad, puede resultar fácil y rápida en la sección superior de arena suelta, encontrándose dificultades a mayor profundidad por cuanto es posible encontrar areniscas y arcillas muy compactas de difícil excavación, requiriéndose como mínimo barreta y picador; y en casos extremos, martillo neumático.

Zona III

Corresponde a afloramientos y subafloramientos de areniscas resistentes. En esta zona se asume que el espesor de arena suelta no supera 0,50 m, por lo tanto se asignan valores de empotramiento y fondo vinculados a las areniscas mencionadas o a intercalaciones arcillosas.

Las condiciones de excavación son difíciles por tratarse de areniscas y arcillas al igual que en la sección inferior de la zona II.

FIGURA 3: CORTES ESQUEMÁTICOS DE CADA ZONA



5. APLICACIÓN

Para realizar el cálculo del momento de empotramiento y de fondo de una fundación se deben utilizar los coeficientes que figuran en el cuadro de la Fig. 2

En el caso de las Zonas II y III, en donde los coeficientes de fondo pueden variar según la fundación apoye

en arenisca o arcilla, se deberá verificar el tipo de material al momento de realizar las excavaciones.

La misma situación se presenta para la asignación de coeficientes de empotramiento en la Zona III. En este caso la altura del dado de hormigón debe considerarse a partir de la base de la capa de arena suelta, despreciando su influencia.

FIGURA 2: CUADRO DE VALORES DE COEFICIENTES POR ZONA

ZONA	COEFICIENTE DE BALASTO				COEFICIENTE DE FRICCIÓN			
	Empotramiento		Fondo		Empotramiento		Fondo	
I	2,5		3,6		0,30		0,35	
II	2,5		20	5	0,30		0,50	0,60
III	20	5	20	5	0,50	0,60	0,50	0,60
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Valor de Arenisca</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Valor de Arcilla</div> </div>								

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BOLINAGA, R. Y ELZEARD L., 1998.
 Mapa Geotécnico de la Ciudad Cutral-Có.
Municipalidad de Cutral-Có, Neuquén.

GÓMEZ, O.I., Y CAMPAGNUCCI, D.J., 1984.
 El Método de Sulzberger - Hipótesis y Realidad.
Memorias de VIII Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Volumen II, Neuquén.

MACIEJEWSKI, T., 1964.
 Cálculo de Fundaciones para Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica con el Método de Sulzberger.
Revista Electrotécnica.

MANZUR, A., FAAS, H.E., Y TERZARIOL, R., 1989.
 Fundaciones y Construcciones de Albañilería.
Dirección General de Publicaciones, Universidad Nacional de Córdoba.



Contaminación de freática por vertido de residuos sólidos urbanos en Villa María Córdoba, Argentina

Fernández, Guillermo José

Resumen

Este trabajo analiza la contaminación de la freática por un vertedero no controlado de R.S.U. (Residuos Sólidos Urbanos), que funciona desde 1970. La Ciudad de Villa María, con más de 67.577 habitantes ha derivado al sitio más de 250.000 Tm de residuos domiciliarios, especiales, industriales y patógenos. Allí se practica el enterramiento no controlado, la quema y la tapada final con suelo.

El predio se ubica en la Llanura Pampeana, en una extensa zona de descarga hidrológica, con el nivel freático próximo a la superficie, vegetación hidrófila, suelos hidromórficos, lagunas y bañados, aguas mineralizadas, dominancia de sodio, cloruros y sulfatos en la composición, etc.

Los materiales constituyentes del remate de la columna estratigráfica y que conforman el espesor no saturado y el primer acuífero son arenas limosas de origen fluvio-eólico, originados por el redépósito de loes. El nivel freático oscila entre 4 y 5 m y fluye hacia el Río Tercero, la permeabilidad es media a alta, factores que generan un riesgo elevado de contaminación del acuífero.

Se utilizaron cuatro puntos de medición y muestreos para estimar las características principales del acuífero aguas arriba y abajo del vertedero. Cada muestra se dividió en dos alícuotas, remitiéndoselas a sendos laboratorios de la Universidad Nacional de Córdoba.

Se determinaron 21 parámetros químicos, y trazaron curvas de isoconcentración para cada parámetro químico significativo. La composición aniónica y catiónica se representó por medio del diagrama ternario de Piper. Determinándose el Índice de Calidad de Aguas (ICA) de Bascarán, con doce parámetros, y de este modo se estableció la pérdida de calidad debida al vertedero, se propone como método de Auditorías Ambientales de Vertederos, lo cual es una innovación metodológica en el país.

Las aguas naturales corresponden a aguas de mineralización media, extremadamente bicarbonatado-sódicas, con un pH básico. Se determinó un incremento de la salinidad total, aguas abajo del vertedero, pasando de 1070 a 2100 mg/dm³. Mediante el uso de diagramas ternarios se observa un moderado incremento de cationes alcalino-térreos y en menor medida de sulfatos.

Mediante la utilización de Índices de Calidad de Aguas (ICA) se pudo establecer una pérdida que desde una calidad inicial del orden de 66% (algo pobre por sodio y nitritos) pasa a una calidad final de 48%. Principalmente por aumento de los parámetros de mineralización (C.E.; R.S., Cl⁻, SO₄⁼, Na⁺) y de nitratos.

Los principales disturbios en la freática son de parámetros de mineralización con un gradiente coincidente con el sentido de flujo de las aguas subterráneas, con un predominio de los procesos de difusión molecular y advección.

Entregado: 19 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 20 de Junio de 1999

Dirección de Programación y Acción Ambiental. Gobierno de
Córdoba - Av. Vélez Sársfield 2300, (5016) Córdoba, Argentina.
Tel: (0351) 4688611; Fax: (0351) 4696769

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto analizar la situación de la freática frente a los impactos de incorporación de sustancias contaminantes provenientes de un vertedero no controlado de R.S.U., el cual ha estado funcionando durante un período de más de 25 años, con inicio de las operaciones en 1970. Se ha considerado que los impactos sobre la calidad del agua freática son los más relevantes en esta actividad por su importancia, magnitud, persistencia y extensión (*World Bank, 1991 y Kempa & Kempa-Teper, 1989*)

El sitio ha recibido R.S.U. de la localidad de Villa María, que ocupa el tercer lugar en la provincia por su población. El crecimiento en el período fue de 49.688 (*Censo Nacional 1970*) a 67.577 habitantes (proyección para 1995 del *Censo nacional 1991*). Los residuos derivados a este vertedero totalizan alrededor de 250.000 Tm e incluyen residuos domiciliarios, especiales, industriales y potencialmente patógenos. Los establecimientos industriales sumaban 165 en 1995, de ellos el más del 40% son alimenticios, un 20% de producción metal-mecánica y un 10% del rubro textil.

Puede considerarse entonces como un caso típico de las denominadas ciudades medianas de nuestro país, también es representativo de ciudades de la Llanura Pampeana en cuanto a litotipo del sustrato (limos pampeanos) y la profundidad del nivel freático (alrededor de 5 m).

Otro tanto puede decirse de los tratamientos a los que se somete a los R.S.U., en este vertedero se practica el depósito en fosas excavadas hasta el techo de la freática, se queman los residuos para prolongar la vida útil de las fosas, las que una vez colmatadas se tapan con suelo del lugar.

De acuerdo a investigaciones hidrogeológicas efectuadas para el proyecto de vertedero controlado Villa María en el año 1995, la freática del lugar fluye con dirección al este-sureste, descargando en el curso medio-inferior del Río Tercero o Ctalamochita. El predio se ubica en la porción intermedia a baja de la Llanura Pampeana Cordobesa, "Llanura anegadiza" de *Capitanelli (1979)*.

La llanura anegadiza conforma una extensa zona de descarga hidrológica con abundantes manifestaciones de tal carácter: nivel freático próximo a la superficie, vegetación hidrófila, suelos hidromórficos, cuerpos de agua superficiales en forma de lagunas y bañados, aguas de mineralización creciente, importante proporción de sodio, cloruros y sulfatos en la composición iónica, etc.

Esta zona de descarga comienza unos 20 km al oeste del vertedero, se extiende hacia el este hasta el alto estructural (pilar) de San Francisco-Tostado y dista 100 km de la zona de recarga del piedemonte de las Sierras Chicas.

Los materiales que constituyen el espesor no saturado y el primer acuífero son arenas limosas de origen fluvio-eólico, originados por el redepósito de loes de la Formación General Paz (*Santa Cruz, 1972*). El nivel freático oscila alrededor de los -4,2 m (en años lluviosos) a -5,0 m (en años normales), y el material del sustrato de permeabilidad media a alta ($K = 2,6 \times 10^1$ m/día), ambos son factores que generan un riesgo elevado de contaminación del acuífero (*Fernández & Cendoya, 1993*).

Se excluyen otras posibles fuentes urbanas de contaminación del acuífero (descargas cloacales, e industriales), ya que aguas arriba del vertedero no hay sistemas urbanos en los próximos 15 km.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Se efectuaron tres sondeos mecánicos hasta la freática, se entubaron con caños de P.V.C. en 110 mm de diámetro, también se utilizó un molino existente, se procedió a medir los niveles estáticos y tomar muestras de los 4 pozos, si bien el número de puntos es bajo, se trata de un muestreo estratégico para estimar las características principales del acuífero aguas arriba y abajo del vertedero.

Cada muestra se dividió en dos alícuotas, una para remitir al laboratorio de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (Alícuota 1) y otra para remitir al Laboratorio del Centro de Química Aplicada -CEQUIMAP- (Alícuota 2), ambos de la Universidad Nacional de Córdoba.

Sobre la primera se determinaron: Residuo seco por evaporación a 110 C, conductividad eléctrica, pH, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, nitratos, nitritos, amonio, hierro, cinc, cromo, arsénico, y carbono orgánico. Mientras que sobre la segunda: sustancias extraíbles con éter etílico en frío, plomo y cadmio. Los métodos y límites de detección se consignan en la Tabla 1.

Se trazaron curvas de isoconcentración de carácter cualitativo de cada parámetro químico significativo (Fig. 1 y 2). La composición aniónica y catiónica se representó por medio del diagrama ternario de Piper (Fig. 3).

Para la determinación de Índice de Calidad de Aguas se utilizó el ICA (*Bascarán en Conesa Fernández-Vitora, 1995*), con doce de los parámetros determinados en este caso, con objeto de establecer la pérdida de calidad debida al vertedero y consecuentemente su impacto sobre la freática, a los fines de ser probado como método de Auditorías Ambientales de Vertederos, metodología no utilizada nunca en el país, según nuestra información.

TABLA 1: MICROCONTAMINANTES, MÉTODOS ANALÍTICOS Y LÍMITES DE DETECCIÓN

PARÁMETRO	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN
Zn	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EFAA)	0,4 ppm
Cr	EFAA	1,0 ppm
Fe	EFAA	2,5 ppm
As	Arsentest de Merck	0,01ppm
C orgánico	oxidación por vía húmeda con dicromato de potasio	5 mg/dm ³
Pb	EFAA	0,35 ppm
Cd	EFAA	0,07 ppm

3. RESULTADOS

Según se observa en las tablas 2 y 3, las aguas naturales corresponden a aguas de mineralización media (R.S. entre 500 y 1500 mg/dm³), extremadamente bicarbonatado-sódicas (más del 75% de bicarbonatos y más del 95% de sodio), con un pH básico lo cual indica un medio alcalino a fuertemente alcalino en el campo de las aguas naturales.

3.1. Mineralización

Se observa un incremento de la salinidad total hacia el pozo ubicado aguas abajo del vertedero (Pozo N° 3), que prácticamente duplica los valores del sector aguas arriba (Pozo N° 1, 2 y 4), pasando del orden de 27,5 a 55,6 meq/dm³, y de un promedio de 1070 a 2100 mg/dm³. (Fig 1 a) De modo que pasa del campo de las aguas de mineralización media a las de mineralización fuerte (R.S. > 2000 mg/dm³)

3.2. Análisis de Componentes Mayoritarios

Mediante el uso de diagramas ternarios de Piper

(Davis & De Wiest, 1971), puede observarse un moderado incremento del porcentaje de cationes alcalino-térreos respecto de sodio y de cloruros y en menor medida de sulfatos respecto de bicarbonatos y carbonatos (Fig. 3).

Las ubicaciones de los pozos conforman dos series gradadas (una para aniones y otra para cationes) en ambas, los valores extremos corresponden a los Pozos N° 1 (extremo alcalino y bicarbonatado) y N° 4 (extremo menos alcalino y bicarbonatado, con importante porcentaje de cloruros). Mientras que los Pozos N° 2 y 3, se ubican en el centro de la serie alternándose en ambos casos (cationes y aniones).

3.3. Índice de Calidad

Mediante la utilización de Índices de Calidad de Aguas (ICA) se pudo establecer una pérdida que desde una calidad inicial -representada por los pozos 1 y 2- del orden de 66% (algo pobre por excesiva presencia sódica y de nitritos que evidencian alteraciones en el ciclo del nitrógeno) pasa a una calidad final de 48% (en el Pozo 3). Principalmente por aumento de los parámetros de mineralización (C.E.; R.S., Cl⁻, SO₄⁼, Na⁺) y de nitratos.

TABLA 2: MINERALIZACIÓN, PH Y COMPONENTES QUÍMICOS MAYORITARIOS

Pozo N°	C.E. mS	R.S. ppm	p.H. upH	HCO ₃ ppm	CO ₃ ppm	SO ₄ ppm	Cl ppm	Ca ppm	Mg ppm	N a ppm
1	1300	1100	8,86	708,9	59,3	13,9	10,4	6,2	0,7	322,0
2	1450	1090	8,44	666,9	0,0	15,3	83,1	10,2	6,4	294,4
3	3000	2100	8,36	1087,2	92,8	92,5	168,6	14,2	6,0	616,4
4	1500	1020	8,07	441,7	46,8	44,7	133,1	15,6	7,7	294,4

FIGURA 1: ISOCONCENTRACIONES DE PARÁMETROS QUÍMICOS SIGNIFICATIVOS (PARTE 1)

a) Residuo seco a 105°; b) Cloruros; c) Sulfatos; d) Carbonatos y bicarbonatos; e) Sodio; f) Potencial Hidrogenión

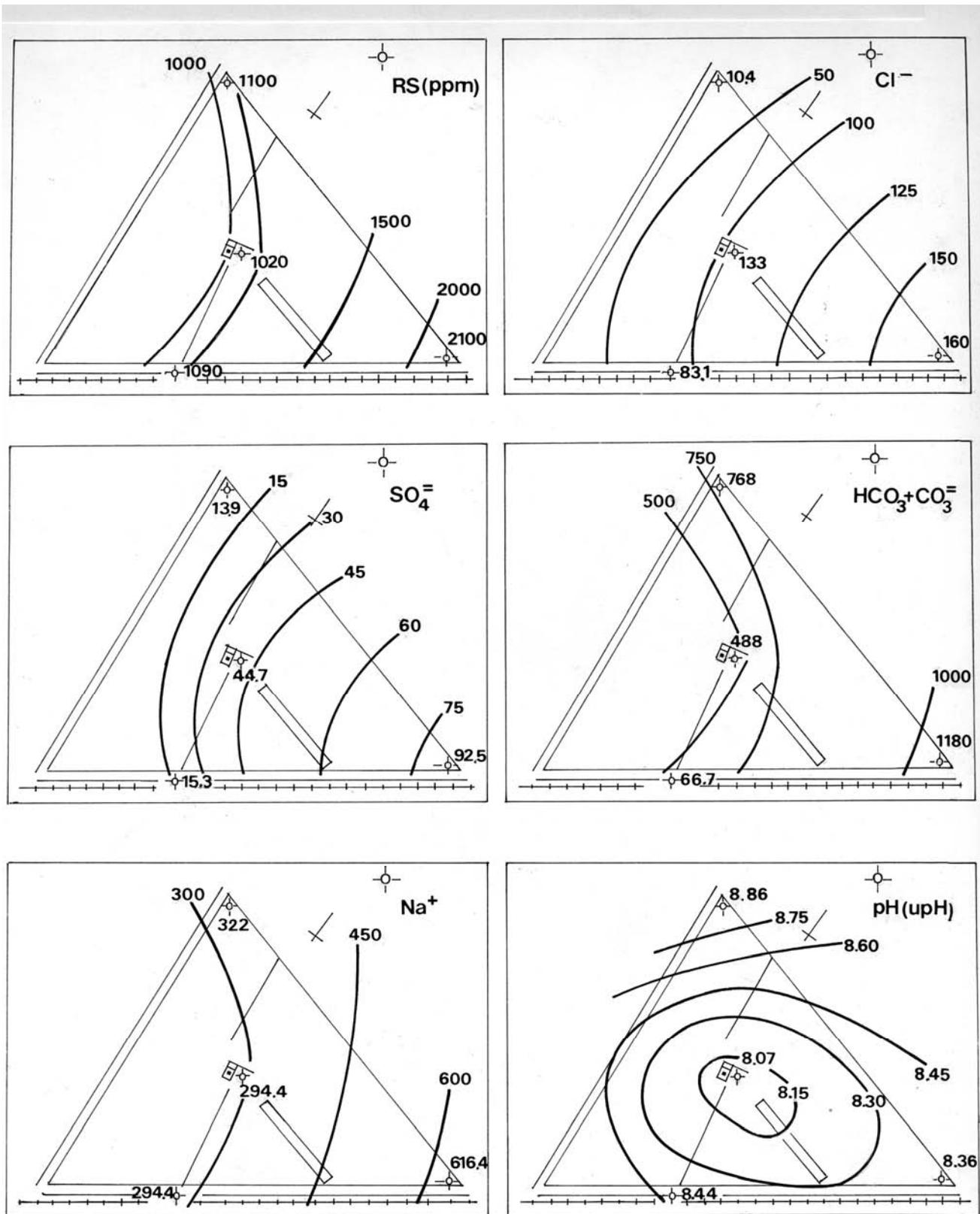


FIGURA 2: ISOCONCENTRACIONES DE PARÁMETROS QUÍMICOS SIGNIFICATIVOS (PARTE 2)

a) Calcio; b) Magnesio; c) Nitratos; d) Nitritos; e) Amonio; f) Hierro

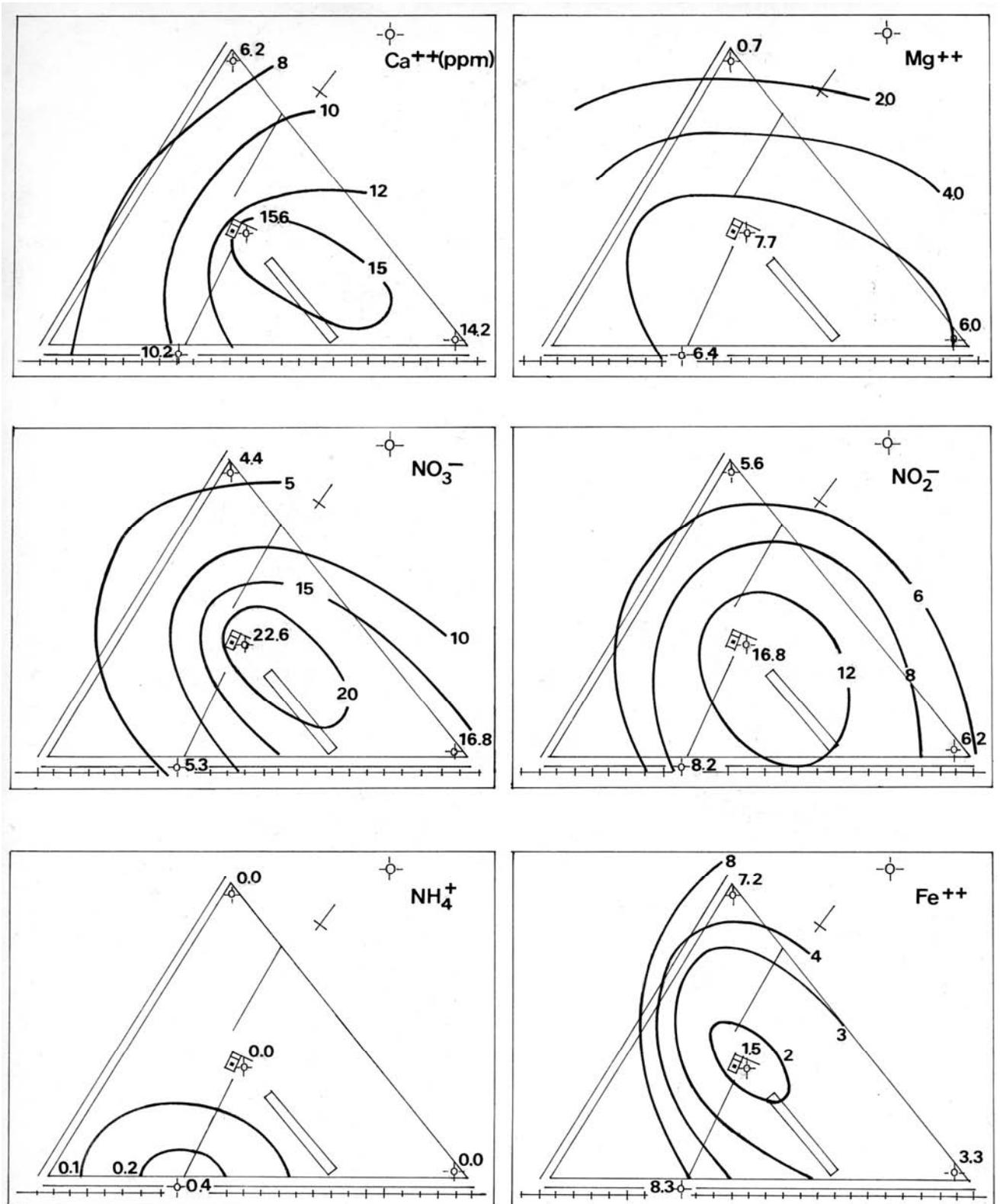


FIGURA 3: AGUAS FREÁTICAS DE LA ZONA DEL VERTEDERO DE R.S.U. DE VILLA MARÍA

Diagrama ternario de composición catiónica y aniónica

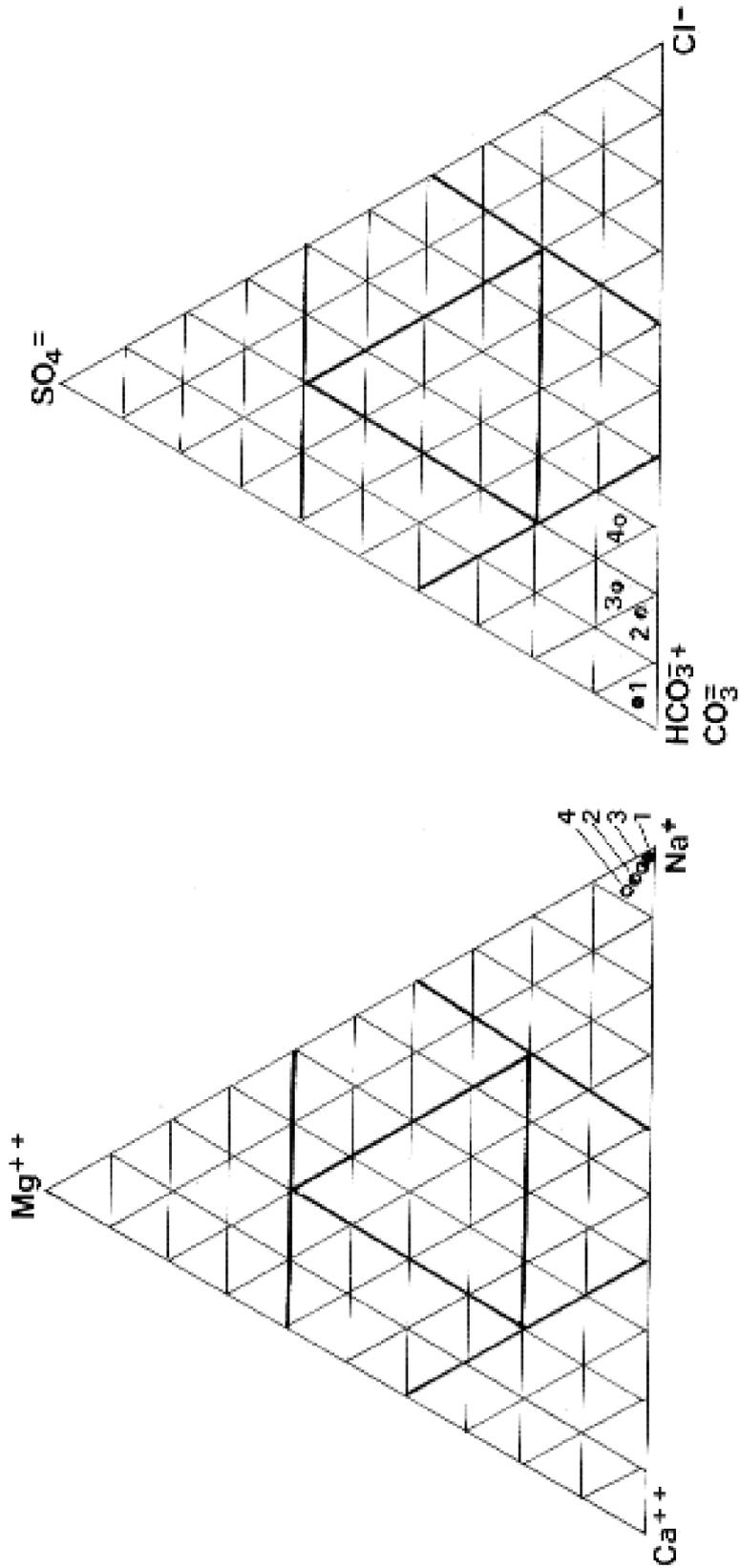


TABLA 3: COMPONENTES ACCESORIOS Y CONTAMINANTES (EN PPM, EXCEPTO TEMPERATURA)

Pozo N°	Fe	Zn	Cr	As	Pb	Cd	C org.	NO ₃	NO ₂	NH ₄	SSEEF	T (C)
1	7,2	0,4	1,0	0,01	< 0,35	< 0,07	< 5,0	4,4	5,6	0,0	156	18,3
2	8,3	0,4	1,0	0,01	< 0,35	< 0,07	< 5,0	5,3	8,2	0,4	116	18,3
3	3,3	0,4	1,0	0,01	< 0,35	< 0,07	< 5,0	16,8	6,2	0,0	44	18,4
4	1,5	0,4	1,0	0,01	< 0,35	< 0,07	< 5,0	22,6	16,8	0,0	148	18,4

TABLA 4: VALORES DE LOS INDICES DE CALIDAD DE LAS AGUAS (ICA)

Parámetros	Peso	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4
C.E.	(2)	78.0	72.0	40.0	70.0
R.S.	(2)	62.0	61.8	39.0	60.4
pH	(1)	72.8	81.2	82.8	88.6
SO ₄	(2)	94.4	93.9	63.0	82.1
C	(1)	95.8	73.4	56.3	63.4
Na	(1)	8.9	11.2	0.0	11.2
Ca	(1)	100.0	99.9	98.3	97.8
Mg	(1)	100.0	100.0	100.0	100.0
NO ₃	(2)	68.0	63.5	27.4	19.1
NO ₂	(2)	0.0	0.0	0.0	0.0
T (°C)	(1)	100.0	100.0	100.0	100.0
Total	(16)	1.082,3	1.048,1	776,2	924,2
ICA (%)		67,6	65,6	48,5	57,8

4. CONCLUSIONES

Los principales disturbios de la calidad química de la freática se producen en los parámetros de mineralización (Conductividad Eléctrica, Residuo Seco, Aniones Mayoritarios y Sodio) con un gradiente coincidente con el sentido de flujo de las aguas subterráneas, con un predominio de los procesos de difusión molecular y advección (*Gervasoni, 1991*).

La variación de las proporciones de los componentes mayoritarios no presentan una buena correlación con el impacto generado por la disposición final de los R.S.U.

En tanto que los parámetros del ciclo del Nitrógeno muestran un polo en el centro del lote, con una aureola o meseta que se elonga en el mismo sentido antedicho del flujo freático. Esto podría obedecer a la superposición de dos fuentes de nitrógeno amoniacal (el vertedero mismo por un lado, y corrales con bebederos, próximos al molino que constituye el Pozo 4); de cualquier modo no se observan excedentes amoniacales por lo que se presume una importante acción de bacterias desnitrificantes y un medio oxidante.

En cambio, los metales pesados no muestran ano-

malía alguna en la capacidad de detección disponible, por lo que se podría asignar importantes roles a la adsorción y complejización con coloides del suelo y a la precipitación debida a la alcalinidad del medio.

La pérdida de calidad es moderadamente fuerte, del orden de un cuarto de la calidad inicial.

Por otra parte el método del I.C.A. mejora el grado de discriminación alcanzado por el análisis de componentes mayoritarios.

Los usos potenciales del agua estaban inicialmente limitados a la bebida animal (condicional) y al uso industrial con tratamientos. Resultan ligeramente empeorados por los procesos de contaminación por R.S.U. No eran ni son aptas para bebida humana y riego.

No se han efectuado análisis de los residuos y sus lixiviados para definir posibles procesos de contaminación que tengan un período ventana hasta su aparición en la freática, y que puedan ocurrir en el futuro.

Futuras investigaciones debieran profundizar aspectos relacionados con la fase sólida del suelo y su interacción con la fase líquida (lixiviados y aguas freáticas).

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CAPITANELLI, R., 1979.
Geomorfología; en J.B.Vázquez, R.A. Miatello y M.E. Roqué;
Geografía Física de Córdoba, Ed. Boldt, Córdoba.
- CONESA FERNÁNDEZ -VÍTORA, V., 1995.
Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental;
Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- DAVIS, S.N. Y DE WIEST, R., 1971.
Hidrogeología,
Editorial Ariel, Barcelona.
- FERNÁNDEZ, G.J. Y CENDOYA, M.J., 1993.
Riesgo de contaminación hídrica por residuos sólidos urbanos de la cuenca del Río Xanaes (Segundo), Córdoba, Argentina.
Dirección de Programación y Coordinación Ambiental. Subsecretaría de Medio Ambiente. Ministerio de Salud. Gobierno de la Provincia de Córdoba., Primer. Encuentro Internacional y Segundo. Encuentro Nacional de Comités de Cuenca, Villa Carlos Paz.
- GERVASONI, S., 1991.
Discariche Controllate-Normativa, Indagini, Progettazioni, Monitoraggio, Bonifiche;
Hoepli Editori, Milano.
- KEMPA, E.S. Y KEMPA-TEPER, J.M., 1989.
Analisi dell'impatto ambientale degli impianti do stoccaggio dei rifiuti solidi,
RS -Rifiuti Solidi, Volumen 3, n. 4.
- SANTA CRUZ, J., 1972.
Geología al este de la Sierra Chica,
Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba, Tomo I, n. 3-4.
- WORLD BANK TECHNICAL PAPER NUMBER 140, 1991.
Environmental Assessment Sourcebook,
Volumen II, Sectorial Guidelines.



Perlitas de la provincia de Salta

Nuevas aplicaciones tecnológicas

Gea, S. - Noël, G. - Tapia, A. - Suárez, O.

Resumen

Se encuentran en explotación varios yacimientos en la Puna salteña para la producción de perlita expandida. Por sus características vítreas y su contenido de sílice las perlitas resultan, además, de interés por su posibilidad de uso como adiciones activas en hormigones. Para determinar su aptitud como tales, se ha efectuado la caracterización química y las propiedades en morteros y hormigones de material de dos yacimientos: La Ramada y Quirón.

Como resultado queda demostrada suficientemente su aplicabilidad como adiciones en hormigones.

1. INTRODUCCIÓN

Las perlitas deben su explotación a su empleo casi exclusivo como material expandido. Luego de la expansión a altas temperaturas, las partículas obtenidas reúnen características físicas y químicas que permiten su empleo como: agregado en hormigones livianos, filtros, soporte de catalizadores y agroquímicos. Por tratarse de un material con elevado contenido de sílice amorfa, resulta de interés su empleo como material puzolánico.

Desde el advenimiento del cemento Portland en el s. XIX, las mezclas puzolana-cal son raramente empleadas en hormigón estructural, pues el cemento Portland fragua y endurece a una velocidad considerablemente mayor. Uno de los productos de hidratación del cemento Portland es el hidróxido de calcio, el cual no es un material cementíceo y sólo puede convertirse en tal si se agrega una puzolana a

la mezcla de hormigón. Esta acción puede lograrse mezclando la puzolana con el cemento o empleándola como adición directa en el hormigón (adición activa). Independientemente de cómo se emplee, la reacción puzolánica es la misma. Las principales ventajas técnicas del uso de puzolanas en hormigón de cemento Portland incluyen: mejora de trabajabilidad, reducidos calor de hidratación y riesgo de fisuración térmica, incrementos de impermeabilidad y de durabilidad en ambientes ácidos o con sulfatos, alta resistencia al agrietamiento por reacción álcali-agregado y como corolario de todo ello, permite la obtención de hormigones de alto desempeño, con resistencias y durabilidad (Eperjesi *et al*, 1998) muy superiores a las normales. De hecho, muchas de estas ventajas son imposibles de alcanzar empleando sólo cemento Portland normal.

Para el presente trabajo se ha tomado como material de estudio, por razones prácticas, perlitas de dos canteras en explotación en la provincia de Salta.

2. YACIMIENTOS

Ramadas:

El distrito Ramadas está ubicado a pocos kilómetros

Entregado: 21 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 20 de Julio de 1999

Facultad de Ingeniería - Consejo de Investigación - Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150 - 4400 - Salta - Argentina

Tel: 54-387-425 5380 - FAX: 54-387-431 8014

E-mail: gea@unsa.edu.ar

al N de la localidad de San Antonio de los Cobres, inmediatamente al N de la intersección de la megafactura Calama-Olacapato-El Toro con la fractura submeridiana que limita por occidente el graben de S.A. de los Cobres-Guatayoc. Se trata de un yacimiento cuyo material perlítico deriva de la hidratación de un cuerpo obsidiánico. Petrográficamente se trata de riolitas (*Viramonte et al, 1988*). El yacimiento de donde se extrajeron las muestras provee de material granular y de alta superficie específica, de buena calidad y facilidad de explotación.

Quirón:

El distrito Quebrada Quirón se encuentra a unos 15 km al E de la localidad Estación Salar de Pocitos, en el flanco S del complejo volcánico Quevar. Algunas de las canteras son explotadas intensivamente. El material existente

es bastante homogéneo, apareciendo en forma dominante una perlita color verde botella con alta capacidad de expansión.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Al estudio de las perlitas de Quirón (en adelante Perlita 1) y de La Ramada (Perlita 2) se incorporó el estudio en todas sus etapas y con fines comparativos, de una ceniza volcánica (yacimiento Lumbreira, Pvcia. de Jujuy), tratándose esta última de una puzolana típica en la composición del cemento Portland puzolánico (en adelante, Puzolana).

Caracterización de las muestras

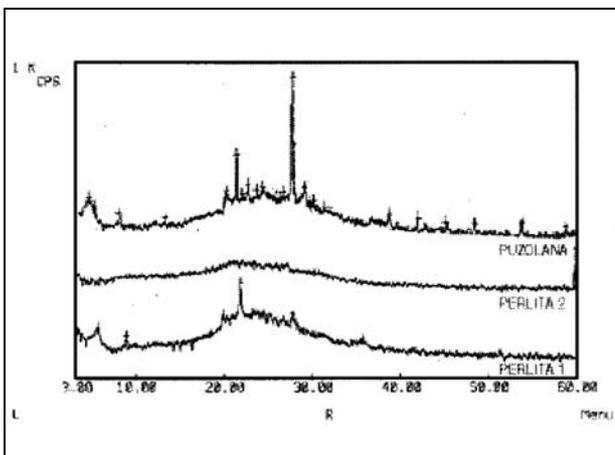
Análisis químico (%):

Los valores promedio se muestran en Tabla N° 1.

TABLA N°1: ANÁLISIS QUÍMICO DE PERLITA 1, PERLITA 2 Y PUZOLANA

MATERIAL	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O	S O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
PERLITA 1	69.6	14.9	1.61	5.49	0.01	0.02	0.51	3.67
PERLITA 2	68.1	16.1	2.63	4.62	0.10	0.05	0.73	4.52
PUZOLANA	69.0	13.1	2.54	1.51	0.69	0.55	0.35	2.5

FIGURA N° 1: DRX DE LOS MATERIALES



Difracción por rayos X:

A fin de determinar el contenido de material amorfo, se realizó DRX, observándose (Figura N° 1) para los tres materiales el contenido de material amorfo.

Estudio de costos de molienda:

El objeto de este estudio es llegar a cifras lo más aproximadas posible con respecto al consumo de energía, factor este muy relacionado con la inversión y el costo de explotación requeridos.

Densidad absoluta:

La densidad absoluta de ambas perlitas es de 2.5 g/cm³ y de la Puzolana, 2.3 g/cm³ determinadas según Norma IRAM 1624.

TABLA N° 2: CARACTERÍSTICAS DE MOLTURABILIDAD

	UNIDADES	PERLITA 1	PERLITA 2	PUZOLANA
MOLTURABILIDAD M	G/REV	1,31	2,02	1,24
INDICE DE TRABAJO Wi	KWh/T	21,31	13,28	29,04
POTENCIA W	KWh/T	11,28	7,91	17,83

Empleo de perlitas y puzolana en la elaboración de morteros y hormigones

Materiales:

Cemento: Se empleó cemento Portland HERCULES.

Arena: Se utilizó arena del Río Guachipas, con contenido de 90% de cuarzo y con la granulometría natural. La granulometría de esta arena difiere con respecto a la arena normal que definen las Normas IRAM, por lo que los resultados deben ser analizados en forma comparativa dentro del programa de ensayos.

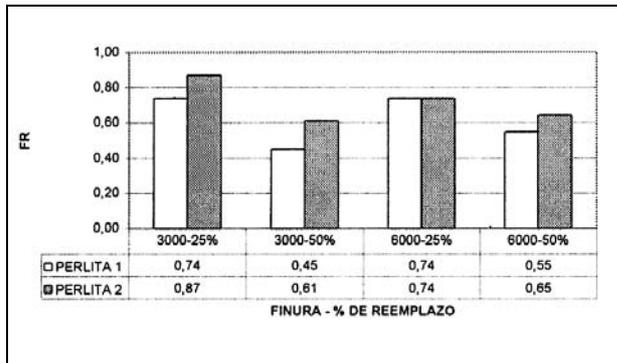
Metodología:

El estudio tecnológico de los materiales comprende tres etapas:

1ª Etapa.- Para ambas Perlitas y la Puzolana en morteros:

1.a. En estado fresco se determinó la pérdida de trabajabilidad de morteros con perlitas, a través de la fluidez relativa (FR) al mortero patrón. Esta FR es un indicador del grado de absorción de agua de la mezcla cuando se incorporan puzolanas a los morteros. Los ensayos se realizaron en mesa de escurrimiento, tomando constante el contenido de agua y midiendo el cambio de diámetro del tronco de cono de mortero luego de someterlo a compactación. (Figura N° 2)

FIGURA N° 2: FLUIDEZ RELATIVA



1.b. En estado endurecido: índice de actividad puzolánica (IAP), según Norma IRAM 1624 para los tres materiales, con finuras 3000, 6000 y 9000 cm²/g. (Figura N° 3)

2ª Etapa.- Morteros con Perlita: A partir de los resultados obtenidos en la 1ª Etapa, se elige la Perlita 2 frente a la Perlita 1 por su mejor aptitud tecnológica (Ver Análisis de Resultados y Conclusiones) y se evalúa la evolución de la resistencia en el tiempo para: mortero de control, morteros con Perlita con finuras 3000, 6000 y 9000 cm²/g y para cada finura,

dos reemplazos de cemento: 25% y 50%. (Figuras 4 a 7)

3ª Etapa: Hormigones por Perlita y aditivos.

Se efectuó el análisis cualitativo en estado fresco de los siguientes hormigones: a) normal; b) con superplastificante (HSP); con superplastificante y perlita molida a 6000 cm²/g (HSPP).

El objeto de este análisis es incorporar la perlita en hormigones con aditivos sin efectuar reemplazo de cemento, sino como filler, a fin de optimizar la calidad del hormigón.

En estado fresco se observó, para el mismo asentamiento (ambos hormigones fluyen), una notable mejora en la trabajabilidad del HSPP, pues la mezcla es menos cohesiva que la del HSP, evidenciando menores exudación y segregación.

En estado endurecido se siguió la evolución de la resistencia a compresión (Figura N° 8); la determinación de la resistencia a tracción por flexión en probetas prismáticas mostró un incremento en el HSP del 11% y para el HSPP del 37%.

FIGURA N° 3: VARIACIÓN DE LA ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON LA FINURA

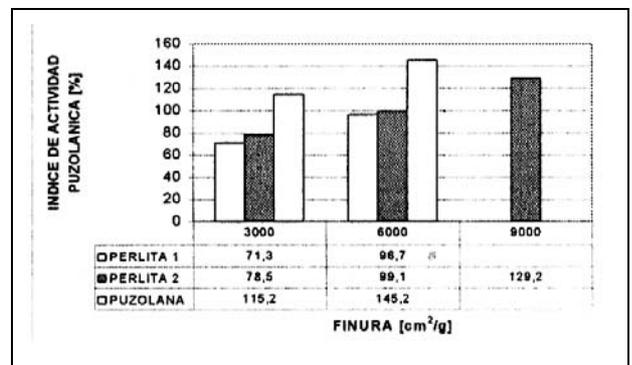


FIGURA N° 4: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

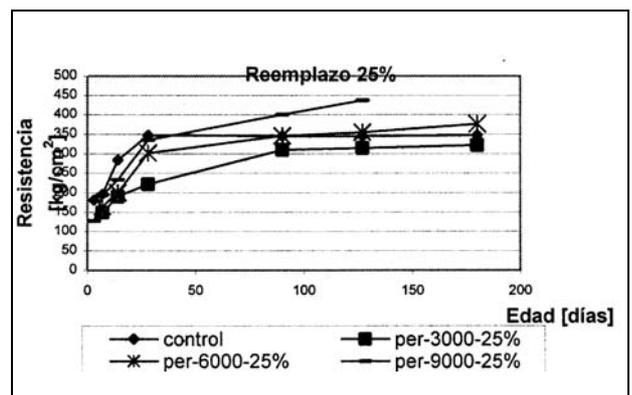


FIGURA Nº 5: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

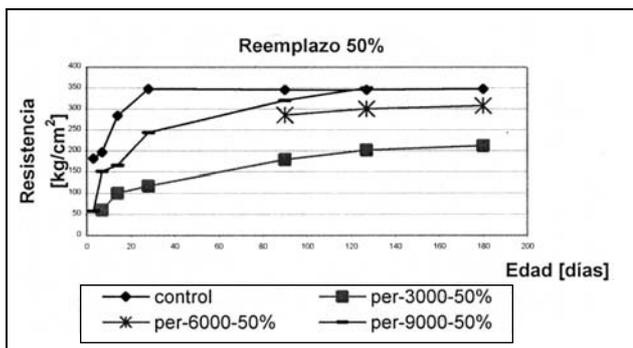


FIGURA Nº 6: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN

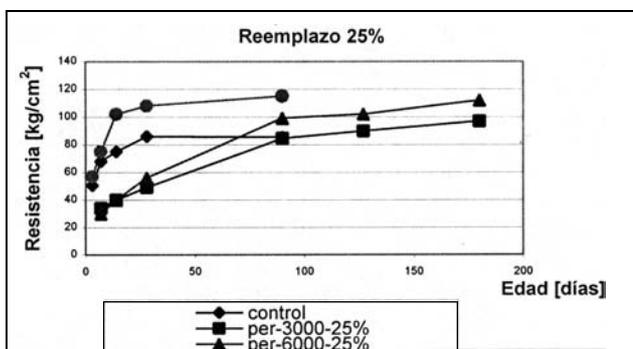


FIGURA Nº 7: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN

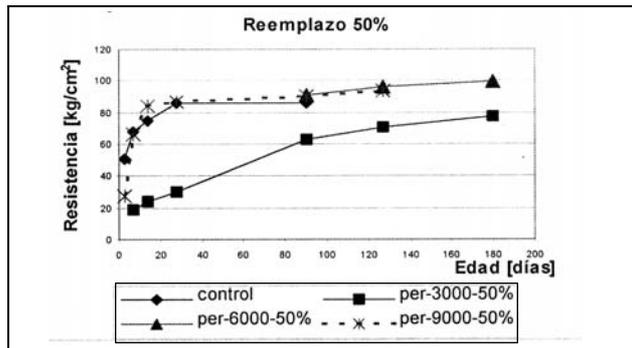
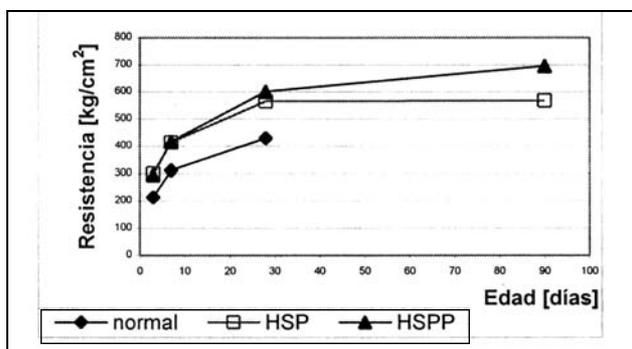


FIGURA Nº 8: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN HORMIGONES



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

1. De la caracterización de los materiales se observa que las perlitas reúnen el mismo porcentaje de sílice, alúmina y óxido férrico que las cenizas conocidas vulgarmente como "puzolanas".

Se confirma el incremento del IAP al incrementar la finura. Las perlitas pueden alcanzar el IAP de la Puzolana incrementando la finura.

2. La molturabilidad de las perlitas resulta mayor que la de la puzolana. Es decir, la energía requerida en la molienda es menor. Esta diferencia se ve incrementada en el caso de que se emplee, no ya la perlita cruda extraída del yacimiento como en el caso del presente trabajo, sino a) los finos de tamizado en planta clasificadora de crudo, o b) los finos de tamizado de perlita expandida (S. Gea et al, en vías de publicación).
3. Comparando la fluidez relativa, se observa que la Perlita 2 presenta una menor demanda de agua que la Perlita 1. El mejor desempeño tecnológico de la Perlita 2 se observa también a través de mayores valores del IAP y molturabilidad.
4. Analizando el comportamiento en estado fresco de hormigones con superplastificantes y perlita no aparece, sin embargo la influencia del incremento en la

demanda de agua observada en morteros. Ambos hormigones fluyen de igual manera. Esto confirma que el agua en la pasta normal no es buen parámetro para definir la demanda de agua en el hormigón, propuesto por Clariá et al, 1998.

5. Para perlita con finura de 9000 cm²/g y reemplazo de cemento de 25%, la resistencia a tracción de morteros se ve incrementada en edades tempranas. Ello resulta de especial interés cuando se necesita solucionar el problema de hormigones con riesgo de agrietamiento prematuro. Reemplazo elevado del cemento y finuras de perlita menores a 9000 proporcionan muy bajas resistencias a tracción.
6. Con respecto al desempeño en compresión, para reemplazo del 25%, el material presenta un buen comportamiento para finura mayor o igual a 6000 cm²/g.
7. Importantes economías pueden obtenerse reemplazando cemento por perlita o incorporándola al clinker.

5. AGRADECIMIENTOS

Es necesario manifestar nuestro reconocimiento a la empresa Juan Minetti S.A., al Instituto de Beneficios de Minerales (CONICET-UNSa), a la Geól. Nilda Menegatti (LANAIS-LAMAS-UNSa) y al Sr. José Galcerán.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CASTRÍA, N., PALAZZI S., AMÍN D., ANAYA D.
 “Hormigón de Alto Desempeño con Adiciones Minerales Activas del NOA”
XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. – S.M. de Tucumán - 1995
- CLARIÁ, M. Y LÓPEZ, R., 1998.
 “Base de datos de morteros y hormigones”.
1º Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón. Buenos Aires, junio de 1998.
- DESTÉFANIS, H., ERDMANN, E. Y VIRAMONTE, J., 1987.
 “Caracterización de materiales de origen volcánico con capacidad de expansión (perlitas) mediante técnicas de espectroscopía de I.R. y análisis térmico (TG y DTA)”.
Revista Latinoamericana de Ingeniería Química y Química Aplicada, 17: 301-313.
- EPERJESI, L., FERREYRA H., SARALEGUI, G. Y GIOVAMBATTISTA, A., 1998.
 “Influencia de las adiciones activas en la calidad del hormigón superficial.”
1º Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón. Buenos Aires, junio de 1998.
- GEA, S Y NOËL, G. (EN VÍAS DE PUBLICACIÓN)
 “Estudio de subproductos industriales como adiciones activas en hormigón”.
- MAGNE ORTEGA, LUIS.
 “Conminución de Materiales”
Dto. Ingeniería Metalúrgica. Universidad de Santiago de Chile – 1994.
- SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN.
 Programa “Diagnóstico minera de la provincia de Salta”
Primera Parte: Perlitas. 1995.
- VIRAMONTE, J.G., DESTÉFANIS, H., APARICIO, A., ALONSO, R., MARCUZZI, J., CINCIONI, E. Y PETRINOVIC, I., 1988.
 “Caracterización y beneficio de perlitas del Noroeste Argentino”.
En III Congreso Nacional de Geología Económica. Olavarría, septiembre de 1988.
- YASAI Y., TOBINAI K., ASAKURA E., FENG N.
 “Comparative Study of Natural Zeolites and Other Inorganic Admixtures in Terms of Characterization and Properties of Mortars”
Advances in Concrete Technology – 2nd. Edition – CANMET - Ed.V.M. Malhotra – Canadá -1994.



Uso de mapas temáticos en la confección de la carta geoambiental de Comodoro Rivadavia

Chubut, Argentina

Hirtz, Néstor¹ - Pérez, Horacio¹ - Grizinik, Mario¹ - Tejedó, Alejandra² - Blachakis, Andrés¹ - Stronati, Mónica¹ - Cavallaro, Sandra²

Resumen

El marco ambiental de la ciudad de Comodoro Rivadavia está caracterizado por presentar fuertes condicionamientos para el desarrollo de la urbanización, tales como: morfología irregular, baja aptitud fundacional de rocas y suelos en sectores importantes, procesos de inestabilidad vinculados a taludes, presencia de niveles de agua subterránea perjudiciales, salinización asociada a los mismos y anegamientos en precipitaciones torrenciales.

Asimismo, el crecimiento de la urbanización ha sido rápido, poco ordenado y desatendiendo en muchos casos las restricciones que impone el marco natural de emplazamiento, o alterando el mismo.

El presente trabajo tiene como objeto caracterizar el contexto geoambiental, destacando las potencialidades y restricciones que posee, para que sirva como herramienta de consulta, tanto para el desarrollo futuro como para la aplicación de medidas correctivas y de mitigación en áreas conflictivas.

La información se brinda en forma de cartas temáticas y bases de datos asociadas en forma de tablas, que confluyen a la confección de una carta final de síntesis geoambiental. En la actual presentación se brindan las cartas temáticas parciales, a excepción de la carta de aspectos humanos y ambientales y una carta de síntesis parcial orientada al uso del terreno para urbanización.

Este manejo dinámico de la información es posible dado que la misma se encuentra en forma de archivos electrónicos manejados por un SIG ejecutado en el programa PC Arc-Info.

1. CARTA GEOLÓGICA

Dentro del ámbito de la carta, se encuentran dos unidades formacionales, compuestas por rocas sedimentarias (F. Sarmiento y F. Patagonia). El resto de las unidades

carteadas corresponde a depósitos modernos inconsolidados. El tratamiento de éstos últimos, no obstante, ha sido pormenorizado en función al interés que presenta su comportamiento diferencial ante requerimientos urbanísticos, lo cual es compatible con el objetivo del presente estudio.

La unidad más antigua diferenciable en el área es la F. Sarmiento (Eoceno- Oligoceno) (Feruglio E, 1949, Fren - guelli J, 1929, Sciutto J, 1999) que comienza a aflorar

Recibido: 20 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 19 de Agosto de 1999

1. Facultad de Cs. Naturales- Universidad Nac. de la Patagonia, S. J. Bosco

2. Servicio Geológico Minero Argentino - Subsecretaría de Minería. E-mail: nhirtz@unpata.edu.ar

sobre la costa, desde la base del cerro Chenque hacia el norte de la carta, generalmente en los tramos inferiores de las serranías y en la restinga norte.

Presenta regionalmente una distribución tabular, subhorizontal, con colores blanquecinos amarillentos y grises. Litológicamente se compone de piroclásticas (tobas y chonitas). Por arriba en la sucesión estratigráfica, sobre una superficie erosiva, se dispone la F. Patagonia, de edad Oligocena (*Sciutto J, 1999*), denominada también F. Chenque (*Bellossi E, 1990, 1993*), que aflora de manera más o menos continua en casi toda el área, tendiendo a desaparecer por erosión en el sector norte, preservándose en forma relictual en las mayores elevaciones hacia el noroeste de la carta.

Está compuesta por sedimentitas marinas, las que pueden diferenciarse en una variedad litológica dominante en las secuencias inferiores consistente en cineritas, cineritas arcillosas, arcilitas y chonitas abundantemente diaclasadas, plásticas y expansivas y otra predominante en las cotas superiores, hacia las cuales se registra un progresivo enarenamiento, compuesta por rocas epiclásticas. Intercalan bancos de areniscas calcáreas con matriz pelítica rematados por bancos fosilíferos.

Ambas unidades presentan estratificación subhorizontal con una suave inclinación regional hacia el suroeste del orden de 1,5 grados.

Completando el paisaje geológico se presentan varios tipos de depósitos recientes los que pueden ser diferenciados en dos grupos según su granulometría:

- 1- depósitos psefíticos: se han sedimentado esencialmente en superficies de pedimentación y niveles terrazados como consecuencia de sucesivos reddepósitos de los rodados patagónicos y más recientemente conformando las playas de gravas. Están compuestos básicamente de clastos predominantemente vulcaníticos, de tamaño medio a grueso, mátrix arenosa, con variado grado de madurez textural.
- 2- depósitos psamopelíticos: incluye a materiales de talud, fluviales recientes y subrecientes y fluvioeólicos, integrados fundamentalmente por limos, limos arcillosos y arenas finas. Las características y distribución de las unidades se muestran en la tabla 1 y en el mapa de la figura 2, respectivamente.

2. CARTA GEOMORFOLÓGICA

Las sedimentitas marinas de la F. Patagonia y las tobas de la F. Sarmiento emergieron como consecuencia de los movimientos epirogénicos derivados del ajuste isostático Plio-pleistoceno, proceso característico en la región costera patagónica.

Se desarrolló de este modo una extensa región mesetiforme al norte y oeste del sector estudiado, denominadas

Pampa de Salamanca y del Castillo, con cotas de 600 m.s.n.m. y 700 m.s.n.m., respectivamente.

La erosión hídrica fué labrando los valles profundos de arrumbamiento preferencial este-oeste que descienden de las mesetas como cañadones más o menos estrechos e irregulares y se amplían en proximidad a su desembocadura en el mar.

Enmarcando los valles se elevan cerros, conformando geformas relictuales de erosión, preservando su carácter mesetiforme gracias a bancos resistentes de coquinas próximos al coronamiento (entre cotas 200 y 300 m.s.n.m., aproximadamente). Sus faldeos se encuentran fuertemente erodados y disectados, con pendientes moderadas a elevadas.

Debido al carácter fácilmente degradable de la roca se generan importantes depósitos de coluvio y aluvio por debajo del quiebre de pendiente de los faldeos conformados por sedimentitas de la F. Patagonia en la mitad inferior de la carta, y paisajes de "bad lands" en faldeos tobáceos de la F. Sarmiento, ubicados en la mitad superior de la carta.

Completan el paisaje áreas planas, con suave inclinación hacia el mar, a partir los 30 m.s.n.m., compuestas por niveles terrazados y pedimentos con gravas arenosas, producto del acarreo desde las mesetas ubicadas al oeste y distribución dentro de los valles y superficies de erosión preexistentes de los "rodados patagónicos" o "tehuéches". Se destacan dos sectores, uno al norte, dominado por la terraza del aeropuerto y otro al sur, conformado por las terrazas del arroyo La Mata.

En épocas más recientes, los cursos temporarios, que menguaron drásticamente su capacidad de transporte han depositado sedimentos finos sobre los fondos de los valles, compuestos mayoritariamente por arenas finas, limos y arcillas. El drenaje es en general desencauzado, y la red hidrográfica se encuentra poco integrada. Su diseño, de carácter predominantemente dendrítico, se muestra en la carta de la figura 1. Los arroyos son de carácter temporario, a excepción de los correspondientes a los cañadones de La Mata y Escalante que presentan un flujo continuo de escaso caudal producto de aguas derivadas de la actividad petrolera.

En general, la costa presenta acantilados de moderada a baja altura (desde pocos metros hasta 50 m.s.n.m.) que se encuentran en retroceso por la erosión activa del mar. Las playas de grava son angostas, las de arena algo más amplias, y las restingas, bastante extendidas. Las características de las unidades geomorfológicas se presentan en la tabla 2 y su distribución areal, en la carta de la figura 3.

3. CARTA DE SUELOS Y ROCAS BLANDAS

Para delimitar las distintas unidades de suelo se tomó como base la distribución efectuada en las cartas geomorfológicas y geológicas. Ello obedece a la estrecha relación

FIGURA 1: CARTA DE URBANIZACIÓN E HIDROLOGÍA. COMODORO RIVADAVIA - CHUBUT

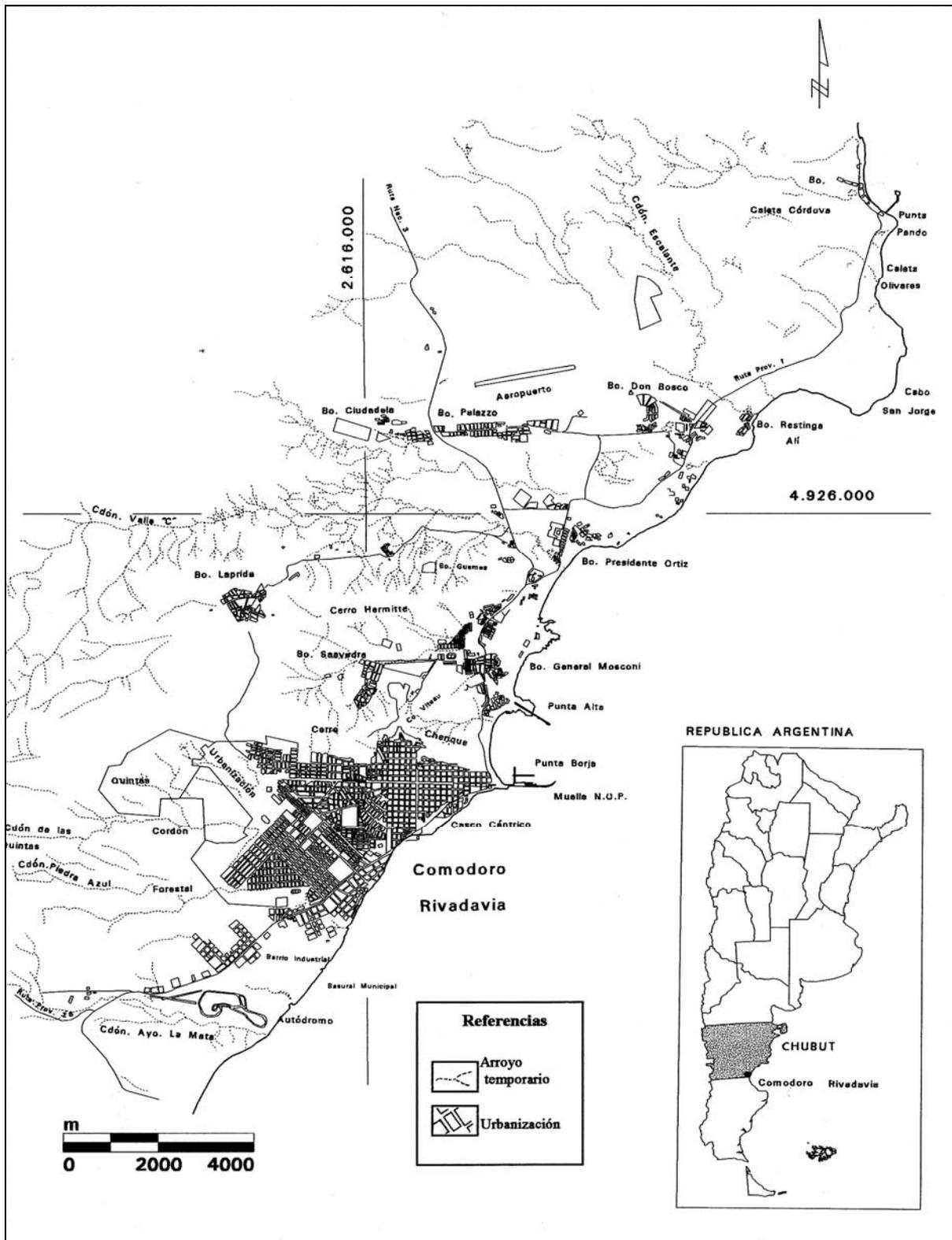


FIGURA 2: CARTA GEOLÓGICA. COMODORO RIVADAVIA - CHUBUT

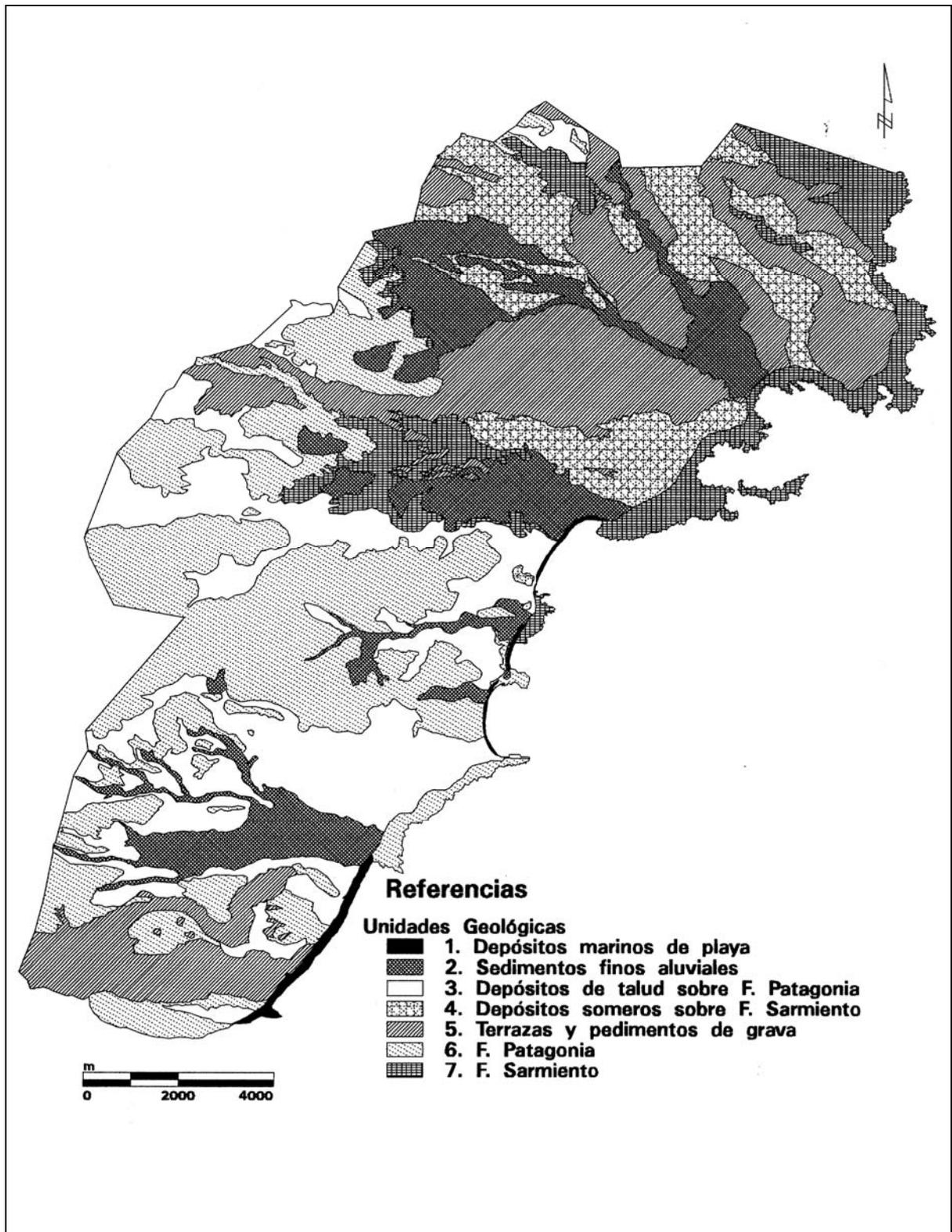


TABLA 1: CARTA GEOLÓGICA DE COMODORO RIVADAVIA

UNIDAD	SUBUNIDAD	DESCRIPCION	GENESIS	EDAD	ESPESOR	DESARROLLO AREAL	COMPACIDAD
DEPOSITOS MARINOS DE PLAYA	Gravas de playa actual. Arenas de playa actual.	Depósitos de gravas media a gruesa y arenas sueltas, uniformes, conformando las playas actuales.	Depositación Marina	Reciente (proceso activo)	0.5-3 m (aprox.)	Muy bajo	Nula (suelta)
SEDIMENTOS FINOS ALUVIALES	Depósitos de fondo de valle. Depósitos fluviales recientes. Depósitos fluvio eólicos. Depósitos arcillosos en depresiones. Abanicos aluviales.	Sedimentos finos, predominantemente arenosos, (arenas finas a medias) con incremento de limos y arcillas hacia las zonas bajas.	Depositación fluvial con participación subord. de fracción fina de origen eólico y coluvial	Reciente (proceso activo)	1-10 m (aprox.)	Medio	Baja
DEPOSITOS DE TALUD SOBRE E. PATAGONIA	Depósito basal de talud. Depósito somero de cañadón.	Sedimentos finos, predominantemente arenosos, (arenas finas) con variada proporción de limos y arcillas. Esta última, aunque no resulte dominante, le confiere propiedades desfavorables por su carácter montmorillonítico.	Material dominante coluvial, proveniente de erosión de sedimentitas Patagónicas.	Reciente (proceso activo)	0.5-10 m	Medio a bajo	Baja
DEPOSITOS SOMEROS SOBRE E. SARMIENTO	Depósitos de grava. Depósito somero de cañadón.	Depósitos de gravas medias, desde pocos centímetros producidos por relave de la tza. del aeropuerto, hasta pocos metros, en áreas bajas, donde participan finos como ligantes.	Acarreo hídrico y gravitacional de gravas desde tzas. y pedim. elevados.	Reciente	0.1-3 m	Medio a alto	Baja
TERRAZAS Y PEDIMENTOS DE GRAVA	Pedimentos de escasa potencia. Pedimentos potentes. Terrazas de gravas arenosas.	Distintos niveles de pedimentos y terrazas de grava y relieves erosionados de los mismos, resultantes de la redepósito de los Rodados Tehuelches sobre paleosuperficies de erosión fluvial.	Depósitos fluviales de alta energía y participación gravitacional.	Pleistoceno-Holoceno	0-10 m	Medio a alto	Media a Baja
E. PATAGONIA	E. Patagonia sobre faldeos de pendiente elevada. Facies de coquinas, arcilitas y areniscas.	Arcilitas fracturadas dominantes en el 1er. ciclo sedimentario hasta el banco de coquinas de amplio desarrollo areal, aprox. a +100m. de cora 2do. ciclo, con participación mayoritaria de areniscas (arcilitas subordinadas).	Depositación marina. Se preservan 2 de 5 ciclos regresivos. Arcilitas y areniscas dominantes.	Oligoceno	en. gral. >100m.	Medio a alto	Alta en roca sana Baja en roca fracturada
E. SARMIENTO	Area de restringa. Area de Bad lands.	Tobas continentales conformando la superficie de abrasión sujeta a la acción de las mareas. Lomadas con alteración meteórica y fracturamiento moderado a alto.	Productos piroclásticos finos y homogéneos en ambiente continental.	Eoceno Oligoceno	> 100m.	Medio	Roca sana alta. Baja en roca meteoriz.

FIGURA 3: CARTA GEOMORFOLÓGICA. COMODORO RIVADAVIA - CHUBUT

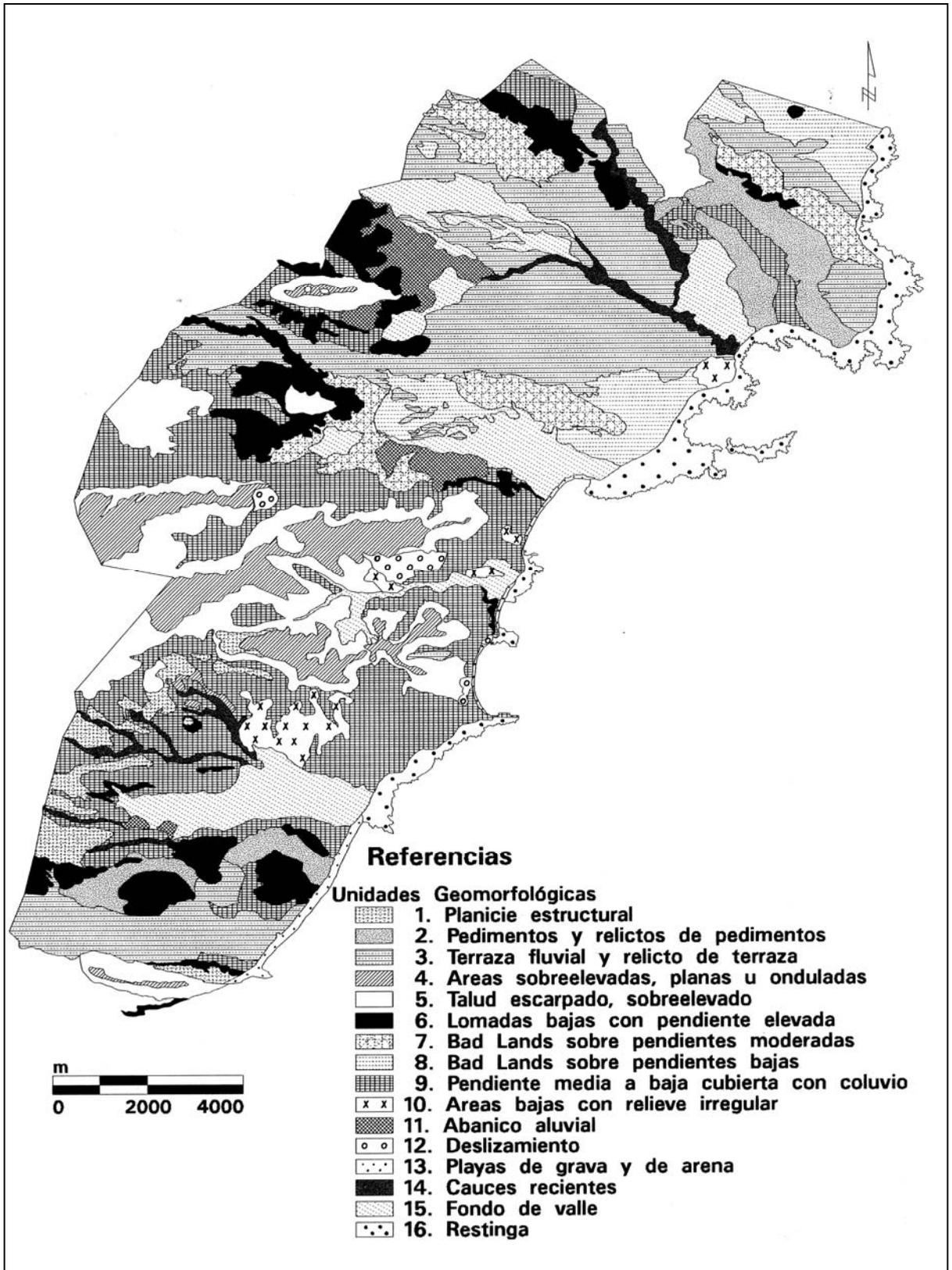


TABLA 2: CARTA GEOMORFOLÓGICA DE COMODORO RIVADAVIA

CLASIE POR PENDIENTE	UNIDAD GEOMORFOLOGICA	DESCRIPCION	PENDIENTE/RUGOSIDAD	VINCULAC. A URBANIZ.	RIESGO GEOLOGICO		CATEGORIA P/ URBANIZACION
					VALORAC.	PROCESO	
GEOFORMAS SOBREELEVADAS PLANAS	Planicie estructural	Áreas mesetiformes protegidas de la erosión por bancos competentes de coquinas en el techo.	Baja Baja	Regular	Bajo	Desprendim. de bloques en borde	Regular
	Pedimentos y relictos de pedimentos	Superficies aplanadas, con suave inclinación hacia el mar, compuestos por gravas arenosas.	Baja Baja	Regular a Buena	Bajo	Erosión y aluvionamiento local	Buena
	Terraza fluvial y relictos de terraza	Terrazas de agradación de origen fluvial, compuestas por gravas, sobrelev. respecto a los valles actuales.	Baja Baja	Buena	Bajo	Erosión y aluvionamiento local	Buena
	Áreas sobreelevadas, planas u onduladas	Culminación de carácter mesetiforme, por encima de los taludes escarpados de los cerros más elevados.	Baja a Media Media	Mala	Medio	Deflación y retroceso del borde	Regular a mala
	Talud escarpado, sobreelevado	Taludes abruptos que descienden desde las áreas sobreel. planas hasta el primer quiebre de pendiente.	Alta Baja a Media	Mala	Alto	Remoción en masa - Deslizam.	Mala
GEOFORMAS DE PENDIENTE MEDIA A ALTA	Lomadas bajas con pendiente elevada	Lomadas de baja altura disectadas por erosión, con núcleos de pediras (sector sur) y Tobas (sector norte)	Media a Alta Alta	Mala	Medio a Alto	Erosión. Flujos. Suelo expansivo	Mala
	Bad lands sobre pendientes moderadas	Lomadas y taludes con diseño de erosión típico de áreas de "tierras malas" labrado sobre tobas eocenas.	Media Alta	Mala	Medio a Alto	Erosión hídrica activa. Expansión	Mala
	Bad lands sobre pendientes bajas	Lomadas bajas y ondulaciones sobre tobas (icl. ant.) pero menos erosionadas. Cubierta de gravas somera.	Baja Media	Regular	Medio	Erosión hídrica Expansividad.	Regular a mala
	Pendiente media a baja cubierta con coluvio	Sector basal de taludes y lomadas de pendiente suave. Dominantemente arcillosos cubiertos por coluvio.	Media a Baja Media	Buena	Medio a Bajo	Aluvionamiento. Expansividad	Regular a buena
	Áreas bajas con relieve irregular	Superficies onduladas, de media a baja pendiente labradas por erosión sobre tobas y arcillitas.	Media a Baja Media a Alta	Regular a Buena	Medio a Bajo	Expansividad. Erosión hídrica	Regular a mala
GEOFORMAS DE PENDIENTE MEDIA A BAJA	Abanico aluvial	Depósitos de pié de talud (quebre de pendiente) de granulometría arenosa relativamente uniforme.	Media Media	Regular a Mala	Medio	Erosión y aluvionamiento local	Regular
	Deslizamiento	Deslizamientos circulares, rotacionales, sobre arcillitas fracturadas dominantes, en taludes elevados.	Media Alta	Mala	Muy Alto	Reactivac. y ampliac. de movim.	Mala
	Playas de grava y de arena	Cordones litorales de grava gruesa al norte del muelle céntrico y playa de arena med. a fina al sur del mismo.	Media a Baja Baja	Mala	Alto	Sumergencia. Migración. Erosión	Mala
	Cauces recientes	Depósitos actuales de reducida expresión en valles de cursos de agua transitorios	Baja Media a Baja	Regular	Alto	Aluvionamiento. Erosión. Saturac.	Regular a mala
	Fondo de valle	Geoformas aplanadas de baja pendiente con acumulación de sedimentos fluviales finos.	Baja Baja	Buena	Medio	Aluvionamiento. Erosión. Saturac.	Buena
GEOFORMAS DEPRIMIDAS DE PENDIENTE BAJA	Restinga	Superficie de abrasión marina cubierta en pleamar, de coquinas (restinga sur) y tobas (restinga norte).	Baja Media	Mala	Alto	Sumergencia. Erosión	Mala

entre las unidades de suelos y rocas identificadas, los procesos que generaron los depósitos y las geoformas de acumulación derivadas de los mismos.

Para la caracterización de los suelos se realizó un muestreo entre 0.5 y 1.0 m. de profundidad y se efectuaron los ensayos de laboratorio para categorizarlos en base a la Clasificación Unificada de Suelos.

En términos generales, se observa una buena aptitud de los depósitos de gravas (terrazas y pedimentos), cuya principal limitación se centra en la reducción de espesores en sectores afectados por erosión o acción antrópica.

En los depósitos granulares finos (dominantemente arenosos) la aptitud es regular a buena, teniendo como principal condicionamiento, su estructura abierta que los hace sensibles a la hidroconsolidación.

En los suelos más finos la aptitud desmejora en proporción directa con el contenido de arcilla, que por su carácter montmorillonítico, le confiere al conjunto del suelo propiedades desfavorables, fundamentalmente expansividad y plasticidad.

Las distintas unidades de rocas blandas se caracterizaron con un criterio geotécnico, en función a su litología, grado de alteración, fracturamiento y comportamiento general frente a su uso para urbanización.

Las tobas y arcilitas constituyen las rocas dominantes por su extensión areal. Presentan un carácter regular a malo, en general, principalmente en zonas de faldeos por su elevado grado de alteración meteórica e intenso fracturamiento principalmente asociado a una franja sub-paralela al talud. En el caso de las tobas dicha franja va de uno a pocos metros de espesor, mejorando rápidamente el grado de sanidad hacia el interior del macizo. Las arcilitas en cambio, presentan espesores meteorizados más elevados, del orden de 10 a 20 metros.

En contraposición con las anteriores, los bancos de areniscas y coquinas resultan más favorables para el emplazamiento de emprendimientos habitacionales, aunque su reducido desarrollo areal, y la baja conexión con la urbanización actual por encontrarse a cotas elevadas, limitan su aptitud en este sentido.

La distribución geográfica se muestra en la carta de la figura 4 y las características salientes de cada unidad, en la tabla 3.

Con respecto a las rocas blandas, si bien pudiera resultar opinable la inclusión en este campo de las arcilitas y tobas, dado que las fuerzas cohesivas que ostentan se debilitan fácilmente, por ejemplo, bajo la acción de pocos ciclos alternados de saturación y secado, no es menos cierto que geológicamente son rocas con un grado de consolidación apreciable que les confiere, en estado sano, una resistencia a la compresión simple superior a los 50 Kg/cm²,

lo que las hace claramente diferenciables de los suelos, con consolidación baja a nula.

4. CARTA DE CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

Con la presente carta se procuró brindar a los potenciales usuarios, que muchas veces no se encuentran familiarizados con la terminología de la especialidad, una visión general de fácil comprensión, sobre el comportamiento geomecánico de suelos y rocas. Se agruparon en cinco unidades, correlacionables con las respectivas unidades geomorfológicas, de suelos y rocas blandas, como se aprecia en la tabla 4. En la carta de la figura 5 se muestra la distribución areal.

La categorización define en forma cualitativa, la aptitud geomecánica de suelos y rocas, orientada fundamentalmente, a ampliar y optimizar el desarrollo urbano de la ciudad en base a obras edilicias e infraestructura compatibles con la calidad del terreno. En la tabla 4, se presentan algunas de las características que contribuyen a definir dicha calidad desde un punto de vista geotécnico.

La estabilidad mecánica de las rocas se ve comprometida por procesos de inestabilidad a nivel de taludes. Entre ellos, se destacan los deslizamientos rotacionales sobre las arcilitas de la F. Patagonia, en la zona sur y central de la carta. La franja costera entre los muelles de Gral. Mosconi y céntrico ha sido la más afectada, con seis deslizamientos en la última década, dentro de los que se destaca el del frente este del Cerro Chenque, en febrero de 1995, que cortara la ruta nacional Nro. 3. Entre los de mayor riesgo actual se encuentran además, el desarrollado sobre calle Sarmiento, próximo a ruta 3 (acceso norte), que ha sufrido pulsos de reactivación en los últimos años, y el del barrio Sismográfico, en el faldeo sur del cerro Hermitte, de mayor magnitud, reactivado a fines de la década del 60, y donde, pese a ello se continúa con la urbanización sobre el lóbulo del deslizamiento (*Hirtz N, 1994*). Sobre los faldeos compuestos por arcilitas, se registran además, procesos menores: desprendimientos de detritos, corrientes fluidas de lodo, reptación lenta del detrito, y sobre los bancos de areniscas, desprendimientos de bloques. Los procesos de inestabilidad se desarrollan fundamentalmente sobre la franja de roca intensamente meteorizada y fracturada. Para explicitar la estrecha relación de los movimientos con dicha zona, se puede acotar que, con fracturas cerradas y discontinuas, los parámetros resistentes son en promedio, cohesión: 1,5 Kg/cm² y ángulo de fricción: 33 grados, con fracturas continuas, 0,4 Kg/cm² y 27 grados respectivamente y para arcilitas intensamente meteorizadas la cohesión es prácticamente nula y solo admite taludes menores de 30 grados.

FIGURA 4: CARTA DE SUELOS Y ROCAS. COMODORO RIVADAVIA - CHUBUT

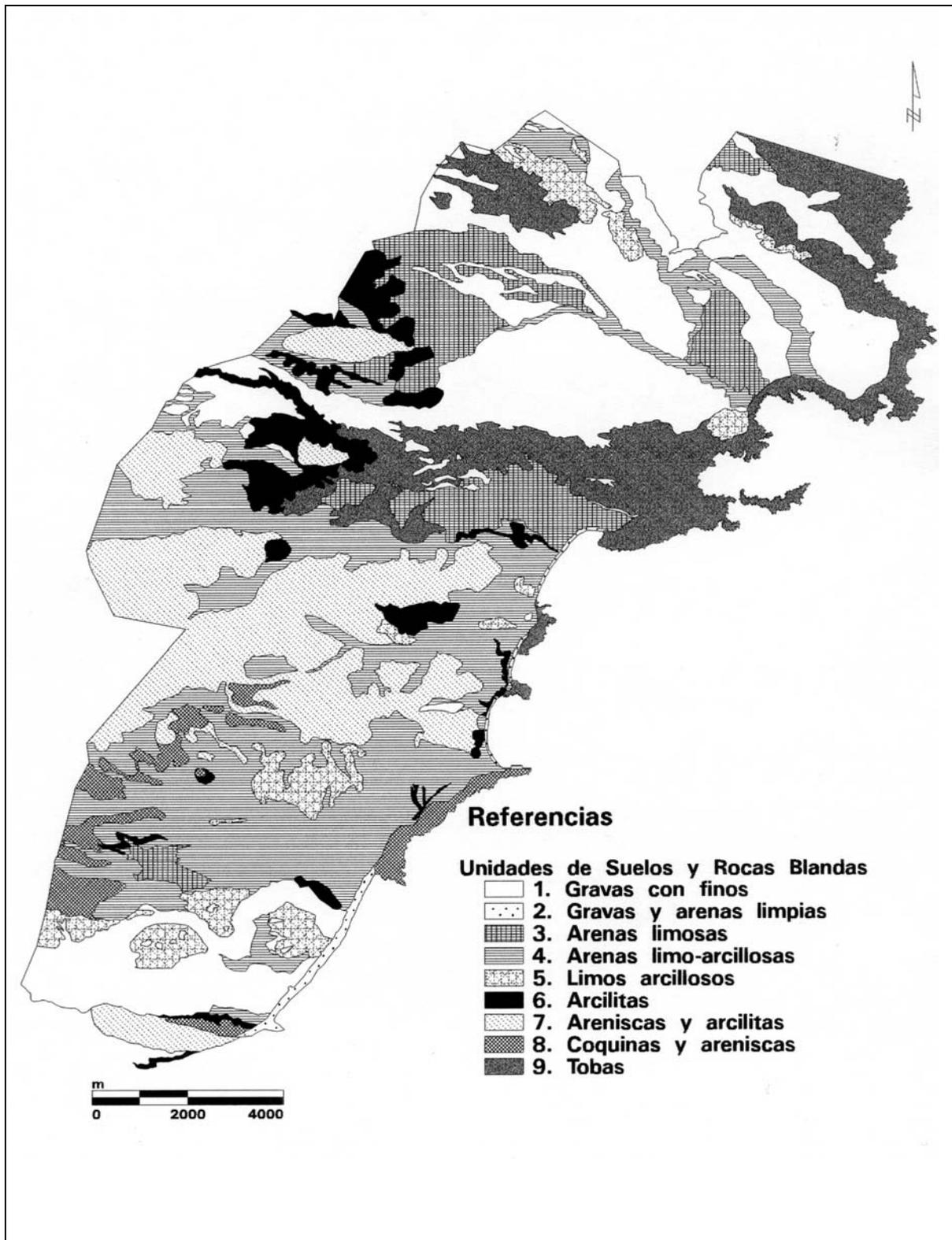


TABLA 3: CARTA DE SUELOS Y ROCAS BLANDAS DE COMODORO RIVADAVIA

UNIDADES DE SUELOS							
UNIDAD	SUBUNIDAD	CARACTERIZACION	CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS Y LITOLOGICAS	EXTENS. AREAL	DISTRIBUCION AREAL	PERMEABILIDAD	CATEGORIZAC. P/ URBANIZACION
1. GRAVAS CON FINOS	GM -SM	Gravas arenosas con material fino, no plástico.	Pedimentos y terrazas de grava, en parte, disecados por erosión, con escasa pend.	Moder a alto	Extremos sur y norte del área.	Alta a media	Buena. Condicionada por los espesores.
	GW-GP (SM)	Gravas bien a pobres, graduadas, c/mx arenosa.	Terrazas fluviales de mayor potencia y desarrollo areal.	Alto	Terraza del aeropuerto. Zona norte del área de estudio.	Alta	Buena a muy buena.
	GC-SC	Gravas y arenas con material fino plástico.	Terrazas elongadas de grava, disecadas por erosión, con núcleos tobáceos.	Bajo	WNW del área de estudio, al MNW de la terraza del aeropuerto.	Media a alta	Regular a bueno.
2. GRAVAS Y ARENAS LIMPIAS	GP	Gravas pobremente grad.	Playas de grava actuales.	Muy bajo	Límite E. Sector céntrico del área.	Muy alta	Malo. Inundable.
	SP	Arena media a fina, uniforme.	Playa de arena.	Muy bajo	Se ubican al sur del casco céntrico de la ciudad. Límite SE. de la carta.	Alta a muy alta	Malo. Inundable en pleamar.
3. ARENAS LIMOSAS	SM	Arenas con finos no plásticos	Abanicos aluviales de cursos temporarios provenientes de las mesetas.	Muy bajo	Margen sur del valle "C", MNW del aeropuerto y eventos menores.	Media	Regular. Canales de drenaje. Hidroconsolid.
	SM-SP	Arenas con finos, no plásticos y arenas uniformes	Suelos arenosos y arenolimosos terrazas subcrecientes de fondo de valle.	Moder. a bajo	Valles de zona norte, Valle C, Restinga Alí y Cdón. Piedra Azul al S.	Media	Regular a bueno. Hidroconsolidables.
4. ARENAS LIMO-ARCILLOSAS	SM-SC	Arenas con finos no plásticos y plásticos subordinados.	Planicies de inundación de los cauces recientes de arroyos temporarios.	Bajo	Franjas angostas y elongadas al NE y SW del área de estudio.	Media a alta	Regular. Inundable o saturable en crecidas.
	SM-SC (CL-ML)	Arenas con finos. Subord. arcillas y limos.	Pend. media a baja cubiertas por coluvio. Cerros y lomas de F. Patagonia.	Muy alto	Gran distribución areal, en área urbana. Centro y sur de la carta.	Baja	Regular. Suelos plásticos y expansivos.
	SM-SP (ML-CL)	Arenas (id. SM-SP) con mayor participac. de finos	Génesis similar a los suelos SM-SP, con mayor proporción de arcillas y limos.	Moder a bajo	Valles del casco céntrico. Gral. Mosconi, Pre. Ortiz y Saavedra.	Media a baja	Regular id. SM-SP con prop. plásticas peores.
5. LIMOS ARCILLOSOS	MH-CH	Limos y arcillas inorg. de alta compresibilidad.	Lomadas bajas de arcillitas y tobas.	Modera	Al N y S de la carta.	Muy baja	Malo por plasticidad.
			Areas bajas con relieve irregular.	rada	Al W del casco céntrico.		Regular. Plasticidad.
UNIDADES DE ROCAS							
UNIDAD	SUBUNIDAD	CARACTERIZACION	CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS Y LITOLOGICAS	EXTENS. AREAL	DISTRIBUCION AREAL	PERMEABILIDAD	CATEGORIZAC. P/ URBANIZACION
6. ARCILLITAS	Arcillas deslizadas	E. Patagonia: Arcillitas con areniscas.	Son rocas blandas, desestructuradas, muy susceptibles a la meteorización.	Bajo	Faldeos sur del Co. Hermitte y sur y este del Co. Chenque.	Variable por fracturación	Malo. Baja capacidad y riesgo de reactivación.
	Arcillas dominantes	E. Patagonia: fáctes arcillosas.	Faldeos con pend. mod. a alta. Muy fracturadas, con depósitos de talud somero.	Moder. a bajo	Sector MINW de la carta.	Baja fracturación	Regular a malo. Mov. de remoción y pendiente
7. ARENISCAS Y ARCILLITAS	Areniscas y arcillitas	E. Patagonia: fáctes de areniscas y arcillitas.	Núcleos de serranías. Taludes de pend. elevada y áreas sobre elevadas planas.	Alto	Taludes y coronamientos de los cerros elevados del área estudiada.	Baja (arcil) Media (arcas)	Buena en áreas planas. Reg. malo en pend. elev.
	Coquinas y areniscas	E. Patagonia: Areniscas coronadas por coquinas.	Rocas areniscas asociadas con bancos de coquinas conformando niveles subhorizontales.	Bajo	Precliman al oeste del casco céntrico y conformando la restinga sur al E.	Media	Buena a muy buena Limitac: cota en sector W y sumergencia al E.
9. TOBAS	Tobas alta meteorizac.	E. Sarmiento Bad lands.	Tobas modeladas por erosión hídrica. Pausaje típico de "bad lands".	Moder.	Zona MNW del Valle "C" y extremo norte del área de estudio.	Baja a muy baja	Regular a malo. Desvinculac. Meteorización.
	Tobas baja meteorizac.	E. Sarmiento: Bad lands c/pend. baja y restinga N.	Gentílicamente id. anterior, ocupa sectores mas bajos y planos que aquellas.	Moder.	Franja central del valle "C", al S del aeropuerto. Restinga norte.	Baja a muy baja	Regular. Limitac. simil. a la unid. anterior.

FIGURA 5: CARTA GEOMECÁNICA. COMODORO RIVADAVIA - CHUBUT

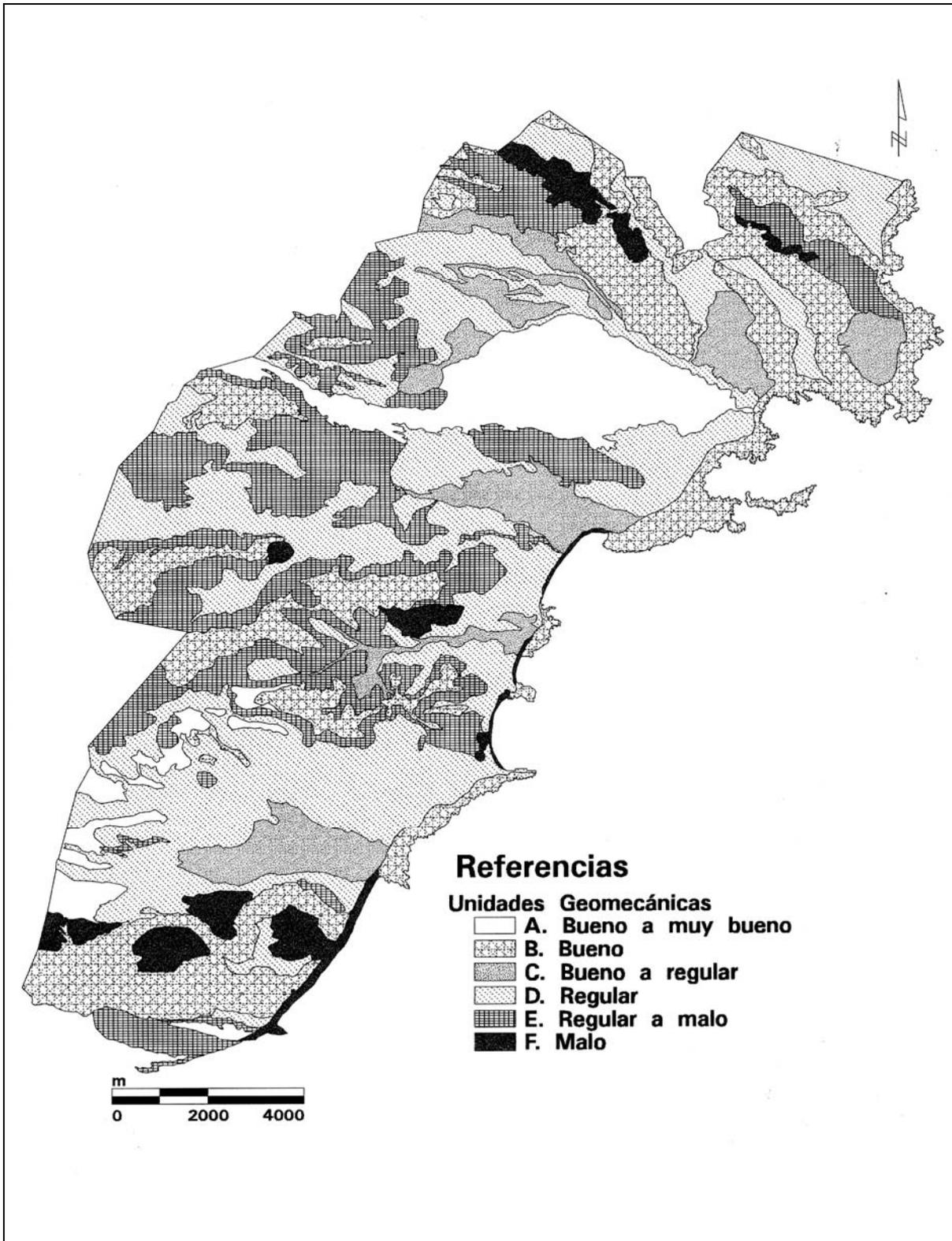


TABLA 4: CARTA DE CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS DE COMODORO RIVADAVIA

ROCAS BLANDAS								
UNIDAD	CATEGORIZACIÓN	UNIDAD ASOCIADA DE SUELO O ROCA	GEOFORMAS ASOCIADAS PREDOMINANTES EN LA UNIDAD	DESARROLLO AREAL	EXCAVABILIDAD	APTITUD COMO SUBRASANTE	ESTABILIDAD DE TALUDES	CARACT. PARA FUNDACION
A	Buena a muy buena	Bancos de coquinas y areniscas	Terraza estructural de areniscas y coquinas de la F. Patagonia.	Bajo	Mala	Muy buena	Alta	Muy buena
B	Buena	Areniscas con arcilitas intercaladas Coquinas y tobos	Areniscas y arcilitas intercaladas en zonas sobrelevadas planas o ligeramente onduladas. Restinga sur conformada por la F. Patagonia y restinga norte, por la F. Sarmiento.	Moderado a alto	Regular	Buena	Media	Buena
D	Regular	Tobos con bajo grado de meteorización	Bad Lands en áreas de pendiente baja sobre tobos de la F. Sarmiento.	Bajo	Mala	Regular (cambios volumétricos)	Media a alta	Buena, c/limitac. por sumergencia
E	Regular a malo	Tobos meteorizados Arcilitas y areniscas Arcilitas dominantes	Bad Lands sobre pendientes moderadas. Taluces escarpados sobrelevados. Lomadas bajas: taluces con pendiente elevada.	Alto	Regular a mala	Regular (cambios volumétricos)	Media a baja	Reg. (fund. superf) Reg./buena (prof)
F	Malo	Arcilitas desestructuradas	Deslizamientos rotacionales de taluces en rocas de la F. Patagonia y Lomadas bajas.	Muy bajo	Regular a mala	Mala	Baja	Mala
SUELOS								
UNIDAD	CATEGORIZACIÓN	UNIDAD ASOCIADA DE SUELO O ROCA	GEOFORMAS ASOCIADAS PREDOMINANTES EN LA UNIDAD	DESARROLLO AREAL	EXCAVABILIDAD	APTITUD COMO SUBRASANTE	ESTABILIDAD DE TALUDES	CARACT. PARA FUNDACION
A	Buena a muy buena	GW-GP (SM)	Terraza fluvial (emplazamiento del aeropuerto).	Moderado	Regular	Muy buena	Alta en taluces menores de 10 m.	Muy buena
B	Buena	GW- GP (SM) GM-SM	Terrazas fluviales y pedimentos de grava en parte disectados por erosión.	Alto	Regular	Buena a muy buena	Alta en taluces menores de 5 m.	Buena
C	Buena a regular	SM-SP SM-SP (ML-CL) GC-SC	Fondo de valles con dep. fluv. arenolimosos Id. SM-SP con mayor proporción de finos. Terrazas de grava disectadas por erosión, con núcleos tobáceos.	Moderado a alto	Buena Buena	Regular a buena Regular	Media en seco, mala en saturac.	Regular a buena Regular
D	Regular	MH-CH SM-SC (CL-ML) SM-SP SM SM-SC	Áreas bajas con relieve irregular. Pendiente media a baja cubierta por coluvio. Fondo de valle (al NW de la terraza aeropuerto). Abanicos aluviales. Cauces de arroyos temporarios actuales.	Muy alto	Regular Regular Buena Buena Buena	Mala Regular a mala Regular a buena Regular	Media a baja Media a baja Media a baja Media a baja	Regular a mala Regular Regular Regular a buena Regular
F	Malo	MH-CH GP SP	Lomadas bajas con pendiente elevada. Playas de grava actuales. Playas de arena actuales.	Bajo	Reg. a mala Buena Buena	Mala (sumergencia) Mala (sumergencia)	Media a baja Baja No posee taluces	Mala

5. CARTA HIDROGEOLÓGICA

Para la confección del plano hidrogeológico, se tuvieron en consideración las características principales de la hidrogeología del área y su estrecha relación con la geomorfología desde el punto de vista urbano.

Su agrupación en ocho unidades hidrogeológicas responde a la delimitación de sectores con un comportamiento propio y en general con condiciones uniformes, en un ambiente vinculado a la zona de descarga de un acuífero multiunitario de características regionales, con recarga en Pampa del Castillo y sentido de escurrimiento desde el oeste hacia el este-sureste, en dirección a la costa (*Castrillo E, 1984*). La caracterización y distribución de dichas unidades se presenta en la tabla 5 y figura 6, respectivamente.

Esta circulación subterránea regional se produce a través de los niveles arenolimosos pertenecientes a la F. Patagonia, caracterizada por un elevado tiempo de tránsito en el medio poroso, debido a la baja trasmisividad. Las aguas circulantes presentan un alto tenor salino y son cloruradas a cloro-sulfatadas sódicas con neta predominancia de sodio por sobre los demás cationes.

A este flujo regional se le adiciona uno de menor relevancia proveniente de las zonas sobreelevadas, que en el ámbito de la carta, actúan como áreas de recarga local.

Durante las lluvias esporádicas, a las aguas de circulación superficial provenientes de los cañadones del oeste se les suman las de escurrimiento local que fluyen de las zonas altas. Este flujo descarga sobre sectores planos o de salida de cañadones principales donde se registran anegamientos o erosión hídrica localizada.

La infiltración parcial de las aguas superficiales naturales y de origen antrópico, provoca la incorporación de éstas al escurrimiento subterráneo hacia los fondos de valles y áreas bajas en general.

En las zonas deprimidas o de drenaje restringido se produce endicamiento o condicionamiento del flujo subterráneo favorecido por la presencia de materiales finos provocando el ascenso del nivel freático e incluso la salinización de sectores localizados.

Las áreas sobreelevadas, taludes, depósitos permeables de fondo de valle, pedimentos y terrazas de gravas no presentan mayores inconvenientes desde el punto de vista hidrogeológico.

La zona costera inundable, ha sido diferenciada teniendo en cuenta las inundaciones periódicas de mareas, lo cual constituye un factor determinante para su uso directo.

6. CARTA DE VEGETACIÓN

Se establecieron siete unidades de vegetación natural que son la respuesta a la interacción de variables físicas, como el tipo de sustrato, el grado de pendiente, la orientación norte o sur de las laderas, la altura sobre el nivel del mar y depresiones con acumulación de agua o ma-

teriales diferentes. Las unidades determinadas difieren en cobertura y diversidad específica.

Es importante señalar que los límites de cada una generalmente no se presentan en forma abrupta, sino que forman ecotonos donde los atributos de cobertura y diversidad cambian gradualmente. Por otra parte, algunas especies como *Atriplex lampa* (zampa), *Retanilla patagónica* (malaspina), *Baccharis* sp, *Nassauvia ulicina*, *Chuquiraga avellanadae* (quilimbay) y *Coliguaja integerrima* (duraznillo) son comunes y abundantes en la mayoría de las unidades, mientras que otras aparecen solo en algunos censos *Atriplex sagitifolia* (zampa), *Suaeda divaricata*, *Medora robusta* y *Fabiana patagónica*.

La integridad estructural de la vegetación está alterada por la acción de la actividad industrial y la urbanización. Con respecto a zonas urbanizadas, se observa la eliminación de las comunidades naturales y un reemplazo parcial por especies introducidas.

El cordón forestal es un emprendimiento privado que implicó la denudación y cultivo de especies forestales, arbustivas, ornamentales y frutales bajo riego. Ambos aspectos deben contar con un adecuado manejo, a fin de evitar el incremento en la desertificación por denudación o la saturación y salinización de sectores bajos por escurrimiento subterráneo de aguas de riego.

7. CARTA DE CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO PARA USO URBANO

Cada una de las cartas temáticas aporta en forma individual información específica, pero la mayor utilidad se obtiene haciendo interactuar un conjunto de ellas (*Cabral M, 1993, Marcuzzi J, 1993, Tchilinguirian P, 1998*). En la actual presentación se ha integrado la información de tres cartas que se consideraron determinantes para la planificación de la urbanización en el ámbito local, con vistas a la optimización del desarrollo futuro y a la visualización de los inconvenientes y restricciones presentes.

Se interactuó entre las cartas geomorfológica, hidrogeológica y geomecánica, categorizando en una primera etapa, las distintas unidades de cada una de ellas respecto al objetivo parcial fijado, cual es la aptitud para la urbanización, como se aprecia en las tablas respectivas. Finalmente se integraron las tres cartas, efectuándose la categorización final, que resulta de conciliar las valoraciones parciales, otorgándole, en general, prioridad al factor más restrictivo. Como se aprecia en la tabla 7 y figura 8, dicha categorización se efectuó en base a cinco rangos de sencilla comprensión.

Se aprecia una importante proporción del área relevada con elevado condicionamiento general para la urbanización, valorada como regular a mala y mala. A la vez que inhiben o restringen su utilización, estas áreas generan una fuerte desconexión entre los sectores urbanizables dado que su mayor extensión es en general, en sentido

este-oeste. El principal condicionamiento es de carácter geomorfológico y geomecánico en sectores sobreelevados y de taludes, mientras que el hidrogeológico afecta determinadas zonas bajas.

Las zonas categorizadas como regulares presentan un desarrollo areal reducido y sólo se está urbanizando el sector sureste. Estas pueden ser utilizadas atendiendo a las restricciones que las mismas presentan, con mayor o menor grado de severidad.

El casco céntrico y sus barrios aledaños ha alcanzado una importante ocupación territorial, encontrándose en la actualidad, muy acotado en su crecimiento por las restricciones físicas del medio.

Priorizando la utilización de áreas de aptitud buena y regular a buena para el crecimiento inmediato, se visualiza como objetivo la optimización del desarrollo urbano existente, como es el caso de la ampliación hacia el oeste del barrio Presidente Ortiz, o sobre la terraza del aeropuerto, en proximidad al barrio Don Bosco, etc. Con una visión más amplia, se debe planificar la utilización de extensas

áreas en los sectores norte y sur de la carta que no cuentan aún con emprendimientos en este sentido, como puede apreciarse en la figura 1.

En buena medida ello implica, entre otros aspectos, aumentar la dispersión de la ciudad con el consecuente costo extra en inversiones y mantenimiento de obras y servicios públicos y la eventual compatibilización con el uso actual del territorio, como es el caso de la actividad petrolera. Estos temas, que exceden el alcance de la presente publicación, están siendo considerados en la carta de aspectos humanos y ambientales. Su compatibilización con la información aquí presentada permitirá la finalización de la Carta Geoambiental de la Ciudad de Comodoro Rivadavia.

8. AGRADECIMIENTOS

A los Licenciados Omar Césari y Juan Carlos Sciutto por la lectura, a la Universidad Nacional de la Patagonia, SEGEMAR y Municipalidad de Comodoro Rivadavia por el apoyo recibido.

9. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

FERUGLIO, E, 1949.

Descripción geológica de la Patagonia.
Publ. Interna YPF.Bs As.

FRENGUELLI, J, 1929.

Apuntes de geología Patagónica. Descripción de algunos perfiles de la zona petrolífera de Comodoro Rivadavia.
Boletín de Inf. Petroleras 6: 575-606

SCIUTTO, J C, CÉSARI, O Y ESCRIBANO, V, 1999.

Hoja Geológica 4566- III. Comodoro Rivadavia, Provincia del Chubut.
Servicio Geológico Minero Argentino. (En Prensa).

BELLOSI, E S, 1990.

Formación Chenque, registro de la transgresión Patagónica en la Cuenca San Jorge.
XI Congreso Geológico Arg. Actas 3 ;57-60.

BELLOSI, E S Y BARREDA V D, 1993.

Secuencias y palinología del Terciario medio en la Cuenca San Jorge.
Registro de oscilaciones eustáticas en Patagonia. XII Congreso Geológico Arg. T I: 78-86.

HIRTZ, N; PREZ, H Y RODRÍGUEZ, J C, 1994.,

Estudio de estabilidad en el sector del Barrio Sismográfica de Comodoro Rivadavia.
Asoc. Arg. Geol. Aplicada a la Ing. Actas VIII:46-58.

CASTRILLO, E; GRIZINIK, M; Y AMOROSO A, 1984.

Contribución al conocimiento hidrogeológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut.
Actas IX Cong Geológico Arg. Bariloche. T6: 393-406.

CABRAL, M G; HURTADO, M A; GIMÉNEZ, J E Y DA SILVA, M M, 1993.

El uso de mapas temáticos en el planeamiento ambiental del Partido de La Plata (Provincia de Buenos Aires).
Asoc. Arg. Geol. Aplicada a la Ing. Publ. Especial I: 166-179 y III: 135-157.

MARCUZZI, J J; ARGANARAZ, R A; BEJERMAN, N J Y BATTAGLIA, R R, 1993.

El empleo de mapas temáticos geológicos-geotécnicos para la planificación urbanística de la ciudad de Salta.
Asoc. Arg. Geol. Aplicada a la Ing. Publ. Especial I: 151-165

TCHILINGUIRIÁN, P; PREZ, H; TEJEDO, A; CRESPO, G; CAVALLARO, S Y DZENDOLETAS, M A, 1998.

Carta Geoambiental de Concordia, Entre Ríos, Argentina.
Soc. Uruguaya de Geología. Facultad de Ciencias. Actas II Cong. de Geología. Punta del Este.

FIGURA 6: CARTA HIDROGEOLÓGICA. COMODORO RIVADAVIA - CHUBUT

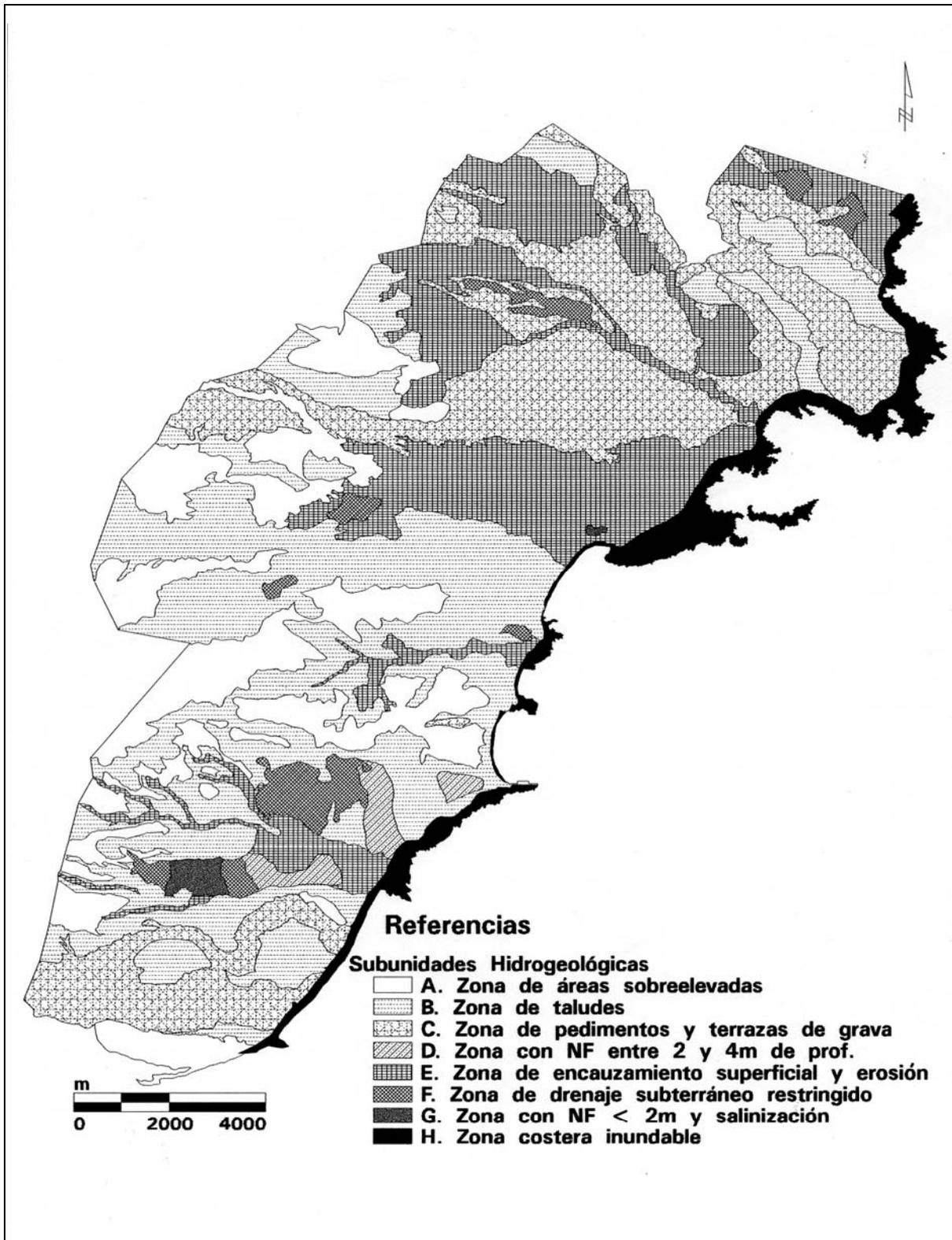


TABLA 5: CARTA HIDROGEOLÓGICA DE COMODORO RIVADAVIA

UNIDAD	CARACTERÍSTICAS	SUBUNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	UBICACIÓN AREAL	PROPIEDADES HIDROGEOLÓGICAS	MANEJO	CATEG. P/ URBANIZ.
ZONAS SIN RESTRICCIÓN ACTUAL NI RIESGO	No presenta mayores inconvenientes hidrológicos. Por ser zonas altas respecto al fondo de valles o de alta permeabilidad, el agua subterránea no se halla próxima a la superficie. El arrastre de sales que contiene el suelo es conducido hacia otros sectores.	A. Zona de áreas sobreelevadas	Construyen las mayores elevaciones con superficies en general planas y con suelos consolidados.	Bancos duros de arenisca de baja pendiente, que permite su funcionamiento como área de recarga local restringida.	Obras correctivas generales	Muy buena
		B. Zona de taludes	Sectores de inclinación elevada a media, adosados a las lomas superiores, con materiales finos.	Material que permite la aparición de algunas cárcavas y el insumo rápido de aguas circulantes.	Obras de desmonte y nivelación	Buena
		C. Zona de pedimentos y terrazas de grava	Depósitos de gravas y gravas arenosas sin red de avenamiento definida, con buen desarrollo areal.	Por sus características permite el insumo rápido del agua y su actuación como zona de recarga local.	Sin restricción	Buena
		D. Zona con niveles freáticos entre 2 y 4 m. de profundidad	Sectores planos o nivelados, mayormente urbanizados compuestos por depósitos de granulometría fina con red de avenamiento encauzada.	Circulación de mezcla de aguas subterráneas en niveles permeables que está sujeta al aporte de recargas estacionales y antrópicas (fugas, riego).	Encauzamiento y manejo del riego	Regular
ZONAS CON ESCASA RESTRICCIÓN Y RIESGO MODERADO	Presenta fenómenos de encharcamiento superficial, incorporación de sales al suelo y concentración en sectores sujetos a evaporotranspiración. Posee niveles freáticos elevados o aflorantes en superficie, con concentración salina elevada, mezcla de aguas de precipitación con aguas salobres de las formaciones terciarias.	E. Zona de encauzamiento superficial y erosión	Fajas elongadas o triangulares ubicadas en tramos inferiores de los cañadones principales, afectadas por un agua superficial y erosión.	Sectores que presentan un nivel de base a la escorrentía superficial con inundación de planicie.	Canalización de sectores críticos	Regular a mala
		F. Zona de drenaje subterráneo restringido	Sectores donde la urbanización sobrepuesta ha generado el endicamiento del flujo subterráneo.	Aguas subterráneas circulantes en materiales finos con baja velocidad de flujo y estancamiento subterráneo.	Obras de drenaje	Regular a mala
		G. Zona con N F a menos de 2 m. de profundidad, con evidencia de salinización	Sectores bajos con nivel freático próximo a superficie o aflorante. Zonas planas con ascenso del NF por restricción del flujo subterráneo.	Materiales finos con saturación muy próxima a la superficie de aguas de alta salinidad. Formación de costra salina en sectores críticos.	Recuperación mediante drenaje subterráneo y superficial.	Mala
		H. Zona costera inundable	Franjas costeras compuestas de playas de grava, arena o restingas. Inundadas en pleamar.	Gravas y arenas permeables, saturadas. Rocas de baja permeabilidad que conforman la restinga.	Recuperac. con obras de protección y relleno	Mala

FIGURA 7: CARTA DE VEGETACIÓN. COMODORO RIVADAVIA - CHUBUT

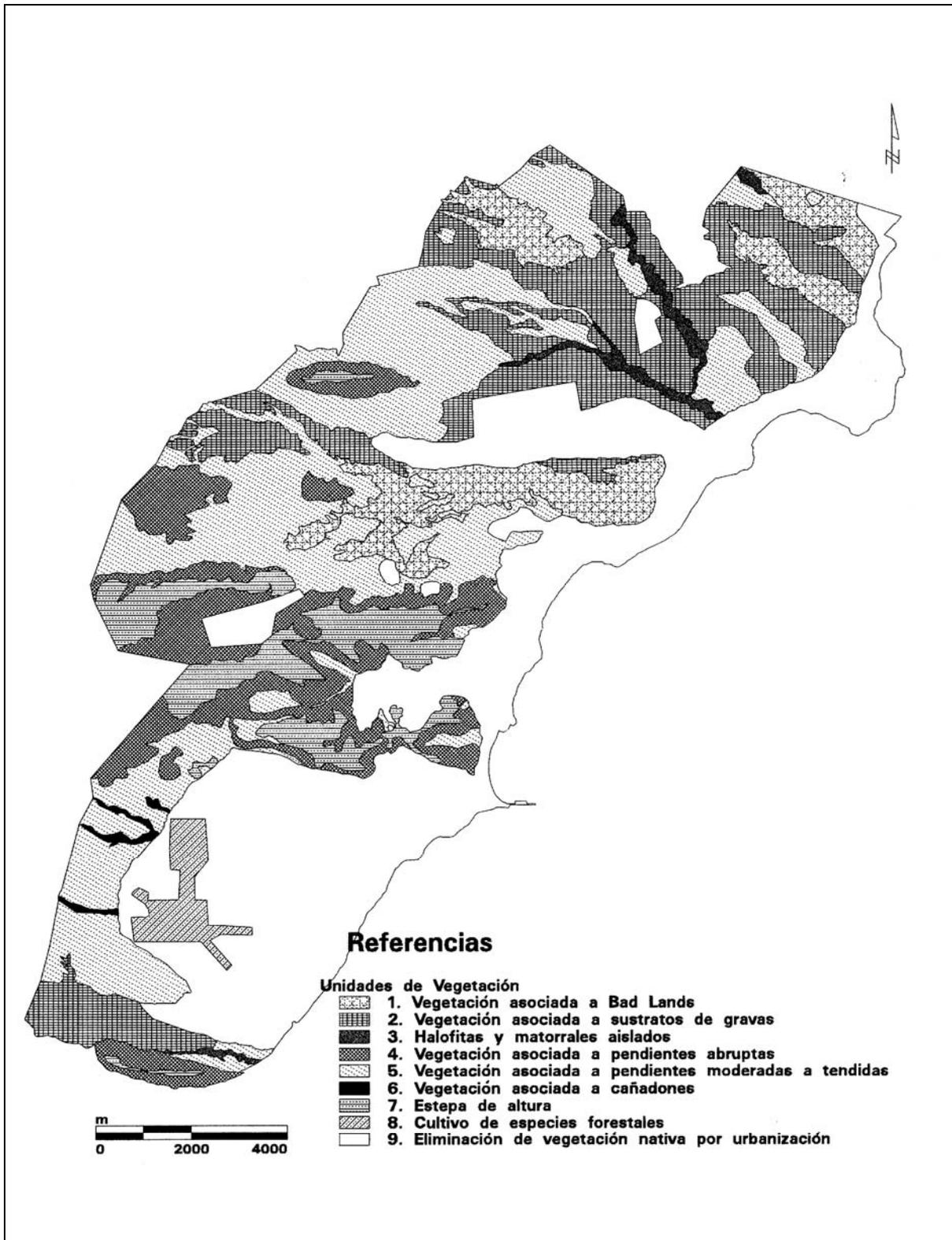


TABLA 6: CARTA DE VEGETACIÓN DE COMODORO RIVADAVIA

UNIDAD	FISIONOMIA	ESTRATO DOMINANTE	COBERTURA DEL ESTRATO DOMINANTE	SUELO	ESPECIES MAS ABUNDANTES	INTEGRIDAD ESTRUCTURAL
1. VEGETACION ASOCIADA A BAD LANDS	Peladial	Arbustivo-subarbusivo	1% a 5% esporádica	Producto de alteración de tobas	MATA LAGUNA, DURAZNILLO, CACTUS, UÑA DE GATO, NASSAUVIA, MENODORA	Media-extracción de áridos, actividad petrolera
2. VEGETACION ASOCIADA A SUSTRATOS DE GRAVAS	Estepa arbustiva	Arbustivo	5% a 25% dispersa	Coluvio con limos	ZAMPA, QUILIMBAI, MATA LAGUNA, DURAZNILLO, CACTUS, UÑA DE GATO, NASSAUVIA, MENODORA, TABIANA	Media-extracción de áridos, actividad petrolera y urbanización
3. HALOFITAS Y MATORRALES AISLADOS	Estepa herbácea-arbustiva	Herbácea o arbustiva	25% a 75% abierta hasta interrumpida	Cauce aluvial, arenas limo-arcillosas	ZAMPA, QUILIMBAI, MATA LAGUNA, UÑA DE GATO, PELO DE CHANGCHO, JUME, SUAEDA, JUNCOS, TOTORAS, MATORRALES AISLADOS CON DURAZNILLO, MOLLE Y BARBA DE CHIVO	Alta-actividad petrolera por volcado de efluentes
4. VEGETACION ASOCIADA A PENDIENTES ABRUPTAS	Estepa arbustiva	Arbustivo	5% a 50% dispersa hasta abierta	Talud con areniscas	DURAZNILLO, ZAMPA, MALASPINA Y QUILIMBAI	Media-exposición, actividad petrolera
5. VEGETACION ASOCIADA A PENDIENTES MODERADAS Y TENIDIDAS	Estepa arbustiva con estrato herbáceo y matorrales aislados	Arbustivo o codominio	25% a 50% abierta	Pendiente suave, arenas limo arcillosas	DURAZNILLO, ZAMPA, QUILIMBAI, MATAMORA, TOMILLO, YAOYIN, MATA SALADA, NASSAUVIA, BACARIS, BOTÓN DE ORO Y MALASPINA Y VIDRIERA	Baja-desarrollo de la urbanización en lugares con desaparición de la cubierta o solo individuos aislados-ruderales
6. VEGETACION ASOCIADA A CAÑADONES	Matorral	Arbustivo	50% a 75% interrumpida	Cauce aluvial, arenas limo-arcillosas	DURAZNILLO, MOLLE, CALAFATE, MATAMORA, BOTÓN DE ORO, YAOYIN Y VERBENA	Media- quintas y contaminación por derrames
7. ESTEPA DE ALTURA	Estepa arbustiva-herbácea	Codominio	5% a 50% dispersa hasta abierta	Mesetas con rodados	COIRONES, BACARIS, BRACHYCLADOS, MATA TORCIDA, DURAZNILLO, TOMILLO, ACAENA Y MALASPINA	Alta-actividad petrolera
8. CULTIVO DE ESPECIES FORESTALES	Area del Corcón Forestal: Especies introducidas mas comunes: PINOS, ALAMOS, SAUCES, CIPRECES, OLIVOS DE BOHEMIA, AROMÁTICAS, FRUTALES, TAMARISCOS Y AROMOS. EDADES ENTRE 5 Y 13 AÑOS.					
9. ELIMINACIÓN DE VEGETACIÓN NATIVA POR URBANIZACIÓN	Denudación total de la vegetación o persistencia de individuos aislados por urbanización o suburbanización. Cultivos dispersos de especies introducidas enunciadas en la Unidad 8, más ornamentales.					

FIGURA 8: CARTA DE APTITUD PARA URBANIZACIÓN. COMODORO RIVADAVIA - CHUBUT

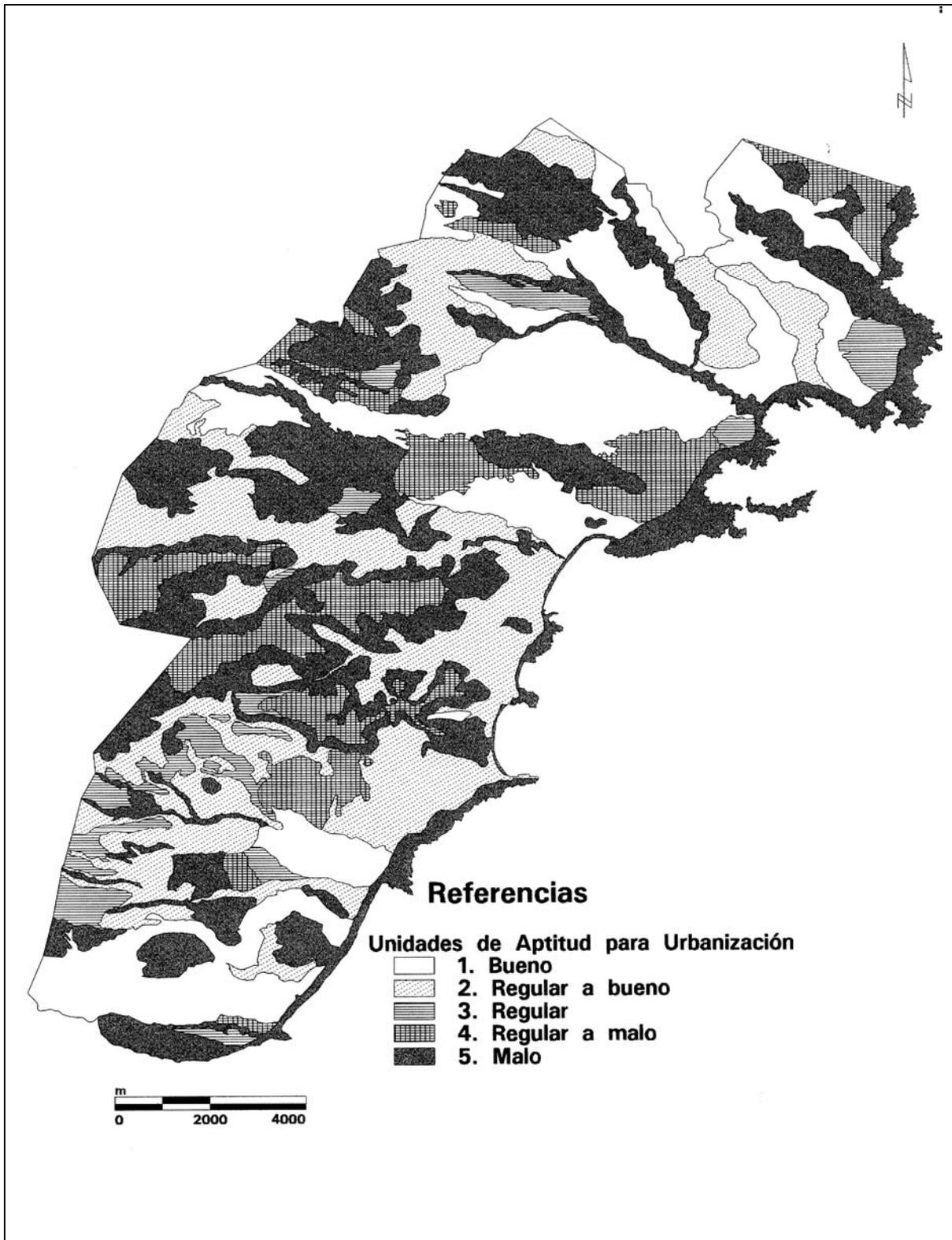


TABLA 7: CARTA DE APTITUD PARA URBANIZACION DE COMODORO RIVADAVIA

UNIDAD DE APTITUD	GEOFORMA DOMINANTE ASOCIADA A LA UNIDAD DE SINTESIS	GEOMORFOLOGIA		HIDROGEOLOGIA		GEOMECANICA		OBSERVACIONES: (G): Geomorfología (H): Hidrogeología (GM): Geomecánica
		CONDICIONAMIENTO	CATEGORIZACION	CONDICIONAMIENTO	CATEGORIZACION	CONDICIONAMIENTO	CATEGORIZACION	
BUENO	Terraza fluvial y relicto de terraza	Bajo a Nulo	Bueno	Bajo a Nulo	Bueno	Bajo a Nulo	Bueno	(G): Regular en relictos, por limitaciones de espesor y morfología irregular. Terraza faro S. Jorge.
	Pedimentos y relictos de pedimentos	Bajo a Nulo	Bueno	Bajo a Nulo	Bueno	Bajo a Nulo	Bueno	(G): Regular en relictos, por limitaciones de espesor y morfología irregular.
	Fondo de valle	Bajo a Nulo	Bueno	Alto	Regular a Malo	Bajo a Nulo	Regular a Bueno	(H): Regular a bueno con N.F. entre 2 y 4m. hasta muy malo en sectores con aluvionamiento y salinización.
REGULAR A BUENO	Pendiente media a baja cubierta con coluvio	Medio	Regular a Bueno	Bajo a Nulo	Bueno	Medio	Regular	(H): Regular a buena sobre una franja del sector céntrico.
	Abanico aluvial	Medio	Regular	Bajo a Nulo	Bueno	Medio	Regular	(GM) (H): Principal condicionamiento erosionalidad hídrica y estructura abierta del suelo, hidroconsolidable.
REGULAR	Planicie estructural	Alto	Regular	Bajo a Nulo	Muy Bueno	Bajo a Nulo	Bueno a Muy Bueno	(G): Categorizado regular por la baja conexión con la urbanización por elevación y restricción atreal.
REGULAR A MALO	Areas bajas con relieve irregular	Alto	Regular a Malo	Muy Alto	Regular a Malo	Medio	Regular	(G): Principal condicionamiento de carácter morfológico y topográfico por la superficie irregular.
	Areas sobre elevadas planas u onduladas	Medio	Regular a Malo	Bajo a Nulo	Muy Bueno	Bajo a Nulo	Bueno	(G): Reg. a malo por la alta desconexión con la urbanización por elevación y acción severa del viento.
	Bad lands sobre pendientes bajas	Muy Alto	Regular a Malo	Alto	Regular a Malo	Medio	Regular	(H): Malo en sectores con aluvionamiento en depresiones. Zona oeste de Caleta Córdoba.
	Cauces recientes	Muy Alto	Regular a Malo	Alto	Regular a Malo	Medio	Regular	(H): Regular en el cdón. del Barrio San Cayetano, por la baja extensión del mismo y área de aporte reducida.
	Lomadas bajas y Lomadas bajas con pendiente elevada	Muy Alto	Malo	Bajo a Nulo	Bueno	Alto	Malo - Regular a Malo	(H): En general Bueno. Pasa a Regular a Malo en sectores específicos con erosionalidad elevada.
MALO	Talud escarpado sobre elevado	Muy Alto	Malo	Bajo a Nulo	Bueno	Alto	Regular a Malo	Pese a alcanzar en (H): Muy bueno en sectores favorables, prima el aspecto negativo de (G) y (GM).
	Bad lands sobre pendientes moderadas	Muy Alto	Malo	Alto	Regular a Malo	Alto	Regular a Malo	(G): Malo debido a la alta restricción por alteración subsuperficial, fracturamiento y variaciones volumétricas.
	Deslizamiento	Muy Alto	Malo	Bajo a Nulo	Bueno	Muy Alto	Malo	(G) (GM): Aptitud nula para urbanización por riesgo de reactivación y/o ampliación del proceso.
	Restinga	Muy Alto	Malo	Muy Alto	Malo	Bajo a Nulo	Bueno	(H): Aptitud nula por inundabilidad en pleamar. Posibilidad de ganar tierras con obras de protección y relleno.
	Playas de grava y de arena	Muy Alto	Malo	Muy Alto	Muy Malo	Muy Alto	Malo	(H) (G): Aptitud nula por inundabilidad en pleamar. Limitaciones para ganar tierras al mar con obras.



Hidrogeomorfología y caracterización química de la Reserva Hídrica de Finca Las Costas

Provincia de Salta

Marcuzzi, Jorge J. ^{1,4} - Gutiérrez, Marcelo D. ² - Olañeta, Marcelo R. ² - Peralta, Carlos M. ^{1,4} - Núñez, Virgilio ^{2,3} - Garrido, Daniel A. ^{2,3} - López, Guillermo A. ²

Resumen

La Reserva Hídrica de Finca Las Costas, es una importante fuente de suministro de agua potable para la ciudad de Salta con aproximadamente 500.000 habitantes, considerada recurso estratégico para la provisión de agua a esta ciudad. Dada las excelentes condiciones naturales de la zona, el gobierno de la provincia la ha preservado como Reserva Intangible.

Se analizan las características hidrogeomorfológicas e hidroquímicas de los cursos que integran la cuenca de la Reserva. Estos parámetros permiten estimar la respuesta hidrológica de la cuenca estudiada y analizar la calidad química a través del tiempo del recurso hídrico. Por otro lado, esta información sirve como base metodológica para análisis de otras áreas de interés que integren el espacio territorial del Valle de Lerma.

1. INTRODUCCIÓN

Esta publicación constituye el primer aporte de los Proyectos de Investigación N° 557 y 697 del CIUNSA (Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta). La información proviene de investigaciones conjuntas realizadas por un grupo de trabajo interdisciplinario financiado por el Fondo Mixto de Cooperación Hispano Argentina, la Dirección Provincial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ministerio de la Producción y el Empleo de la Provincia de Salta), la Universidad de Alcalá de Henares (España) y Aguas de Salta S. A. (concesionaria de la distribución de agua potable en la provincia de Salta), encaradas para la evaluación y ordenamiento de la cuenca

hídrica de finca Las Costas.

El área de finca Las Costas, históricamente ha sido una fuente de suministro hídrico para la ciudad de Salta y sectores rurales periféricos. Esto motivó que el gobierno de la Provincia de Salta lo declarara en el año 1995 como área de Reserva Permanente e Intangible según Decreto Provincial N° 2.327/95. Criterio compartido por Marcuzzi *et al.* 1996, en su trabajo de ordenamiento ambiental del Gran Salta.

En el informe se analizan las características hidrogeomorfológicas e hidroquímicas de los cursos que drenan el área ocupada por la reserva hídrica. La cuenca principal está constituida por diversos cursos entre los cuales se destacan el río Arteaga, Qda. La Toma, Qda. de Astilleros y Qda. de Potrero Grande, los cuales confluyen en un colector principal denominado río Peñalva - Arias. También se comparan algunos parámetros morfológicos de la cuenca con los pertenecientes a la cuenca del río Vaqueros ubicada a unos 10 km al norte del área de estudio.

Trabajo post-simposio

Entregado: 11 de Diciembre de 1999

Aceptado: 25 de Febrero de 2000

1. Dirección de Medio Ambiente y Recursos Naturales (DMAyRN)
2. Convenio DMAyRN - Aguas de Salta S. A.
3. IRNED - Consejo de Investigación - UNSA
4. Consejo de Investigación - UNSA

2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio (figura 1) se encuadra dentro del área de Reserva Permanente e Intangible de Finca Las Costas, ubicada al oeste de la Ciudad de Salta y al suroeste de la Villa veraniega de San Lorenzo, dentro del Departamento Capital.

Se accede a la misma desde Salta por la ruta provincial N° 28, recorriendo aproximadamente 9 km hasta llegar a la intersección con la ruta provincial N° 150 que comunica con Finca Las Costas, donde se encuentra la sala, actual residencia oficial de la Gobernación. De allí, por caminos vecinales hacia el oeste se accede al ápice del cono aluvial del río Peñalva, por donde son evacuados los caudales de la cuenca.

El área a investigar se encuentra ubicada en la porción sur del Cordón de Lesser a una altura variable entre los 1.200 y 2.400 m s.n.m., abarcando una superficie aproximada de 10.260 ha. Finca Las Costas limita al oeste con el profundo valle del Río Potrero, al oriente por el Río San Lorenzo y la urbanización Grand Bourg, al norte por los altos La Toma, Guasacho y la divisoria de aguas de la quebrada de San Lorenzo, y al Sur por la margen derecha del río Peñalva - Arias.

3. ASPECTOS CLIMÁTICOS

Los Altos de Salamanca, el Cordón de Lesser y la Sierra de Vaqueros constituyen los accidentes orográficos que condicionan las precipitaciones de la cuenca del río Arias. Dichas unidades orográficas actúan como barreras en el movimiento de las masas de aire húmedo provenientes del noroeste, ocasionando su precipitación durante la época estival. Esto queda evidenciado en los registros pluviométricos de las estaciones Salta, situada a 1.187 m s.n.m. que registra una precipitación media anual de 808 mm para el periodo 1971-90 y San Lorenzo, ubicada a 1.487 m s.n.m., para el periodo 1943-60 con un registro de 1.395 mm anuales.

La distribución de las lluvias se concentra en los meses de primavera - verano, ya que el 97 % de las mismas se producen en Octubre - Abril y el 3 % entre Mayo y Septiembre. El mes más lluvioso es Enero, en el que se registra el 25,3 % del total anual.

De acuerdo a la dirección de movimiento de las masas de aire húmedo habría una estrecha franja de rumbo nordeste - sudoeste, que atraviesa la cuenca diagonalmente con valores de precipitación inferidos que alcanzarían los 1.600 mm anuales, los que se concentran en el flanco oriental del cordón de Lesser, decreciendo hacia el noroeste y sudeste. Aceptando la distribución de las precipitaciones estimada para el área investigada, el volumen medio anual precipitado sería de 108,7 hm³.

Basándose en los datos pluviométricos de estaciones próximas, se realizó un mapa de isohietas tentativo, figura 2, debido a la carencia de datos en el interior de la cuenca y la falta de correlación temporal de los registros existentes.

4. GEOLOGÍA

Finca Las Costas está ubicada en la Provincia Geológica Cordillera Oriental (Turner 1972). La estructura de esta provincia, que es la prolongación austral de la Cordillera Oriental y Central de Bolivia, responde a esfuerzos compresivos en sentido oeste - este que han producido un intenso fallamiento y plegamiento de rumbo submeridiano. Dentro de este marco tectónico existen lineamientos transversales conjugados al rumbo andino.

El basamento estratigráfico de la región corresponde a leptometamorfitas del Grupo Lerma, representado por la Formación Puncoviscana (Turner 1960), constituido por grauvacas afectadas por fuertes procesos tectónicos y pelitas con metamorfismo de bajo grado (figura 3). Las grauvacas constituyen bancos macizos de grano fino, de colores grises y verdes, con espesores variables. Las secuencias se encuentran atravesadas por venas y venillas de cuarzo en distintas direcciones y espesores. La Formación Puncoviscana se desarrolló en un ambiente de depósitos de cañones submarinos, correspondiente a acumulaciones de facies intermedias a distales (Omarini y Baldi 1984). La edad es discutida, pero se admite Precámbrica superior - Cámbrica inferior en función a datos paleontológicos (Aceñolaza et al. 1976; Durand y Aceñolaza 1990) y edades radiométricas de los granitos que la intruyen (Bachmann et al. 1987).

En discordancia angular se apoyan sedimentos del Grupo Mesón. Los afloramientos presentan una disposición submeridional, alargados, que representan una secuencia deposicional marina de transgresión acumuladas en un ambiente de transición litoral marino pando (Moya 1988). En la zona de estudio solamente se ha reconocido la unidad intermedia correspondiente a la Formación Campanario, construida por cuarcitas verdes grisáceas, micáceas, areniscas moradas de grano fino con bioturbación y pelitas verdes.

Cerca de la Quebrada de Astillero, en su faldeo austral, estas cuarcitas se inclinan hacia el oeste con ángulo medio de 80°. Este conjunto de sucesiones sedimentarias forman una delgada escama tectónica de unos 90 metros de espesor a lo largo de un plano hundido hacia el oeste sobre el cual se disponen rocas precámbricas que afloran algo más hacia el oeste del faldeo austral (Li 1994).

El Grupo Santa Victoria suprayace, en contacto por falla, al Grupo Mesón o se apoya sobre el basamento precámbrico. El Grupo Santa Victoria tiene un desarrollo en fajas elongadas en sentido norte - sur, representado por areniscas cuarzosas medianas a finas pardo amarillentas con

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN

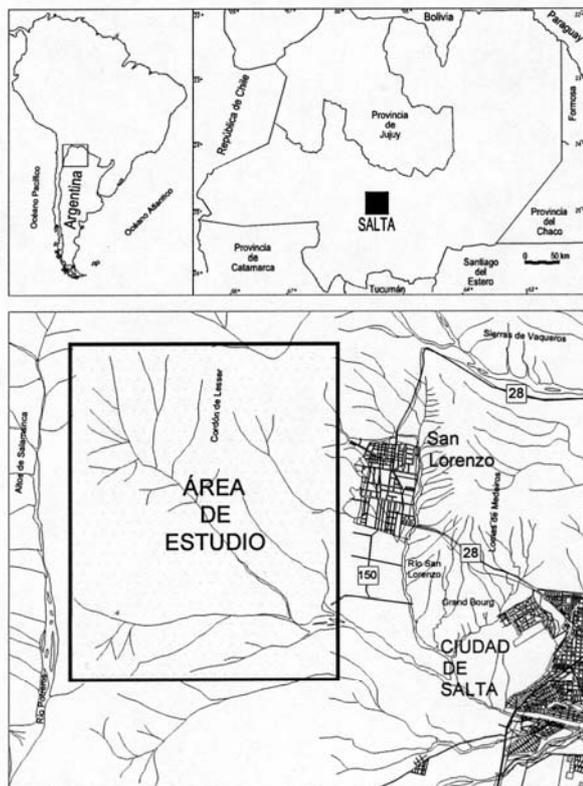
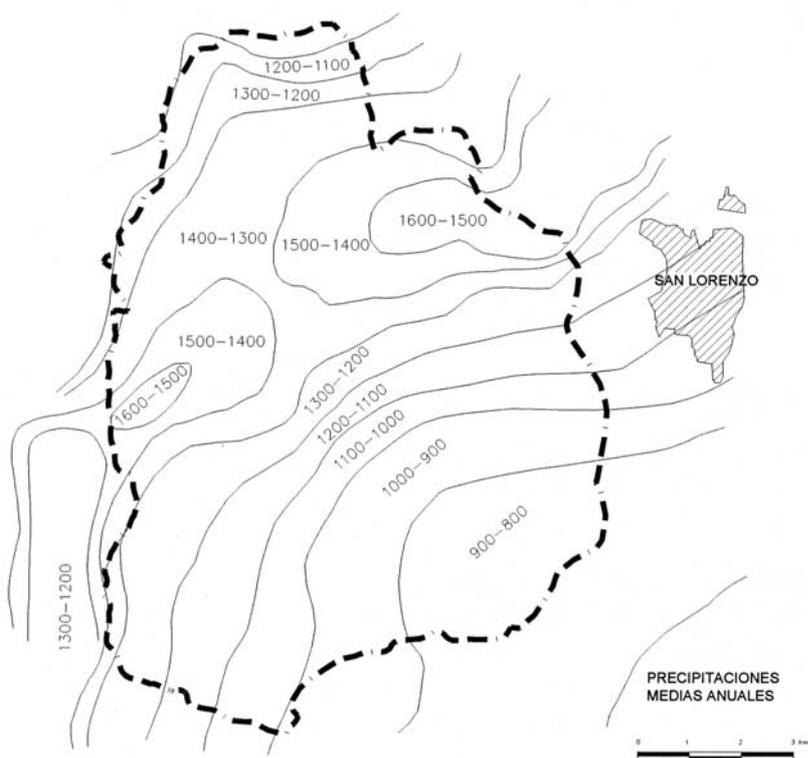


FIGURA 2: MAPA DE ISOHIETAS. PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES EN MILÍMETROS



intercalaciones de bancos conglomerádicos y lutitas arenosas verde amarillentas con intercalaciones de arenisca finas grisáceas bien estratificadas.

La densidad de fallas presentes a provocado la repetición y/o eliminación de algunas unidades descriptas, que sumado a la densa cobertura vegetal, impiden observar el perfil completo.

Los afloramientos del Terciario corresponden al Grupo Orán (*Russo 1972*), dispuestos en el borde oriental del Cordón de Lesser en contacto por la Falla Yacones con las unidades paleozoicas, formando una faja alargada de rumbo submeridional cubiertos generalmente por depósitos terrazados, observándose pequeños depósitos saltuarios. En la zona de estudio, el Grupo Orán, está representado por la Formación Piquete perteneciente al Subgrupo Jujuy, formado por una alternancia de conglomerados gruesos y areniscas arcillosas con algunos bancos de toba blanca. El ambiente de depósito muestra una elevada energía de transporte y evidencia la elevación de grandes áreas de aporte.

Por último, los depósitos del Cuartario son principalmente fluviales. Los depósitos terrazados están vinculados a los cauces principales y a sus afluentes, presentando granulometría entre bloque y arena con niveles lenticulares de clastos más pequeños. Depósitos de pie de monte se ubican en el borde oriental del Cordón de Lesser.

Los depósitos de cauce presentes en los ríos y arroyos contienen rodados provenientes de la erosión de las formaciones aflorantes.

4.1. Estructura

En la zona predomina una tectónica en bloques con fallamiento de tipo inverso (*Turner y Mon 1979*), con neto predominio del fallamiento sobre el plegamiento.

Las estructuras que dominan la región generan bloques subparalelos de orientación submeridiana, limitados por fallas inversas, entre las que se destacan las Fallas de Potrero y Yacones. Existen también, fallas inversas menores que afectan las estructuras de rumbo meridiano.

CUADRO ESTRATIGRÁFICO DE LAS UNIDADES AFLORANTES EN EL ÁREA

CUARTARIO		Depósitos fluviales
.....	Discordancia
TERCIARIO Grupo Orán Subgrupo Jujuy	Formación Piquete	Conglomerados y areniscas
.....	Falla
ORDOVICICO Grupo Santa Victoria		Cuarcita y lutitas
.....	Discordancia
CAMBRICO Grupo Mesón Formación Campanario		Cuarcitas
.....	Discordancia
PRECAMBRICO Grupo Lerma Formación Puncoviscana		Grauvacas y pelita

5. GEOMORFOLOGÍA

El relieve presenta tres sectores (Fig 4): el sector serrano con una superficie de 9.193,68 hectáreas, se encuentra entre los 2.400 y los 1.300 m s.n.m.; el sector de pie de monte con 1.391,49 hectáreas, presenta altitudes entre 1.300 y 1.200 m s.n.m. y el sector de lomadas (Porción distal de las Lomas de Medeiros) con altitudes que van desde los 1.300 a los 1.200 m s.n.m., cubriendo una superficie de 744,75 hectáreas.

La erosión hídrica es el proceso dominante en el modelado de la región. Los arroyos de primer orden poseen una elevada capacidad erosiva y de transporte producto de la alta pendiente y de las intensas precipitaciones que se producen en las épocas estivales. En los valles de las

áreas montañosas, depósitos terrazados de escaso desarrollo areal, son utilizados para agricultura en pequeña escala. Anualmente los cursos cambian de posición y erodan parte de estos depósitos, afectando la economía de subsistencia de la comarca.

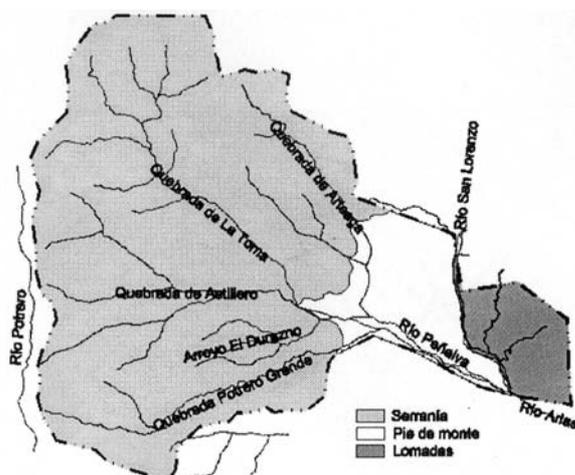
Distintos procesos que dan origen a movimiento de tierra se producen en la cuenca, así procesos de remoción en masa (en sentido amplio) tienen lugar en épocas de lluvias. Deslizamientos o caída de roca (fall-rock) se originan en laderas donde la disposición de estratos rocosos de fuerte buzamiento coincide con la pendiente topográfica ayudado por el alto grado de fracturación. Otro movimiento de masa que involucran regolitos y/o suelos tienen lugar en sectores donde existen formaciones terciarias.

Porcentualmente las zonas montañosas prevalecen en el área y están conformadas por rocas bien diagenizadas del Proterozoico superior (Fm Puncoviscana) y en menor proporción por rocas del Paleozoico inferior pertenecientes al Grupo Mesón (Cámbrico medio - superior) y Grupo Santa Victoria (Ordovícico). En el borde oriental y en el sur afloran formaciones del Terciario, con menor grado de diagénesis.

Estas unidades han sido afectadas por sucesivas etapas diastróficas que han dejado como resultado un conjunto de bloques subparalelos limitados por fallas inversas de orientación preferencial norte - sur. También se observan fallas menores de rumbo noroeste - sudeste.

Los cursos fluviales del sector norte (Artega, Qda La Toma) de la cuenca como resultado del modelo estructural han desarrollado un patrón de drenaje controlado por las estructuras. A mayor escala los cursos principales muestran este condicionamiento con un rumbo principal noroeste - sudeste, coincidente con el conjunto de fracturas menores que afectan el área.

FIGURA 4: RELIEVE DE FINCA LAS COSTAS



El diseño de la red fluvial en el sector sur de la cuenca, que involucra parcialmente la subcuenca del río Astilleros y la totalidad de la subcuenca de la Quebrada de Potrero Grande es de tipo irregular y se la clasifica como dendrítica. Este patrón de drenaje es el reflejo de una litología menos resistente, integrada por conglomerados con intercalaciones pelíticas de edad terciaria, que en sectores infrayacen a depósitos terrazados heterométricos cuartáricos antiguos.

El perfil transversal de los cursos en los sectores de nacientes, es en forma de "V" como resultado del escurrimiento encajonado en las rocas resistentes, que a su vez permite la presencia de laderas con elevada pendiente. El ingreso del colector principal al Valle de Lerma produce una disminución abrupta de la pendiente con la consecuente deposición y ensanchamiento de la llanura de

inundación.

En otros sectores, este proceso junto con la migración de los cauces en el tiempo ha generado un conjunto de conos aluviales en el faldeo oriental del Cordón de Lesser. Estos depósitos conforman una franja alargada de aproximadamente 8 km. en sentido norte - sur y con un ancho máximo de aproximadamente 4 km. en sentido oeste - este. El límite oriental está representado por las Lomas de Medeiros.

5.1. Hidrología

La red de drenaje de la Reserva Hídrica de Finca Las Costas cubre un área de 94.6 km². Los límites de la cuenca son coincidentes con los límites de la finca en el ámbito serrano. En el sector pedemontano los límites presentan problemas debido a una serie de superposiciones con los sectores colindantes. Por ello el límite oriental adoptado para la descripción hidrográfica se encuentra inmediatamente luego de la desembocadura del río Quebrada del Potrero Grande, en el río Peñalva.

El área drenada de la cuenca es el flanco oriental del Cordón de Lesser, en su extremo sur. La altura de las nacientes en la porción norte supera los 2.300 m s.n.m., decreciendo paulatinamente hacia el sur. En el sector de ingreso al valle de Lerma la cota del cauce del Río Peñalva - Arias es de aproximadamente 1210 m s.n.m.

El principal colector es el río Peñalva (Fig 5), que adquiere esta denominación luego de la confluencia de los ríos Quebrada La Toma y Astilleros, el arroyo Durazno y el río Quebrada del Potrero Grande son tributarios por la margen derecha, mientras que el río Artega aporta sus caudales por la margen izquierda.

El río Peñalva cambia su nombre por Arias luego del aporte por el norte del río San Lorenzo, desembocando finalmente en el río Arenales que es tributario del río Juramento perteneciente al sistema Paraná - Plata.

La cuenca de recepción tiene una forma aproximadamente triangular, la base dispuesta en sentido norte - sur coincidiendo con el límite occidental del Cordón de Lesser y el vértice con la convergencia de los cursos en el río Peñalva. Todos los cursos principales a excepción del arroyo el Durazno, tienen caudales permanentes en el ámbito serrano. El río Peñalva que drena sobre depósitos pedemontanos se seca en épocas de estiaje debido a la infiltración producida en los materiales heterométricos porosos del cono aluvial generado en su entrada al Valle de Lerma.

5.2. Parámetros Morfológicos de la Cuenca

Existen diversos parámetros, que intentan relacionar mediante un valor numérico la respuesta hidrológica de una cuenca. La superficie y el perímetro, son parámetros básicos, que se utilizan para los cálculos relacionados con

la forma de una cuenca y su sistema de drenaje. En el presente trabajo se utilizó una imagen satelital TM RGB 741, georeferenciada a escala 1:50.000 para la interpretación y medida de la red de drenaje y de los parámetros morfológicos básicos.

Mediante estos parámetros, se realizó un análisis morfológico de la cuenca y subcuencas que involucra a finca Las Costas, los que se describen a continuación:

5.2.1. Superficie

Considera un área limitada, en la cual las precipitaciones son evacuadas por un sistema de cursos de agua, comprendido entre sus nacientes y su desembocadura u otro punto elegido por interés (Gutiérrez, 1995). En este caso el cierre de la cuenca, esta definido luego de la desembocadura de los ríos Arteaga y Quebrada del Potrero Grande, en el río Peñalva por la margen izquierda y derecha respectivamente.

La superficie hidrográfica hasta la zona definida como cierre, es de 94.6 km². La subcuenca de Quebrada La Toma con 32.2 km², es la mayor y le corresponde un 34 %. La subcuenca de Astilleros es la que le sigue en importancia, su superficie es de 24.5 km² y cubre un 26 %. La superficie restante se distribuye entre las otras subcuencas de la siguiente manera, Arteaga 18 %, Quebrada Potrero Grande 16 % y arroyo El Durazno 6% (figura 6).

FIGURA 6: RELACIÓN DE SUPERFICIES ENTRE LAS SUBCUENCAS DE FINCA LAS COSTAS

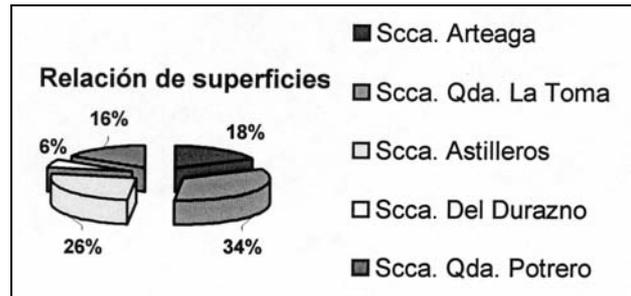


TABLA 1: PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE LA CUENCA PEÑALVA - ARIAS Y DE LAS SUBCUENCAS QUE LA COMPONEN

Parámetro	Scca. Arteaga	Scca. Qda. La Toma	Scca. Astilleros	Scca. Sur	Scca. Qda. Potrero Grande	Cca. Río Peñalva-Arias
Area (m ²)	16744834	32207151	24500525	5655163	15521750	94629423
Perímetro (m)	20266	29336	23399	12632	25371	42651
Índice de circularidad (Ic)	0,51	0,47	0,56	0,44	0,3	0,65
Coefficiente de Compacidad (Kc)	1,38	1,4	1,32	1,49	1,8	1,22
Factor forma (Ff)	0,2	0,19	0,28	0,26	0,12	0,47
Frecuencia (cursos/km ²)	4,13	6,2	8,1	8	7,9	6,7
Densidad hidrográfica (Km/Km ²)	3,04	3,5	4	3,7	4,1	3,7
Extensión media (Es, Km)	0,082	0,071	0,062	0,067	0,061	0,067

5.2.2. Perímetro

El perímetro influye en el tiempo de concentración del agua de escurrimiento en una cuenca. El tiempo de concentración será menor cuando la cuenca se asemeje a una forma circular (Gutiérrez, 1995); ver tabla 1.

5.2.3. Índice de Circularidad

El índice de circularidad (Ic), propuesto por Miller (1953), es un método que consiste en establecer una relación entre el área de la cuenca (A) y el área de un círculo del mismo perímetro de la cuenca (Ac). El valor obtenido es adimensional y oscila entre 0 y 1. La forma de la cuenca se aproxima a un círculo, cuanto más próximo a uno es el valor de Ic, por lo tanto mayor es la capacidad de concentrar las crecientes.

Los valores obtenidos para las subcuencas componentes varían entre 0.3 y 0.56. Como se observa los valores son muy próximos al valor medio, lo que indica que las respuestas a la concentración de las crecientes no son inmediatas. La Quebrada de Potrero Grande es la que más

se aleja a la forma circular y es la que posee menor capacidad de concentración (Tabla 1). El Ic para la cuenca total (Peñalva - Arias) es 0.65, un valor de 0.51 se obtuvo para la cuenca del río Vaqueros situada en la misma serranía a 10 km al norte aproximadamente (Gutiérrez 1995).

5.2.4. Coeficiente de Compacidad

Este es otro parámetro, que da un índice de forma, y que clasifica a la cuenca como oval redonda (Kc = 1-1.25), oval redonda a oval oblonga (Kc = 1.25-1.50), y oval oblonga a rectangular oblonga (Kc = >1.75). Una cuenca se aproximara a la forma circular cuando el valor de Kc se acerque a la unidad y esto significa que habrá mayores probabilidades de crecientes.

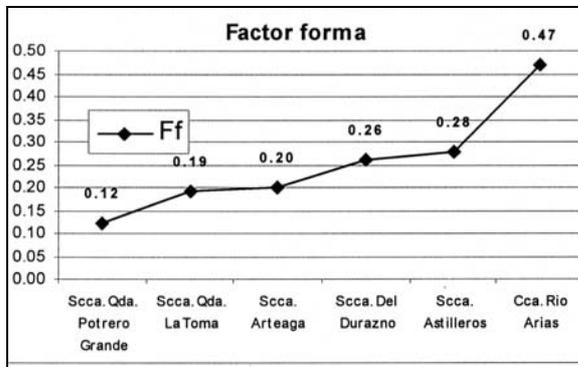
Las subcuencas del río Peñalva - Arias, poseen valores que varían entre 1.32 y 1.49 y corresponden a una cuenca de tipo oval redonda a oval oblonga, a excepción de la subcuenca de la Quebrada de Potrero Grande cuyo valor es de 1.8 y corresponde a una cuenca de tipo rectangular oblonga. La cuenca total posee un Kc de 1.22. Los valores obtenidos se detallan en la Tabla 1.

5.2.5. *Factor de Forma*

El Factor Forma (Ff) es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del curso mas largo. El valor obtenido es adimensional, y nos indica que una cuenca con un Ff bajo, está sujeta a menos probabilidades de crecientes que otra del mismo tamaño pero con un Ff mayor. La cuenca del río Arias posee un Ff de 0.47, los valores correspondientes a las subcuencas integrantes son menores. El valor más bajo es el correspondiente a la subcuenca de la Quebrada del Potrero Grande con Ff de 0.12; ver Tabla 1 y figura 7.

FIGURA 7:

Factor forma para las diferentes subcuencas y para la cuenca del río Peñalva - Arias



5.2.6. *Evaluación de los parámetros de forma*

Los valores obtenidos por medio de las diferentes metodologías utilizadas para analizar la forma de la cuenca son coincidentes al indicar que no existiría un alto riesgo para la generación de grandes avenidas. Adicionalmente, la densa vegetación presente brinda una protección que reduce la capacidad de concentración del agua precipitada. La litología, en su mayor parte de rocas resistentes, es otro factor a tener en cuenta en cuanto a la baja capacidad de suministrar material detrítico en las épocas estivales. Se debe considerar también que se trata de material grueso, que es depositado de manera inmediata en los cauces por disminución de la competencia debido a los constantes cambios de pendiente en los cursos. Estos factores indican que existe una baja probabilidad de generación de flujos densos.

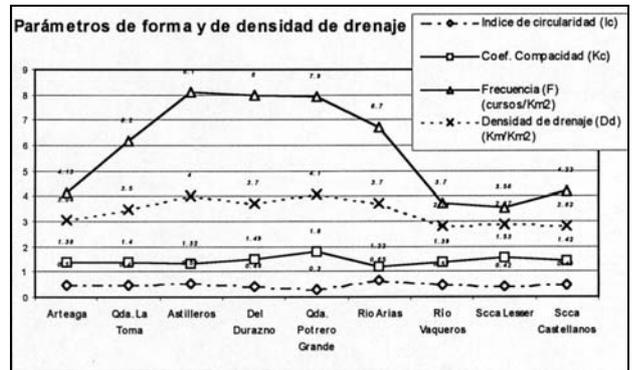
La subcuenca del río Potrero Grande es que posee los valores más seguros en los parámetros Ic y Kc, indicando que es la que más se aleja de la forma circular y por ende la que menos probabilidades posee para la generación de rápidas avenidas. El resto de las subcuencas poseen valores similares indicando una moderada capacidad de concentración de crecientes.

Un análisis similar realizado en la cuenca del río

Vaqueros y sus cuencas integrantes (Lesser y Castellanos) (Gutiérrez 1995), situado en la porción norte del Cordon de Lesser, arroja resultados similares para el índice de circularidad y el coeficiente de compacidad, lo que sugiere una relación entre las litologías y estructuras presentes, con las formas que adoptan las cuencas, considerando que ambas se encuentran bajo las mismas condiciones climáticas. Como se observa en la figura 8, ambos parámetros reflejan la mayor o menor aproximación a la forma circular de las cuencas.

FIGURA 8:

Parámetros de forma y densidad de drenaje para las cuencas del río Peñalva - Arias y sus subcuencas integrantes (Arteaga, La Toma, Astilleros, Potrero Grande y El Durazno) y Vaqueros con sus subcuencas integrantes (Castellanos y Lesser).



5.2.7. *Frecuencia*

La Frecuencia (F), es la relación entre el número de cursos temporales y permanentes de una cuenca y su superficie. La F define la cantidad de cursos en una unidad de superficie. El cálculo de la F representa el comportamiento hidrográfico de un área en uno de sus aspectos fundamentales: la capacidad de generación de nuevos cursos (Christofolletti. 1974).

La frecuencia para la cuenca del río Peñalva - Arias es de 6.7 cursos/km². La subcuenca del río Astilleros es la que posee la mayor densidad con 8.1 cursos/km², que se debe principalmente a que drena sectores con depósitos de edad terciaria de granometría variable y con un menor grado de consolidación con respecto a las unidades de edades proterozoicas y paleozoicas. Otro factor a tener en cuenta es que la subcuenca se dispone atravesando las estructuras submeridianas y podría ser indicativo de presencia de fracturas menores de igual disposición a las principales, como así también de la coincidencia del escurrimiento con el rumbo de las unidades litológicas.

Las subcuencas de El Durazno y Potrero Grande son

las que siguen en cuanto a la frecuencia de cursos con valores de 8 y 7.9 cursos/km² respectivamente. Estas se desarrollan en su totalidad sobre depósitos de edad terciaria y cuartaria, de bajo grado de consolidación, reflejando un control litológico más que estructural del valor de este parámetro.

Las menores frecuencias le corresponden a las subcuencas de los ríos la Toma (6.2 cursos/km²) y Arteaga (4.13 cursos/km²), cuyas redes de drenaje poseen un control estructural por las grandes fallas que afectan su cuenca y sobre las cuales escurren los cursos principales. Para la cuenca del río Vaqueros y sus subcuencas los valores de frecuencia se asemejan a la de la subcuenca del río Arteaga (Tabla 1 y figura 8)

5.2.8. Densidad Hidrográfica

La Densidad hidrográfica (**Dd**) se define como la longitud media de la red por unidad de superficie (Benítez 1972), Castany denomina a este parámetro como coeficiente de drenaje.

Se considera a una cuenca pobremente drenada cuando la **Dd** es (0.6 km./km², y bien drenada si **Dd** > 3Km/Km² (Benítez 1972).

La longitud total de los cursos es de 349.3 km, la densidad de drenaje para la cuenca del río Peñalva - Arias es de 3.7 km./km². Los valores obtenidos para las subcuencas integrantes oscilan entre 3 y 4.1 km/km² (Tabla 1),

por lo tanto se las clasifica como bien drenadas. Este parámetro para la cuenca del río Vaqueros no supera los 3 km/km² (Gutiérrez 1995), con una discrepancia de 1 km/km² con respecto al valor más alto de la cuenca del río Peñalva - Arias, con 4.1 km/km² en la subcuenca de la Quebrada de Potrero Grande.

5.2.9. Jerarquía fluvial

La Jerarquía fluvial consiste en establecer la clasificación de un determinado curso de agua (o del área drenada a la cual pertenece), en el conjunto total de la cuenca hidrográfica donde se encuentra (Christofolletti 1974).

Se utilizó el sistema de determinación de ordenes de corrientes, introducido por Strabler (1952). En esta se considera como cursos de orden uno a aquellos que no poseen ningún tributario. Los de segundo orden surgen de la confluencia de dos cursos de orden uno y pueden recibir afluentes de ese orden y así sucesivamente se determina el grado de ramificación de la cuenca.

En el presente trabajo se realizó un análisis de la jerarquía fluvial en la totalidad del área involucrada y también en las subcuencas integrantes, los valores de longitud y cantidad de cursos obtenidos para cada orden son los que se observan en la Tabla 2.

El grado máximo de ramificación obtenido es de sexto orden y corresponde al río Peñalva, mientras que el resto de las quebradas alcanzan un orden quinto.

TABLA 2: JERARQUÍA FLUVIAL DE LA RED DE DRENAJE

Subca.	Orden 1		Orden 2		Orden 3		Orden 4		Orden 5		Orden 6	
	Long. (m)	Cantidad										
Arteaga	24527	69	11763	24	7363	6	7247	1	0	0	0	0
Qda. La Toma	61974	200	25621	47	13636	11	5036	3	6969	1	0	0
Astilleros	59558	198	21176	43	8481	3	7884	2	2139	1	0	0
Arroyo El Durazno	11848	45	3922	6	3442	2	1491	1	0	0	0	0
Qda. Potrero Grande	30982	123	20217	33	4727	3	7151	1	0	0	0	0
Cuenca río Peñalva	188889	635	82699	153	37649	25	28809	8	9108	2	2172	1

5.2.10. Extensión media del escurrimiento superficial

La extensión media del escurrimiento superficial (**Es**), indica la distancia media en línea recta que el agua precipitada tendrá que escurrir para llegar al lecho de un curso de agua.

La distancia obtenida para la cuenca del río Peñalva - Arias, es de 0.067 km. Los valores correspondientes a las subcuencas son similares, siendo el de la subcuenca

del río Arteaga el mayor, alcanzando un valor de **Es** de 0.082 km; ver Tabla 1.

6. CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA

La cuenca del río Arias en Finca Las Costas, se desarrolla al noroeste del Valle de Lerma y es una de las numerosas cuencas que son captadas para el suministro de agua potable para la ciudad de Salta. Esta ciudad ocupa

la porción norte del valle y se encuentra en un continuo proceso de expansión. Es por ello que en la actualidad se encaran una serie de proyectos a corto mediano y largo plazo para evaluar con un cierto grado de aproximación el recurso hídrico disponible. Un punto de importancia en esta etapa emprendida, es el control continuo de la calidad de agua tanto en su aspecto físico - químico como bacteriológico que permitirá analizar su evolución a través del tiempo y su relación con el entorno.

Los puntos de muestreo han sido seleccionados de para controlar la calidad físico-química de los cursos que drenan las principales subcuencas integrantes, como ser: Quebrada de La Toma, Río Astilleros (ambas aguas arriba de sus respectivas tomas de captación) Arroyo El Cedral y río Potreros (luego denominado Arenales). Además dos muestras procedentes de manantiales ubicadas a ambos márgenes del río Astilleros, fueron analizadas para cotejar su composición con las aguas superficiales.

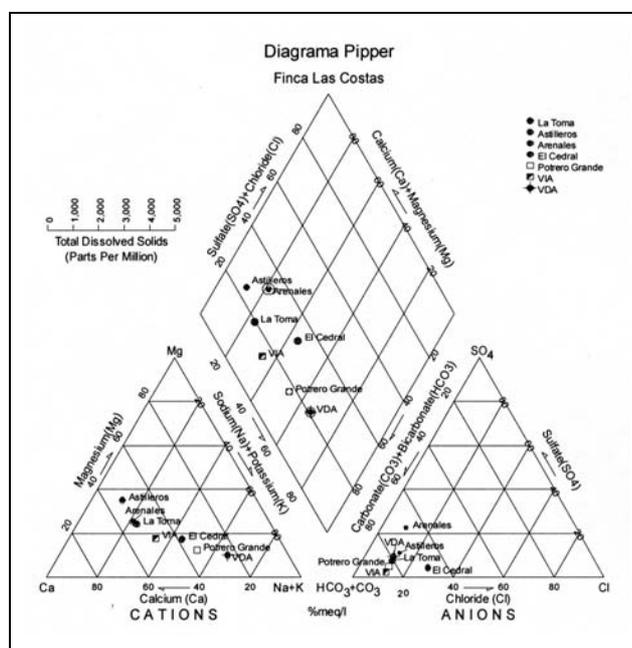
Desde el punto de vista hidrogeológico la cuenca de recepción se desarrolla predominantemente en metapelitas y areniscas silicificadas con intercalaciones pelíticas del proterozoico y paleozoico. Estas unidades carecen en su composición de minerales que pudieran aportar contaminantes y degradar la calidad del agua. En cuanto a los depósitos pedemontanos y de valle, que poseen características físicas favorables para actuar como acuíferos, están conformados por material heterométrico de litología similar a las rocas aflorantes del sector serrano, área de aporte en donde es de esperar una disminución en la calidad del recurso hídrico subterráneo a no ser por efecto de la actividad antrópica.

Análisis físico-químicos, realizados por la División Laboratorio de Aguas de Salta S.A. (Tabla 3), de muestras obtenidas en los meses de Octubre y Noviembre de 1998 en la zona de captación en el Río Peñalva-Arias, Río Astilleros y Quebrada La Toma, indican valores por debajo de los límites tolerables para consumo humano, a excepción de algunos, con exceso de turbiedad debido a la época de muestreo. Los datos hidroquímicos representados en el diagrama Piper, figura 9, clasifica a las aguas de la Quebrada Potrero Grande como agua potable alcalina con alto contenido de álcalis, prevaleciendo bicarbonatos. Mientras que para las quebradas de La Toma, Astillero y Arenales indicarían agua potable del tipo alcalina normal, prevaleciendo bicarbonatos. Estas muestras para control han sido tomadas en las cámaras de captación y entrada a las captaciones.

El muestreo hidroquímico realizado para los diferentes cursos presentes en el área de estudio clasifica al agua superficial como potable dentro del rango de los valores límites tolerables para la presencia de nitritos. Los valores de nitritos del río Potrero -Arenales (no integra la cuenca

del río Peñalva - Arias), son elevados y a pesar que desde este curso se realiza un trasbase de agua hacia el río Astillero en época de estiaje, las concentraciones no se reflejan en el mismo.

FIGURA 9: DIAGRAMA PIPPER



De acuerdo al diagrama de Piper, para los valores promediados del muestreo realizado durante el año de los cursos que integran la cuenca del río Peñalva-Arias (Figura 9), clasifica el agua de la siguiente manera:

Río Qda. La Toma: Agua potable alcalina con alto contenido de álcalis, prevaleciendo bicarbonatos.

Río Astilleros: Agua potable alcalina normal, prevaleciendo bicarbonatos.

Río Qda. De Potrero Grande: Agua potable alcalina, prevaleciendo bicarbonatos.

Río Arenales: Agua potable alcalina con alto contenido de álcalis, prevaleciendo bicarbonatos.

Vertiente en la margen izquierda del río Astilleros (VIA): Esta vertiente se desarrolla en metamorfitas de bajo grado de edad precámbrica, fracturadas, en la sierra que actúa como divisoria de agua con la cuenca del río Qda. La Toma y se clasifica como Agua potable alcalina con alto contenido de álcalis, prevaleciendo bicarbonatos.

Vertiente en la margen derecha del río Astilleros (VDA): Esta vertiente se desarrolla en rocas con bajo grado de diagénesis de edad terciaria en la sierra que actúa como divisoria de agua con la cuenca del río Qda. de Potrero Grande y se clasifica como agua potable alcalina, prevaleciendo bicarbonatos, dentro del mismo campo correspondiente a las muestras provenientes del río Qda. de Potrero Grande,

**TABLA N° 3. ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO Y BACTEREOLÓGICO. MUESTRA 1: RÍO ODA. LA TOMA;
MUESTRA 2: RÍO ASTILLEROS**

Parametro	Valor aceptable	Límite tolerable	Valor determinado (muestra 1)	Valor determinado (muestra 2)
Turbiedad	<1	2 UNT	1	1
Color	<6 U.C	15 U.C	2	2
Olor	5	10	sin olor	sin olor
pH	7 - 8.5	6,5 - 9,2	8.2	8.2
Sólidos disueltos	50 - 1000(mg/l)	2000(mg/l)	200	230
Alcalinidad	400(mg/l)	800(mg/l)	ND	ND
Dureza total (CaCO ₃)	80 - 200(mg/l)	500(mg/l)	310	350
Cloruros (Cl ⁻)	250(mg/l)	400(mg/l)	50	50
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	200(mg/l)	400(mg/l)	280	300
Hierro total (Fe)	0,1(mg/l)	0,2(mg/l)	ND	ND
Manganeso (Mn)	0,05(mg/l)	0,1(mg/l)	ND	ND
Amonio (NH ₄)	0,2(mg/l)	0,5(mg/l)	0.2	0.2
Nitritos (NO ₂ ⁼)	0	0,1(mg/l)	0.05	0.07
Nitratos (NO ₃ ⁻)	0	45(mg/l)	30	35
Fluoruros (F ⁻)	1,5(mg/l)	2,4(mg/l)	ND	ND
Arsénico (As)	0,05(mg/l)	0,1(mg/l)	ND	ND
Plomo (Pb)	0	0,05(mg/l)	NSD	NSD
Vanadio (V)	0	0	ND	ND
Aluminio (Al)	<0,1(mg/l)	0,2(mg/l)	ND	ND
Cadmio (Cd)	0	0,05(mg/l)	ND	ND
Cromo (Cr)	0	0,05(mg/l)	ND	ND
Cianuros	0	0,1(mg/l)	ND	ND
Mercurio (Hg)	0	0,001(mg/l)	NSD	NSD
Selenio (Se)	0	0,001(mg/l)	ND	ND
Cobre (Cu)	<1(mg/l)	1,5(mg/l)	ND	ND
Zinc (Zn)	<5(mg/l)	5(mg/l)	NSD	NSD
Boro (H ₃ B0 ₃)		20(mg/l)*	NSD	NSD
Detergentes	0,5(mg/l)	0,5(mg/l)	ND	ND
Sustancias orgánicas contaminantes				
Sustancias solubles en éter			NSD	NSD
Residuos de pesticidas				
Organofosforados			NSD	NSD
Organoclorados			NSD	NSD
Informe Bacteriológico				
Aerobios mesófilos			3000 coloni/100 ml	230 coloni/100 ml
Coliformes totales			3 coloni/100 ml	240 coloni/100 ml
Coliformes fecales			0/100 ml	0/100 ml
Pseudomona aeruginosa			Positivo	Positivo
Staphylococcus aureus			Negativo	Negativo
Salmonella SPP			Negativo	Negativo
Shigella SPP			Negativo	Negativo
Hongos			Negativo	Negativo
Parásitos			Negativo	Negativo
Vibrión cholerae			Negativo	Negativo

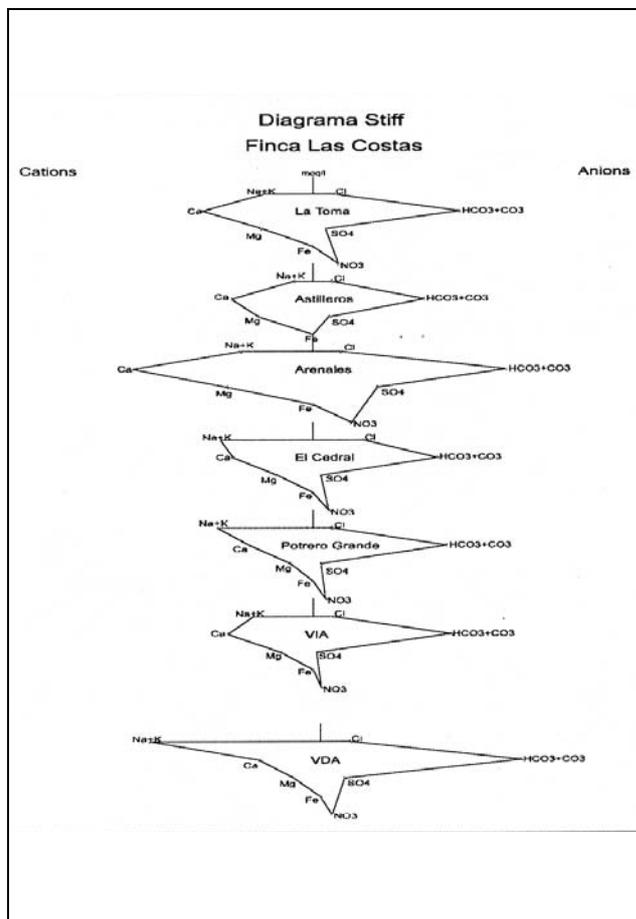
ND: NO DETERMINADO NSD: NO SE DETECTA * Hydrogeology, Davis S. N. and De Wiest R. J. M., pag. 169; 1971

Valores tomados en base a la reunión del C.O.F.E.S.S. Del 4 - 5/06/1992 y de las normas de O.S.N

cuya cuenca se desarrolla totalmente en rocas de edad terciária.

El diagrama de Stiff (Figura 10), que gráfica los iones principales presentes en las aguas, muestra para los valores promediados de los diferentes cursos, que no existen grandes diferencias entre los contenidos de las aguas procedentes del ríos Qda. La Toma, Astilleros, Qda. de Potrero Grande, A° El Cedral y la vertiente VIA. El río Arenales posee una mayor concentración en los iones Ca, HCO₃+CO₃, lo que probablemente sea debido a la presencia de rocas carbonáticas en su cuenca alta. En el polígono correspondiente a la vertiente VDA, se observa un pico en el contenido de álcalis y HCO₃+CO₃, que se debe al tipo de roca en la cual se desarrolla, si se compara con el polígono correspondiente al río Qda. de Potrero Grande se observa una cierta similitud proporcional en sus formas, la mayor concentración de ciertos iones en la vertiente se debe al mayor tiempo de contacto del agua con la roca, teniendo en cuenta que ambas se desarrollan en similares litologías de edad terciária.

FIGURA 10: DIAGRAMA DE STIFF



En los análisis bacteriológicos realizados en las muestras tomadas en los ríos Quebrada La Toma (muestra 1) y Astilleros (muestra 2), ver Tabla 3, se observan valores elevados en el recuento de aerobios mesófilos, coliformes totales y positivo en Pseudomona aeruginosa. Sin embargo, las aguas alcanzan los valores normales de potabilidad bacteriológica con posterioridad al tratamiento según los controles realizados por el laboratorio de Aguas de Salta S.A.

6.1. Características de las aguas superficiales para riego

Se ha adoptado la clasificación seguida por la USSLS (United States Salinity Laboratory Staff) para una evaluación de las aguas superficiales para riego y que analiza las siguientes características:

- Concentración total de sales solubles
- Concentración relativa del sodio respecto al calcio y al magnesio (SAR)
- Concentración del boro y otros elementos tóxicos

Para la concentración total de sales solubles se utiliza para su expresión el valor de la conductividad eléctrica expresada en micromhos/cm. Según Wilcox, L.V. se reconocen cuatro grupos:

Grupo C₁: Aguas de baja salinidad, utilizables para riego en la mayor parte de los cultivos. La conductividad específica está comprendida entre 0-250 micromhos/cm.

Grupo C₂: Aguas de salinidad media cuya conductividad está comprendida entre 250-750 micromhos/cm. Se utilizan para plantas moderadamente tolerables a las sales siempre que haya un moderado grado de lavado.

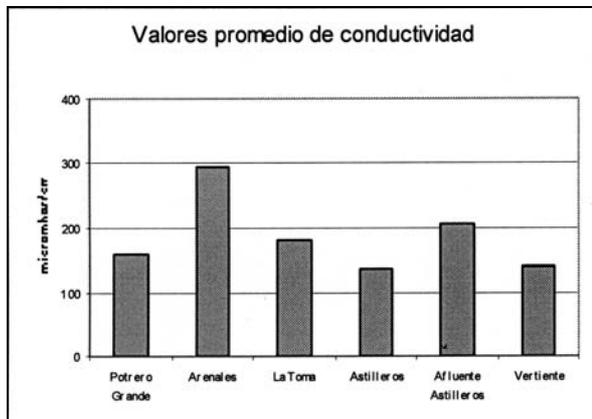
Grupo C₃: Aguas fuertemente salinas con conductividades comprendidas entre 750-2250 micromhos/cm. Solo se utilizan para el riego de cultivos con una gran resistencia a la salinidad, utilizando técnicas adecuadas para el control de la misma.

Grupo C₄: La conductividad es superior a 2250 micromhos/cm. No son aconsejables para riego, solo se utilizan para plantas con una alta resistencia a la salinidad, combinados con un exceso de lavado y un buen drenaje.

Los valores de conductividad eléctrica obtenidos para los cursos que drenan Finca Las Costas (Figura 11) no superan los 220 micromhos/cm, clasificándose dentro del Grupo C₁ que indica la posibilidad de utilizar el recurso hídrico para riego de la mayor parte de los cultivos. La muestra tomada el 04/06/99 en el río Arenales posee una conductividad de 315 micromhos/cm, con un valor promedio para las diferentes fechas de muestreo de 295 micromhos/cm, que la clasifica dentro del rango del Grupo C₂ donde ya existen ciertas restricciones para su uso.

FIGURA 11

Valores de conductividad promedio para los diferentes cursos de agua.



Debido al alto grado de solubilidad de sus compuestos, el sodio se concentra por efectos de la evaporación, produciendo efectos nocivos en los suelos como ser la disminución de la permeabilidad y el aumento de la dureza. Estos efectos se deben al intercambio iónico entre el calcio y magnesio con el sodio. El índice de adsorción de sodio (SAR) estima la intensidad de este intercambio y se expresa de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Donde sodio, calcio y magnesio están expresados en miliequivalentes por litro de agua de los iones respectivos.

Como se expresó anteriormente esta clasificación se fundamenta en las variaciones que el sodio puede provocar en las condiciones físicas del suelo, pero es necesario aclarar que este ión puede afectar plantas sensibles sin que se perciban modificaciones en el suelo. Dentro de la clasificación tenemos:

S₁: Bajo contenido en sodio. No provoca daños en el desarrollo vegetal, solo plantas muy sensibles se ven afectadas.

S₂: Contenido medio de sodio: Se puede usar en suelos con textura media a gruesa o con suelos orgánicos de buena permeabilidad. No es conveniente en suelos con lavado deficiente, alta capacidad de intercambio y textura fina.

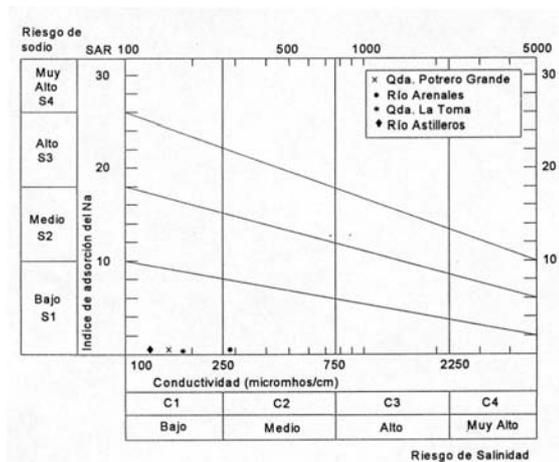
S₃: Alto contenido de sodio: Genera altos niveles de sodio intercambiable en la mayoría de los casos, a excepción de suelos yesíferos. Para su utilización es necesaria la práctica de técnicas especiales de manejo, buen drenaje, intenso lavado y adición de materia orgánica.

S₄: Muy alto contenido en sodio: Salvo circunstancias muy especiales, este tipo de aguas es inadecuado para riego en general.

Los valores de conductividad y de índices de adsorción de Na⁺ clasifican las aguas superficiales de los ríos Potrero Grande, La Toma y Astilleros como de bajo riesgo de Na⁺ y de salinidad y la del río Arenales como de bajo riesgo de Na⁺ y medio riesgo de salinidad de acuerdo al diagrama de Wilcox (figura 12).

FIGURA 12

Diagrama para la clasificación de las agua de riego (Diagrama de Wilcox, extraído de Hidrogeología, Davis, S.N. and De Wiest, 1971, Pág. 172)



En cuanto a la concentración de Boro, los análisis realizados en las muestras tomadas en el río Astilleros y La Toma no presentan contenidos elevados, lo que indica baja toxicidad de las aguas para cultivos y refleja la ausencia de rocas, en sus cuencas, que pudieran suministrar dicho elemento en cantidades nocivas.

7. CONCLUSIONES

1. La red de drenaje de Finca Las Costas tiene un área de 94.6 km². La cuenca de recepción tiene una forma aproximadamente triangular con su base dispuesta norte - sur y los cursos convergen en el río Peñalva con direcciones de escurrimiento que van desde el

TABLA N° 4. ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE LAS SUBCUENCAS QUE FORMAN FINCA LAS COSTAS

Parámetro	Valor límite aconsejable	6/11/98	Valor límite aceptable	7/10/98	Valor límite tolerable	7/10/98	Valor determinado (muestra 3)	7/10/98	Valor determinado (muestra 4)	7/10/98	Valor determinado (muestra 5)	7/10/98	Valor determinado (muestra 6)	7/10/98	Valor determinado (muestra 7)	7/10/98	Valor determinado (muestra 8)	7/10/98	Valor determinado (muestra 9)	7/10/98	Valor determinado (muestra 10)	Valor determinado (muestra 11)	Valor determinado (muestra 12)	Valor determinado (muestra 13)
Turbiedad (UT)	<0.2	1	2*	4.8	7.1	7.3	6.75	7.75	6.70	6.70	7.85	8.2	8.4	8.1	8.2	8.2	8.4	8.1	8.2	8.2	8.4	8.1	8.1	0.7
Color (UC)	<0.2	6	15*	3.9	3.9	3.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
Olor (umbral a 60°)	1	5	10																					
PH	6.8-8.5	6.8-8.5	6.8-8.5*	7.4	7.1	7.3	6.75	7.75	6.70	6.70	7.85	8.2	8.4	8.1	8.2	8.2	8.4	8.1	8.2	8.2	8.4	8.1	8.1	8.2
Conductividad a 25°C (umho/cm)		210	208	206	205	260	240	305	230	230	320	330	230	230	320	330	230	230	320	330	230	230	320	320
Residuo sólido a 105°C (mg/l)	50-600	1000	2000**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Alcalinidad total (CaCO ₃) (mg/l)	30-200	800*	400	800*	69	71	69	70	96	96	90	106	84	116	106	106	84	116	106	106	84	116	106	116
Dureza total (CaCO ₃) (mg/l)*	30-100	200	400*	84	84	84	104	104	104	104	124	100	136	96	100	136	96	116	100	100	136	96	116	116
Dureza (Cl-) (mg/l)	<100	250	250*	11.02	11.02	11.02	10.02	10.02	11.02	11.02	13.03	8.02	12.02	13.03	8.02	12.02	13.03	8.02	10.02	10.02	12.02	13.03	8.02	10.02
Sulfatos (SO ₄ =) (mg/l)	<100	200	250*	7.61	4.2	7.61	4.20	11.05	4.20	18.04	18.04	7.61	22	7.61	18.04	22	7.61	18.04	7.61	18.04	22	7.61	18.04	18.04
Bicarbonatos (HCO ₃ -) (mg/l)		84.2	86.64	84.2	85.42	84.2	85.42	86.64	84.2	85.42	86.64	84.2	85.42	86.64	84.2	85.42	86.64	84.2	86.64	84.2	85.42	86.64	84.2	86.64
Calcio (Ca) (mg/l)		24.05	24.05	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83	5.83
Magnesio (Mg) (mg/l)		9.14	9.43	8.33	6.9	12.78	8	12	6.9	12.78	8	12	6.9	12.78	8	12	6.9	12.78	8	12	6.9	12.78	8	12.78
Sodio (Na) (mg/l)		1.5	1.5	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Potasio (K) (mg/l)		0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Hierro total (Fe) (mg/l)	<0.05	0.1	0.3*	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Manganeso (Mn) (mg/l)	<0.01	0.05	0.1*	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD
Amonio (NH ₄) (mg/l)	<0.05	0.2	0.5*	0.22	0.22	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Nitritos (NO ₂ -) (mg/l)	<0.01	0.01	0.1*	0.02	0.02	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
Nitratos (NO ₃ -) (mg/l)	45	45	45*	12.3	15.9	11,059	10.26	9,484	11,882	11,882	6,931	12,303	8.36	13,166	12,303	8.36	13,166	12,303	8.36	13,166	12,303	8.36	13,166	8,730
Fluoruros (F-) (mg/l)	0.7-1.2	2*	0.1*	0.12	0.12	0.126	0.146	0.2	0.16	0.2	0.173	0.2	0.173	0.2	0.173	0.2	0.173	0.2	0.173	0.2	0.173	0.2	0.173	0.254
Arsénico (As) (mg/l)	<0.05	0.05	0.1*	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Plomo (Pb) (mg/l)	<0.01	0.01	0.05**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Varadio (V) (mg/l)	0	0**	0**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aluminio (Al) residual (mg/l)<0.01	0.05	0.2**	0.2**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloro residual (mg/l)	0.3	0.2-0.6	1.5	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl	S/Cl
Cadmio (Cd) (mg/l)	0	<0.005	0.005**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo (Cr) (mg/l)	0	<0.05	0.05**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cianuros (mg/l)	0	<0.1	0.1**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mercurio (Hg) (mg/l)	<0.001	0.005	0.001**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Plata (mg/l)	<0.01	0.05	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Selenio (Se) (mg/l)	0	<0.001	0.001**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre (Cu) (mg/l)	<1	1**	1.5**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinc (Zn) (mg/l)	0	5**	15**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Boro (mg/l)	<1	1	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Índice de saturación		-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2
Detergentes (mg/l)		0.5**	0.5**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: NO DETERMINADO NSD: NO SE DETECTA

* Valor máximo permitido según contrato de concesión; ** Valores tomados sobre la base de la reunión del C.O.F.E.S.S (05/06/1992), el resto de los valores han sido obtenidos de diversas fuentes.

noroeste - sudeste al sudeste - noroeste, por el control estructural. Todos los cursos, a excepción del arroyo el Durazno, tienen caudales permanentes en el ámbito serrano. El río Peñalva que se desarrolla ya en depósitos pedemontanos, se seca en épocas de estiaje debido a la infiltración producida en estos materiales porosos.

2. Los índices de forma de la cuenca, indican que no existiría un alto riesgo para la generación de grandes avenidas; además, la densa vegetación de la zona suministra protección al suelo, reduciendo la capacidad de concentración superficial del agua precipitada. Por otro lado la litología dominante, constituida por rocas resistentes, define una baja capacidad de suministro de material detrítico, principalmente de granulometría gruesa, para el transporte en las épocas estivales.
3. La similitud de valores en el índice de circularidad y coeficiente de compacidad de la cuenca del río Peñalva - Arias con los de la cuenca del río Vaqueros, sugieren una relación entre litología - tectónica y las formas que adoptan las cuencas, considerando que ambas se encuentran bajo las mismas condiciones climáticas.
4. Los valores más elevados de Frecuencia (F) corresponden a las cuencas de los ríos Astilleros, Qda Potrero Grande y el Durazno, las cuales se desarrollan principalmente sobre rocas de edad terciarias de menor grado de consolidación.
5. Las aguas de la cuenca, se clasifican como alcalina

normal con predominio de bicarbonatos y alcalina con alto contenido de álcalis con predominio de bicarbonatos.

6. Los resultados de los análisis químicos demuestran que el agua proveniente de la cuenca del río Peñalva - Arias son de muy buena calidad, reafirmando su importancia como área de reserva y recurso hídrico.
7. Si bien la calidad química inorgánica de las aguas son aptas para el consumo, el elevado contenido de materia orgánica producto de la actividad pecuaria hace imprescindible el tratamiento previo para el uso humano.
8. Existe una correlación entre la topografía y precipitación, donde los valores máximos anuales se registran en el sector más elevado de la sierra con 1600 mm y los mínimos en el sector pedemontano con 800 mm.
9. Resulta imprescindible que el área de la cuenca de Finca Las Costas se mantenga como reserva intangible con destino a la provisión de agua para consumo humano de la ciudad de Salta.
10. Finca Las Costas, representa un laboratorio ideal para el estudio y seguimiento permanente de parámetros hidrológicos, de manejo y uso del suelo y de la calidad de aguas.
11. Debido al trasbase de agua existente desde la cuenca del río Potreros (Arenales) a la cuenca de Finca Las Costas resulta necesario un estudio en detalle de la cuenca del Río Potreros.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BACHMANN, G., B. GRAUERT, U. KRAMM, A. LORK Y H. MILLER. 1987.

El magmatismo del Cámbrico medio - Cámbrico superior en el basamento del Noroeste Argentino.

Investigaciones Isotópicas y geocronológicas sobre los granitoides de los complejos intrusivos de Santa Rosa de Tastil y Cañani. Décimo Congreso geológico Argentino. Tucumán. Actas IV: 125 - 127 pp.

BALDIS, B. A. Y R. OMARINI. 1984.

El Grupo Lerma (Precámbrico - Cámbrico) en la comarca central salteña y su posición en el borde pacífico americano.

Noveno Congreso Geológico Argentino. Bariloche. I: 64 - 78 pp.

CHRISTOFOLETTI, A. 1974.

Geomorfología.

Universidad de San Pablo. Brasil. 150 pp.

DAVIS, S. N. Y DE WIEST, R. 1971.

Hidrogeología.

Editorial Ariel. Barcelona, España. 563 pp.

DURAND, R. F. Y F. G. ACEÑOLAZA. 1990.

Caracteres Biofaunísticos, Paleoecológicos y Paleogeográficos de la Formación Puncoviscana (Precámbrico superior - Cámbrico inferior) del Noroeste Argentino.

En F. Aceñolaza, H.

- GUTIÉRREZ, M. D. 1995.
Hidrogeología de la cuenca del río Vaqueros. Departamento La Caldera y Capital, Provincia de Salta.
Tesis profesional. Universidad Nacional de Salta. Inédito.
- LI, M. S. 1994.
Levantamiento geológico expeditivo del Cordón de Lesser, entre los paralelos 24(30(y 24(48(latitud sur. Tesis Profesional.
Escuela de Geología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. 71 pp.
- MARCUZZI, J. J., NADIR, R. A., ALONSO R. N., PERALTA, C. M. Y R. A. ARGANARAZ 1996.
Riesgos Geoambientales y ordenamiento territorial del Gran Salta.
XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: 463 - 479.
- MARCUZZI, J.J., NUÑEZ, V., PERALTA,C.M., GUTIERREZ, M., OLANETA, M., GARRIDO, D. Y G. LOPEZ. 2000.
Ordenación Territorial de Finca Las Costas. Departamento Capital, Salta, Argentina. (en prensa)
- MILLER, B. C. 1953.
A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the clinch mountain area.
Technical report 3. Department geology, Columbia University.
- MOYA, M. C. 1988.
Estratigrafía del Tremadociano en el tramo austral de la Cordillera Oriental Argentina.
Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Tesis Doctoral. Inédito.
- NUÑEZ, V. Y L.C. MARMOL .1997
Carta de vegetación por procesamiento digital de un sector de las Yungas, provincias de Salta y Jujuy.
Manejo de Fauna, Pub.tec.Nº8: 12-20. UNSa.. Salta.
- RUSSO. A. 1972.
La estratigrafía terciaria en el Noroeste Argentino. Quinto Congreso Geológico Argentino.
Buenos Aires. Resúmenes.
- STRAHLER, A. N. 1952.
Dynamic basis of geomorphology. Geology Society America
bulletin 63: 923-938 pp.
- TURNER, J. C. M., 1960.
Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. Academia Nacional de Ciencias,
Boletín 41 (2): 163 - 196. Córdoba.
- TURNER, J. C. M. 1972.
Cordillera Oriental.
Geología Regional Argentina, Primer Simposio. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba 117-142 pp.
- TURNER , J. C. Y R. MON, 1979.
Cordillera Oriental in J. C. M. Turner (Cord).
Geología Regional Argentina, Segundo Simposio, Academia Nacional de Ciencias. I: 57-94. Córdoba.



Mapa de la vegetación del ejido de la ciudad de San Carlos de Bariloche

Naumann, Carlos M. - Sancholuz, Luis A.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de San Carlos de Bariloche se encuentra a 41° 10' latitud sur en el noroeste patagónico, al pie de los Andes junto al lago más grande de la región, el Nahuel Huapi. Está ubicada en la precordillera, en la zona ecotonal entre los bosques andinos y la estepa patagónica. El ejido de la ciudad abarca cerca de 224 km².

2. MÉTODOS

El mapa de vegetación del ejido de San Carlos de Bariloche se dibujó en computadora tipo PC utilizando como fuente mapas del Instituto Geográfico Militar Argentino (IGM) con escala 1:50.000, fotografías aéreas con escala aproximada 1/32.000 del año 1970 y material cartográfico digital con curvas de nivel de la Delegación Regional Patagonia de Parques Nacionales.

La vegetación se reconoció primero en el terreno en más de 80 sitios de muestreo (Naumann 1996) por el método de Braun-Blanquet (Ellenberg 1956). Luego se diferenció por las especies arbóreas y arbustivas dominantes junto con las zonas pobladas sobre un mosaico de fotografías aéreas. Se usaron las fotografías detalladas en la tabla 1. Los potreros de pastoreo, campos abandonados, parques y forestaciones se consideraron con dominancia de especies exóticas. Como superficie poblada se reconoció el casco urbano de la ciudad, los asentamientos dispersos y rutas importantes.

TABLA 1: FOTOGRAFÍAS AÉREAS DEL IGM 1970

Vuelo	26	25	M	24	23	22	21	20	19
Fotografías	164	295	096	307	375	391	031	048	080
	163	293		304	374	392	029	050	079
	162	291			371	394		051	078

El mapa de vegetación fue georeferenciado usando la proyección geográfica conforme Gauss Krueger de los mapas del IGM.

3. RESULTADOS

El mapa resultante se presenta a continuación.

La figura 2 muestra un gradiente idealizado con la sucesión de las comunidades de vegetación desde las laderas andinas hasta la estepa patagónica en el ejido de la ciudad de San Carlos de Bariloche (41° 10' latitud sur). En los pisos altitudinales andinos de la vegetación domina la lenga (*Nothofagus pumilio*) sobre los 1000 m. s.n.m., debajo lo hace el coihue (*Nothofagus dombeyi*). Más hacia el este, sobre las laderas bajas orientadas hacia el lago Nahuel Huapi y en las "pampas" son frecuentes los bosques de ciprés (*Austrocedrus chilensis*) que caracterizan el ecotono bosque-estepa. Se encuentran acompañados por matorrales con ñire (*Nothofagus antarctica*). En la meseta patagónica dominan los coirones (*Stipa speciosa*).

Recibido: 20 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 27 de Agosto de 1999

Universidad Nacional del Comahue, Bariloche

FIGURA 1: MAPA DE VEGETACIÓN DEL EJIDO DE LA CIUDAD DE S. C. DE BARILOCHE

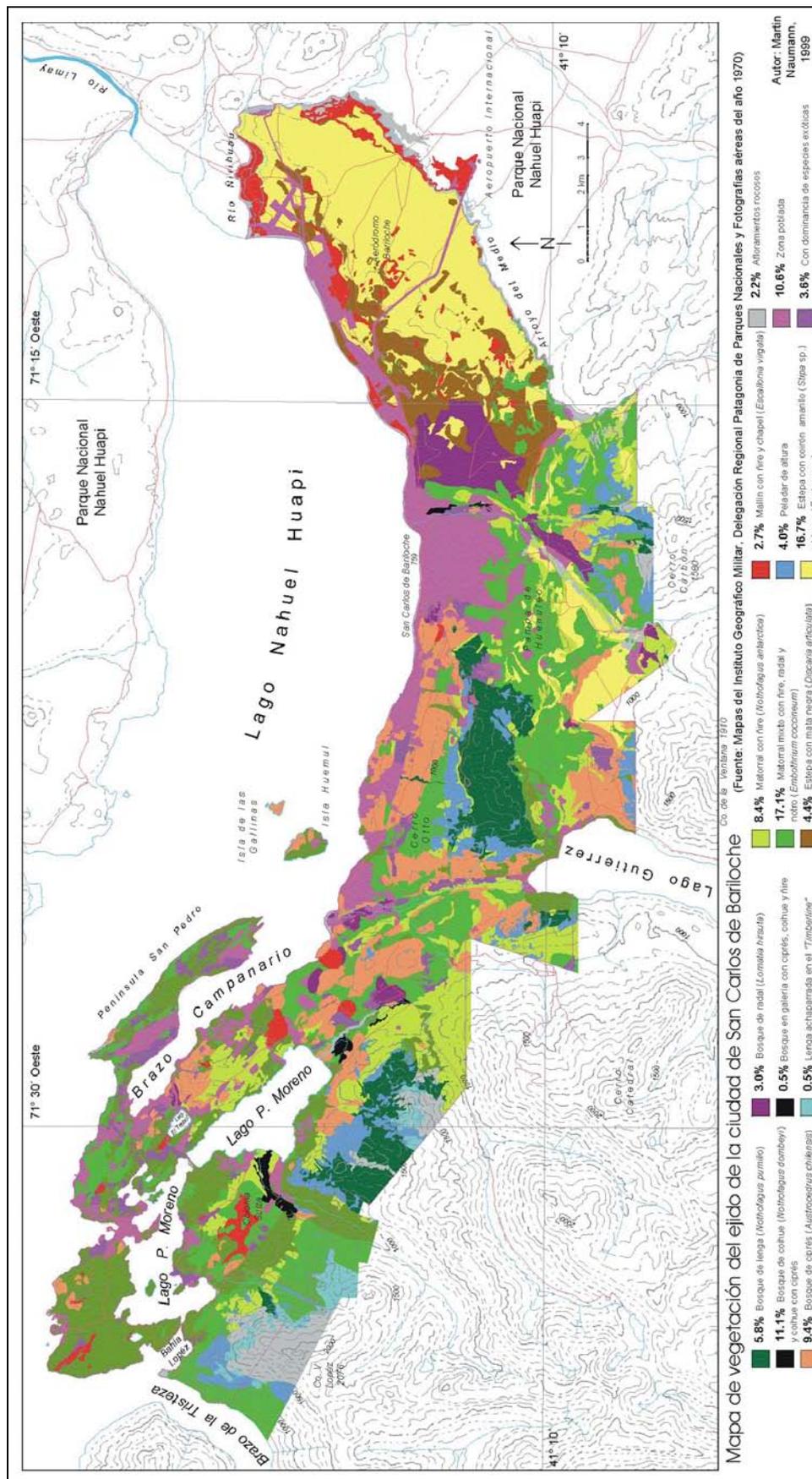
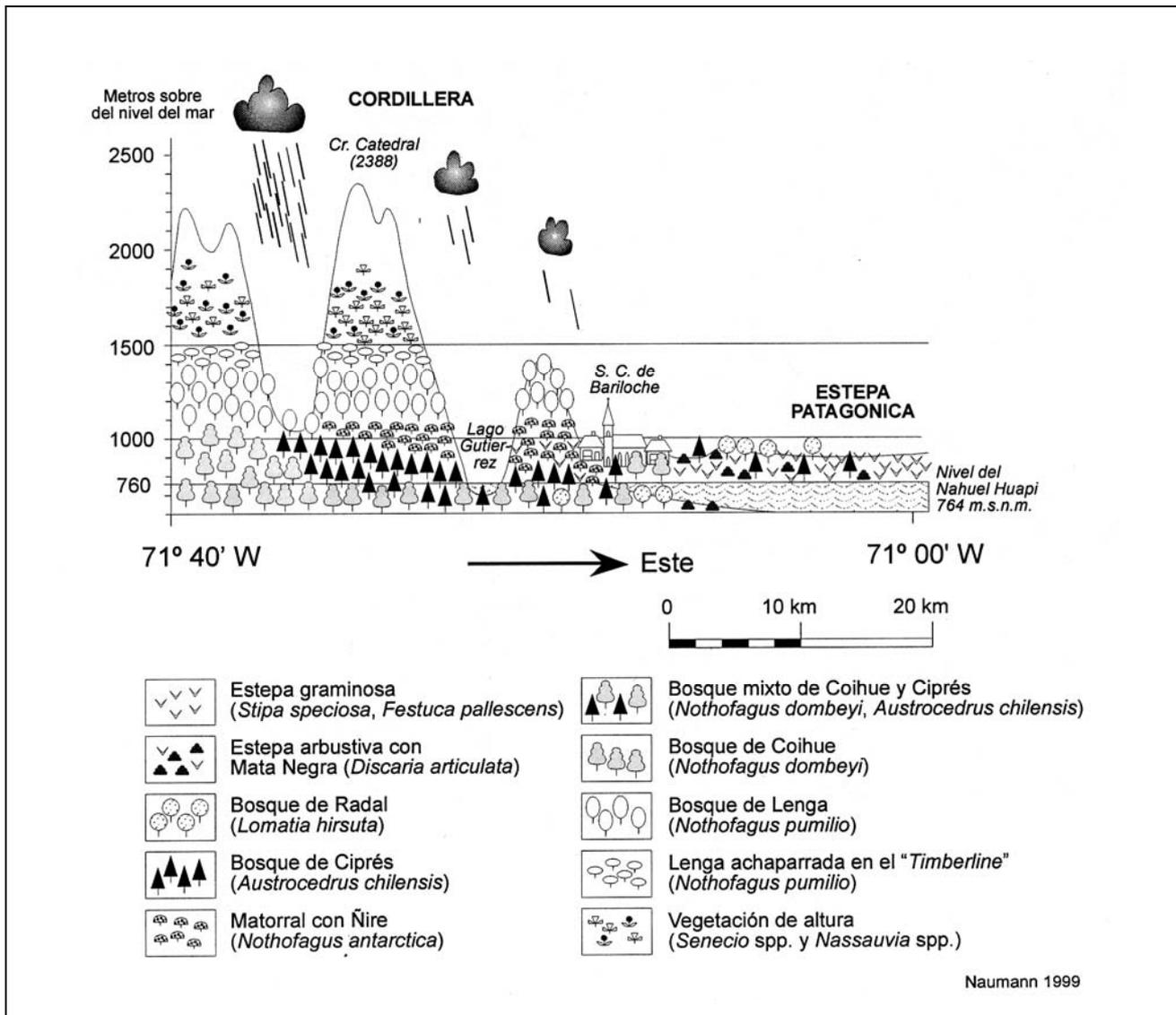


FIGURA 2: ESQUEMA DE LOS PISOS ALTITUDINALES DE LA VEGETACIÓN EN LAS INMEDIACIONES DE SAN CARLOS DE BARILOCHE A 41° 10' LATITUD SUR



4. DISCUSIÓN

El complejo mosaico de vegetación del ejido de Bariloche se debe a los siguientes factores ambientales y antrópicos:

- Un pronunciado gradiente de precipitación es el responsable más importante de la transición de la vegetación de oeste a este, desde los bosques andinos a la estepa patagónica. En el cerro Catedral caen alrededor de 1500 mm anuales, mientras que en el aeródromo de Bariloche son unos 800 mm.
- Las laderas precordilleranas orientadas hacia el norte presentan grandes diferencias de exposición, especialmente al viento y a la incidencia solar, en comparación con las de exposición sur. Así sobre la

ladera norte del cerro Otto orientada hacia el lago Nahuel Huapi son frecuentes cipresales, mientras que sobre la ladera sur orientada hacia la pampa de Huenuleo son más comunes los lengales.

- A la intervención antrópica se deben los límites cortantes de la vegetación en alambrados, forestaciones, etc.

A continuación se analizarán los incendios como modeladores de la vegetación. Si bien la vegetación natural ya fue modificada por los nativos durante la época precolombina, especialmente por incendios de caza del guanaco (*Lama guanicoe*), ñandu (*Pterocnemia pennata*) y puma (*Felis concolor*) (Musters 1873, Menéndez 1900, Vignati 1939), la incidencia más importante ocurrió a principios del siglo cuando llegan los primeros colonizadores

Europeos. Cerca de un 50% de los bosques norpatagónicos son quemados y talados para ganar tierras de cultivo y pastoreo (Rothkugel 1916, Bailey Willis 1914). Así se quemaron y talaron en el ejido los bosques hasta la península San Pedro (Ljungner 1959) y más hacia el oeste también en Colonia Suiza.

La figura 3 muestra el mapa de incendios del ejido. Se dibujaron las grandes superficies quemadas a principios del siglo y algunos de los numerosos focos más pequeños que se registraron después (Registro de la Delegación Regional Patagonia de Parques Nacionales). Se observa que allí donde se produjeron los grandes incendios a principios del siglo hoy crecen cipresales y hay muchas superficies dominadas por neófitas. Las especies exóticas avanzan continuamente (Rapoport 1990). Una comunicación personal de Alejandro Dezotti (1999, Universidad Nacional del Comahue) confirma que la mayoría de los cipreses que hoy se encuentran en el ejido son de origen postfuego y tienen una edad de alrededor de 100 años. Sin embargo existen también "abuelos" de edad mayor que han sobrevivido a las llamas.

Los bosques menos afectados por el fuego son los de lenga (*Nothofagus pumilio*) sobre las montañas y los de coihue (*Nothofagus dombeyi*) en Llao Llao. En las inmediaciones de la ciudad de S. C. de Bariloche los lengales afectados por incendios regeneran con dificultad. Así los que se han quemado a principios del siglo en el cerro Carbón, después de ser talados y expuestos a la ganadería, han dado lugar a matorrales esteparios.

A la par de la modificación de la vegetación natural, la ciudad de Bariloche crece en forma exponencial. La superficie poblada del ejido de la ciudad de San Carlos de Bariloche en el año 1970 fue aproximadamente de un 10%,

vale decir 22 km² (figura 1). Según Grigera et al. (1987: 22) la superficie construida (hábitat continuo y discontinuo) en el mismo año fue de un 3% (7 km²) y más tarde en el año 1986 de un 14% (31 km²). En un trabajo más reciente Grigera et al. (1990) la estiman en un 10% (21 km²). Como la población de Bariloche se duplica aproximadamente cada 12 años, podemos estimar que hoy la superficie poblada debe abarcar cerca de un 25% del ejido. Para confirmar este dato hace falta un nuevo relevamiento cartográfico del ejido con fotografías aéreas actualizadas.

¿Cuáles fueron las comunidades vegetales más afectadas por el crecimiento de la ciudad? Grigera et al. (1987) mencionan que la población de menores ingresos busca tierras más hacia el sur (se refieren especialmente a la pampa de Huenuleo), mientras que hacia occidente se conserva más residencial y turístico. Pópulo (1996) confirma que en la década del 80 el casco urbano de la ciudad de San Carlos de Bariloche creció intensamente hacia el sur. Allí en la Pampa de Huenuleo la vegetación más afectada son ingresiones esteparias y los matorrales mixtos con ñire. Algunos bosques de radial (*Lomatia hirsuta*) que allí crecían, han sido talados totalmente. A diferencia de los barrios carenciados, las zonas residenciales se ubican con frecuencia en cipresales. Es importante aclarar que los cipresales, tan comunes en el ejido, en el Parque Nacional circundante son mucho más raros que el bosque de coihue y lenga (Mermoz & Martín 1987).

5. AGRADECIMIENTOS

Al CONICET por otorgamiento de una beca postdoctoral y a la Delegación Regional Patagonia de Parques Nacionales por facilitar cartografía digital del Parque Nacional Nahuel Huapi.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BAILEY WILLIS, B. 1914.

El Norte de la Patagonia.

Ministerio de Obras Públicas. Reedición 1988 de la Editorial Universitaria de Buenos Aires, 500 pp. Buenos Aires.

ELLENBERG H. 1956.

Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde.

En: Walter H.: *Einführung in die Phytologie*. Eugen Ulmer, Tomo 4, 136 pp. Stuttgart.

GRIGERA D., BIANCHI E., BRION C., PUNTIERI J., RODRIGUEZ J. 1987.

Carta ambiental del medio ambiente y su dinámica de San Carlos de Bariloche.

Universidad Nacional del Comahue, Subsecretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Río Negro, 42 pp. San Carlos de Bariloche.

GRIGERA D., BRION C., ROST N. 1990.

Las áreas verdes urbanas: el caso de la ciudad de San Carlos de Bariloche (Argentina).

Medio Ambiente 11(1): 3-8, Valdivia.

- LJUNGNER E. 1959.
Nahuel Huapi: Ein geographischer Querschnitt durch die Anden in Patagonien.
Universitets Arsskrift, Schwedische wissenschaftliche Expedition nach Patagonien, Informe Nr. 6, 360 pp. Uppsala.
- MENÉNDEZ F. 1900.
Diarios de viajes.
En: Fonck F. Viajes del Fray Francisco Menéndez a Nahuelhuapi. Carlos F. Niemeyer, 528 pp. Valparaíso.
- MERMOZ M., MARTIN C. 1987.
Mapa de vegetación del Parque y la Reserva Nacional Nahuel Huapi.
Administración de Parques Nacionales, 22 pp. San Carlos de Bariloche.
- MUSTERS, G. CH. 1873,
2. ed. At home with the Patagonians, A Years wanderings over untrodden Ground from the Straits of Magellan to the Río Negro.
John Murray, 340 pp. London.
- NAUMANN C. M. 1996.
Das nordpatagonische Seengebiet Nahuel-Huapi (Argentinien).
Marburger Geographische Schriften 131, 285 pp. Marburg.
- PÓPOLO DEL F. 1996.
La población a comienzos del año 2000.
Diario Río Negro, Viernes 6 de mayo de 1996. General Roca.
- RAPOPORT E. 1990.
Contaminación por especies.
En: Latinoamérica, Medio Ambiente y Desarrollo. Fundación Jorge Esteban Roulet, 67-70. Buenos Aires.
- ROTHKUGEL M. 1916.
Los bosques patagónicos.
Ministerio de Agricultura, Oficina de Bosques y Yerbales, 202 pp. Buenos Aires.
- VIGNATI M. A. 1939.
Los indios poyas.
Notas del Museo de La Plata. Antropología, 12(4): 211-214. La Plata.



Base cartográfica para el partido de Escobar

Provincia de Buenos Aires, Argentina

Una aplicación de la Geoinformática

Olivares, Oscar R.

Resumen

La problemática ambiental del Gran Buenos Aires se muestra tan compleja debido, principalmente, a la diversidad de usos del suelo y el agua que pueden observarse en el área. Ello hace necesario el empleo de herramientas complejas para el abordaje de dicha problemática.

Una de ellas es la cartografía temática, otra, menos difundida, es la multitemática, de la cual un ejemplo es la cartografía ambiental.

Teniendo en cuenta dicha situación, este trabajo presenta los mapas-base (mapas temáticos) utilizables en la elaboración de una cartografía ambiental para el partido de Escobar, ubicado en la Zona Norte del Gran Buenos Aires, Argentina. Este tipo de áreas, con características diversas y cambiantes, hacen necesaria la aplicación de la cartografía ambiental como un sistema de documentos interrelacionados e interactivos, que constituyen el fundamento para la evaluación de riesgos ambientales relacionados con los usos del suelo y el agua subterránea.

Los mapas temáticos que se presentan están destinados a estudios ambientales en acuíferos del Gran Buenos Aires, siendo parte de un proyecto desarrollado con el apoyo de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC) y el Instituto Nacional del Agua y del Ambiente (INA).

Para tal fin, se utilizó cartografía de base, software de soporte gráfico, sistemas CAD, bibliografía especializada, interpretación de fotos aéreas y trabajo de campo.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales del Gran Buenos Aires es la diversidad de usos del suelo y el agua que pueden observarse en el área y la afectación sobre la misma; cada uso del suelo genera un impacto o un proceso degradante

particular, que afectan, entre otras cosas, a la calidad de los suelos y las aguas superficiales. Sin embargo los procesos degradantes no se limitan solo a lo que se puede ver en un relevamiento de campo; diversos fenómenos como la infiltración, el escurrimiento subsuperficial y subterráneo llevan estos problemas más allá de lo visible, afectando sustancialmente a los acuíferos.

Se plantean entonces, una serie de interrogantes referidos a las posibles relaciones entre los usos del suelo y el agua y el efecto de los mismos en lo que se conoce como zona no saturada, la cual recibe el primer impacto de

Entregado: 29 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 19 de Agosto de 1999

Comisión de Investigaciones Científica de la Provincia de Buenos Aires
Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Programa Nacional de Tecnologías Sustentables en Aguas Subterráneas.

Población total al 30 de Junio de:					
División	1996	1997	1998	1999	2000
Total Pcia. Bs.As.	13.522.447	13.713.753	13.907.766	14.104.526	14.304.079
Pdo. de Escobar	153.086	158.219	163.420	168.690	174.031

Población según condición urbano-rural, porcentaje de urbanización, relación urbano rural. 1991				
División	Población Urbana Período 1991	Población Rural Período 1991	Urbanización % Período 1991	Relación Urbano-Rural Período 1991
Total Pcia. Bs.As.	11.966.709	608.265	95,2	19,7
Pdo. de Escobar	121.833	6.588	94,9	18,5

(1) Fuente: *Estadística Bonaerense. Dirección Provincial de Estadísticas. 1996*

Desde el punto de vista geográfico el Partido presenta un paisaje llano en las divisorias de aguas, ondulado en el sector medio-superior y llano y bajo en el sector inferior, cercano al río Luján y el Paraná de las Palmas. Un 50%, aproximadamente, de la superficie del Partido corresponde al Delta del Paraná.

1.2. Materiales

- *Cartografía:* Mapa de la Provincia de Buenos Aires escala 1:500:000 de la Dirección de Geodesia, Ministerio de Obras Públicas de la Prov. de Buenos Aires (trabajo a nivel regional, ubicación de partidos, límites, vías de comunicación); Mapa de límites de partidos actualizados, año 1995 de la Dirección de Geodesia, Ministerio de Obras Públicas de la Prov. de Buenos Aires, Hoja N°11 del Mapa de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina, escala 1:1.000.000 INCYTH (1995) (divisorias de aguas a nivel regional, límites de cuencas); Cartas topográficas del I.G.M. 1:500.000: hojas Gral. San Martín y Buenos Aires (trabajo a nivel regional, ubicación de cuencas, partidos, división política, etc.), 1:250.000: hojas Gral. San Martín y Buenos Aires (vías de comunicación, actualización de la información, drenaje), 1:100.000: hojas Campana, Campo de Mayo y a escala 1:50.000 las hojas San Fernando, Campana Sur, Canal Gdor. Arias, Pilar. También se utilizó el Mapa del Area Metropolitana de la Dirección de Geodesia, Ministerio de Obras Públicas de la Prov. de Buenos Aires, escala 1:100:000 (actualización de aspectos planimétricos, usos del suelo, vías de comunicación); planos de la Dirección de Geodesia, Ministerio de Obras Públicas de la Prov. de Buenos Aires, escala 1:20.000 las hojas: 5, 6 y 9; a escala 1:5.000, las hojas Garín, Matheu, Ing. Maschwitz,

Parque Rivadavia y Belén de Escobar Este, (parcelamiento, usos del suelo, canales y acequias, control de campo y georreferenciamiento de las fotos aéreas).

- *Fotos aéreas:* Se han utilizado fotos correspondientes al partido de Escobar, vuelos del año 1992, 1995 y 1997, del Ministerio de Obras Públicas de la Prov. de Buenos Aires (identificación de usos del suelo, análisis diacrónico de la variación de usos del suelo, límites de cuencas y de unidades geomorfológicas).
- *Imágenes satelitales:* Imágenes del área de estudio a escala 1:50:000 del I.G.M. Campana Sur, Canal Gobernador Arias, San Fernando, Pilar, (identificación de usos del suelo, cuerpos de agua, cuencas, regiones hídricas superficiales y unidades hidrogeomorfológicas).
- *Hardware y software:* computadora personal y tableta digitalizadora. El software utilizado es de tipo CAD. También se utilizó el equipo de digitalización para grandes mapas del Instituto Nacional del Agua y el Ambiente (INA), Programa Nacional de Tecnología Sustentable en Aguas Subterráneas.

Otros materiales: Para el relevamiento de campo, se utilizó un transporte provisto por el proyecto SANESCO para el reconocimiento del sector mapeado del partido de Escobar. Se usó un GPS ó geoposicionador satelital que permitió establecer coordenadas en el campo a un punto determinado con un error de 30m.

1.3. Metodología

En este procedimiento se ha tenido en cuenta la siguiente cita del proyecto presentado inicialmente: "Según Mattig (1990, citado por Cendrero, 1991), durante el proceso de producción cartográfica deben hacerse las siguientes cuestiones: ¿Para qué? ¿Para quién? ¿Qué debe

contener? y ¿Cómo elaborarlo?”. De acuerdo con estas cuestiones se comentará brevemente como se realizaron los cinco mapas presentados en este trabajo, ya que las metodologías pueden diferir en cada caso se hará el comentario de cada uno:

- *Mapa de usos del suelo del partido de Escobar*: Este fue uno de los primeros objetivos que se propuso desde un principio en el proyecto. Para realizarlo se sintetizaron datos de las fotos aéreas escala 1:20.000, cartografía del área ya mencionada, listados de actividades y trabajo de campo. El mapa que se presenta será mejorado con el ajuste por manzanas utilizando un plano parcelario digitalizado.
- *Mapa Fisiográfico del partido de Escobar*: Este es uno de los mapas más complejos, la metodología es de tipo sintético (Díaz de Terán, 1989). Se reconoce un antecedente correspondiente a un seminario de Geomorfología de Llanuras dictado en 1994 por el Dr. Vicente J. Ferreiro (†) quien dejó al autor de este informe los lineamientos para la realización de un mapa geomorfológico para la Zona Sur del Gran Buenos Aires. Sin embargo, poco es lo que se pudo extrapolar, debido a que las características del Partido son más complejas dados los eventos geológico-geomorfológicos ocurridos durante el Pleistoceno y el Holoceno. Los nombres de las unidades fueron definidos en función de un análisis geomorfológico basado en *Tricart* (1969, 1973), *Tricart y Killian* (1982) y *Ferreiro* (1989) y los lineamientos ya mencionados. Los datos utilizados hasta el momento no son suficientes como para hablar de unidades geomorfológicas, los mismos provienen de cartas topográficas a escala 1:50.000, hojas Escobar, Campana Sur, Canal Gdor. Arias, Pilar. Se usaron las imágenes satelitales a escala 1:50.000 correspondientes a las cartas mencionadas y fotos aéreas a escala 1:20.000. También se realizó un trabajo de campo consistente en el reconocimiento de las unidades identificadas. Se han ploteado a escala 1:50.000 en hojas transparentes, las curvas con equidistancia 2.50 mts. de las cartas a escala 1:100.000. En algunos casos se necesitó más información, por lo tanto se interpoló a fin de completar la información necesaria. Esta metodología fue probada con éxito para realizar una parte del mapa geomorfológico de la cuenca del A°. Conchitas, presentado en un informe anterior. Próximamente se tendrá acceso a datos de muestreos que permitirán ajustar esta cartografía, corroborando o corrigiendo los límites de las unidades y sus características principales.
- *Mapa de pendientes*: Se trata de un mapa básico, te-

mático y monovariable. Para su realización se empleó una metodología analítica simple (Díaz de Terán, 1989). La misma consistió en medir la pendiente en las cartas topográficas, utilizando las curvas de nivel. Se tomaron segmentos de 1cm. de longitud, al azar, para realizar las mediciones, varias de ellas en toda el área permiten tipificar 5 categorías. Las mismas corresponden a cinco intervalos de porcentajes correspondientes a la pendiente porcentual, una vez caracterizados se procedió a delimitar áreas que presentasen el mismo valor de pendiente porcentual (áreas homogéneas). Para trabajar visualmente se transforma el valor porcentual en cantidad de curvas por milímetro o por centímetro, lo cual está relacionado con la densidad de curvas de nivel y a su vez con el gradiente de pendiente, así a cada intervalo se le asigna una categoría cualitativa (alta, media, baja) y un color, se pintan las áreas con el color correspondiente y se tiene un mapa de pendientes. De acuerdo a las cuestiones comentadas más arriba el mapa sirve para determinar áreas de mayor o menor peligro de erosión, por ejemplo; será utilizado por técnicos, pero nada impide que alguien que desee planificar una actividad agrícola en una zona de lomadas, consulte este mapa, por lo tanto era necesario sintetizar y simplificar la información de modo tal que resultase más clara a la vista, ya que la heterogeneidad era muy alta y el análisis se hacía más difícil. Para lograrlo se trabajó con tres categorías pero con algunos cambios metodológicos se pueden manejar hasta 5 categorías, agregando “muy baja” y “muy alta”, pero su lectura resulta complicada.

- *Mapa de peligro potencial de erosión hídrica y anegamiento*: Al analizar el mapa de pendientes de tres categorías junto con las imágenes satelitales, se observa que la categoría “baja” involucra geoformas totalmente distintas: llanos aluviales y bañados costeros y por otro lado superficies planas altas que en muchos casos son divisorias de aguas. Al mismo tiempo una variedad de datos como los usos del suelo, los datos de *González* (1973), observaciones propias y comunicación verbal del Lic. Adrián Silva (INA), tratándose en los dos últimos casos de datos de campo y análisis de suelos, hicieron pensar en la importancia de presentar un mapa vinculando la geomorfología y la actividad humana. Con estos datos se establecieron las categorías presentadas en el mapa, el análisis será presentado en el párrafo de “Resultados”. Se aclara que del mapa de pendientes se obtienen tres categorías, el peligro presenta dos posibilidades “anega-

PELIGRO POTENCIAL	ANEGAMIENTO	INUNDACION	EROSIÓN LEVE	EROSIÓN VERTICAL	EROSIÓN AREAL
PENDIENTES					
ALTA				X	
MEDIA	X		X		
BAJA	X	X			X

Según esta tabla la categoría media presenta condiciones intermedias que no implican un grado de peligrosidad importante. Puede ocurrir erosión leve o anegamiento en función del tipo de suelo y la cobertura vegetal, ambas variables en estos lugares son muy diversas.

El peligro potencial es una situación posible en función de varios factores (pendiente, cobertura vegetal, suelos, etc.) que se conjugan en determinado momento produciendo una situación de peligro (Olivares, 1999). Cendrero Uceda (1997) hace unas diferencias entre peligrosidad, riesgo y vulnerabilidad, no obstante no se ha utilizado el término riesgo en la cartografía ya que no son mapas de riesgo los que se presentan. En todo caso son mapas previos, precisamente de peligrosidad, que puede dar lugar al riesgo según las actividades humanas realizadas en determinados lugares (Cendrero Uceda, 1997). Se aclara que la evaluación de la peligrosidad se realizó siguiendo al citado autor mediante métodos de encuestas entre técnicos e investigadores relacionados con la temática y el área de estudio, excede a este trabajo la descripción de dicha metodología.

2. RESULTADOS

Se comentarán los mapas obtenidos realizando una breve consideración, pero cabe señalar que a partir de algunos es posible realizar estadísticas y otros análisis que conducen a la elaboración de mapas, tablas y gráficos que no se presentarán en este artículo.

- *Mapa de usos del suelo del partido de Escobar:* En el mapa de la figura 2 puede observarse la distribución de los principales usos del suelo. Claramente las industrias, los countries y los barrios cerrados son los usos que presentan un primer problema de

incompatibilidad. La agricultura intensiva (viveros) y la ganadería intensiva (criaderos) son usos que merecen un seguimiento de sus contaminantes (en principio excretas de animales).

El estudio del impacto ambiental de los usos del suelo teniendo como marco un partido u otra división política pone el acento en la gestión territorial y ambiental, como así también en el sistema social más que en el natural.

- *Mapa fisiográfico del partido de Escobar:* En la figura 3 se observa el mapa de las unidades fisiográficas delimitadas según la metodología descripta. En principio se habla de fisiografía ya que el criterio para definir las unidades se basa en el reconocimiento de campo, en fotos aéreas e imágenes satelitales. El uso de otros datos como análisis de suelos en un futuro permitirá mejorar este mapa y hablar de geomorfología.

Las unidades reconocidas en el partido de Escobar son las siguientes:

Llanura ondulada:
Valles aluviales:
Llanura palustre:
Albardón del Río Luján:
Delta:

La descripción de las unidades excede el espacio disponible, puede ampliarse esta información en Olivares (1999).

- *Mapa de pendientes del partido de Escobar:* En la figura 4 puede verse el mapa que muestra la distribución de pendientes porcentuales. En la siguiente tabla se presenta una síntesis de los datos referidos a ese mapa.

CATEGORÍA	NOMBRE	CANTIDAD DE AREAS	SUPERFICIE TOTAL (KM ²)	PORCENTAJE RESPECTO DEL TOTAL DE AREAS 179=100%	PORCENTAJE RESPECTO DE LA SUP. DEL PARTIDO 316=100%
1	BAJA	45	198.7496	25.14	62.9
2	MEDIA	60	37.3326	33.52	11.8
3	ALTA	74	83.2564	41.33	26.3
TOTALES		179	319.3386	99.99	101

FIGURA 2: MAPA DE USOS DEL SUELO. PARTIDO DE ESCOBAR

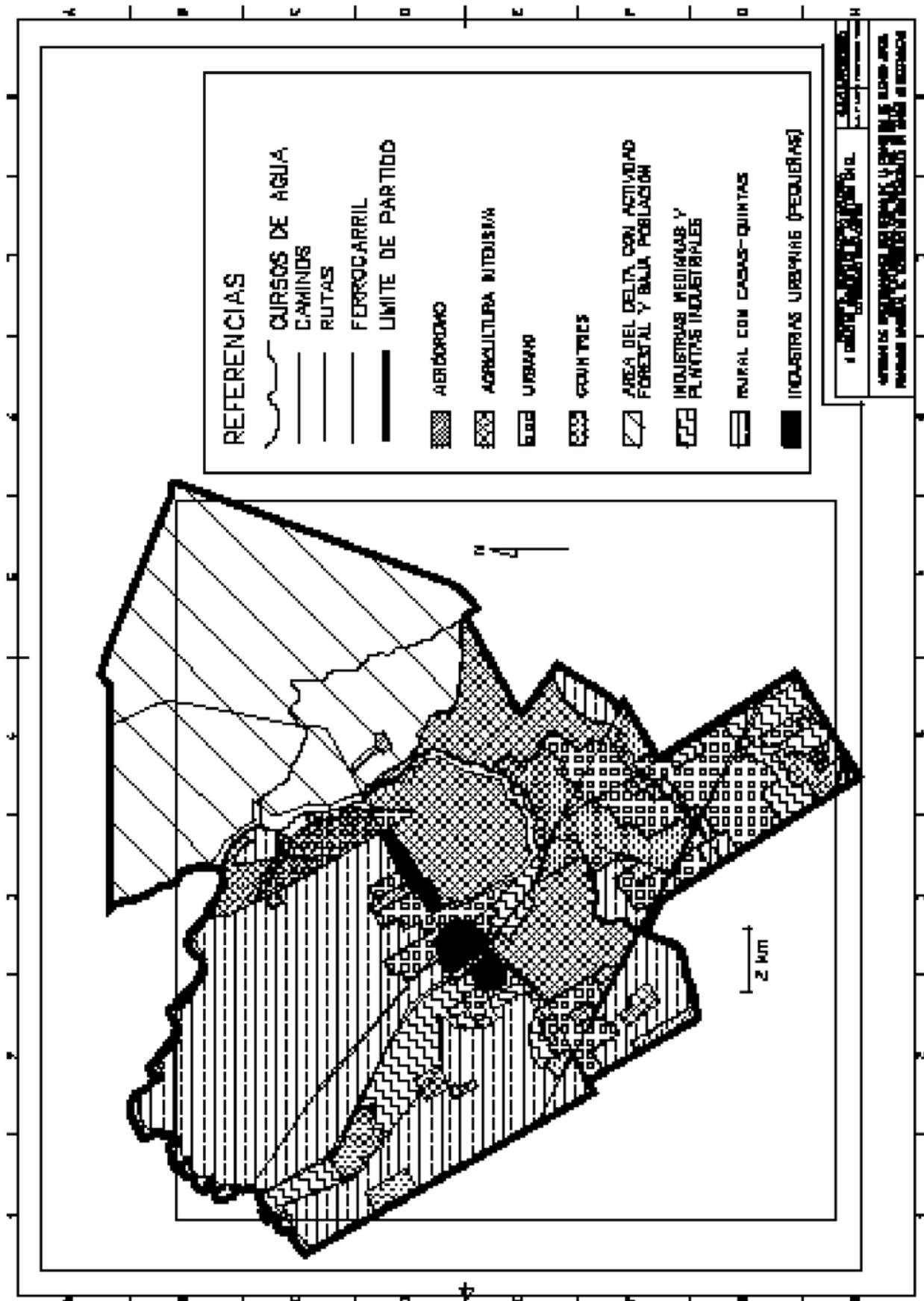


FIGURA 3: MAPA FISIOGRAFICO DEL PARTIDO DE ESCOBAR

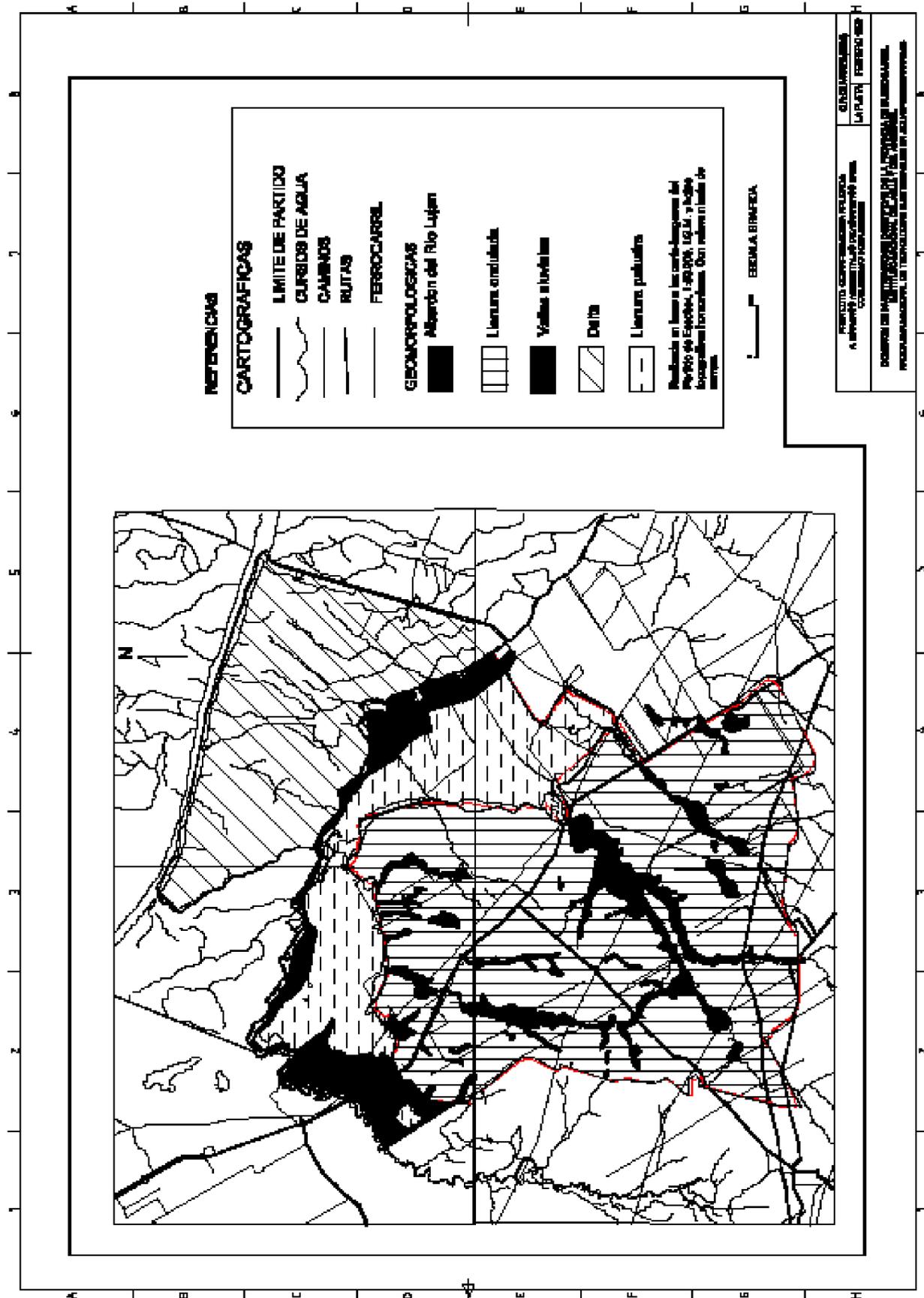
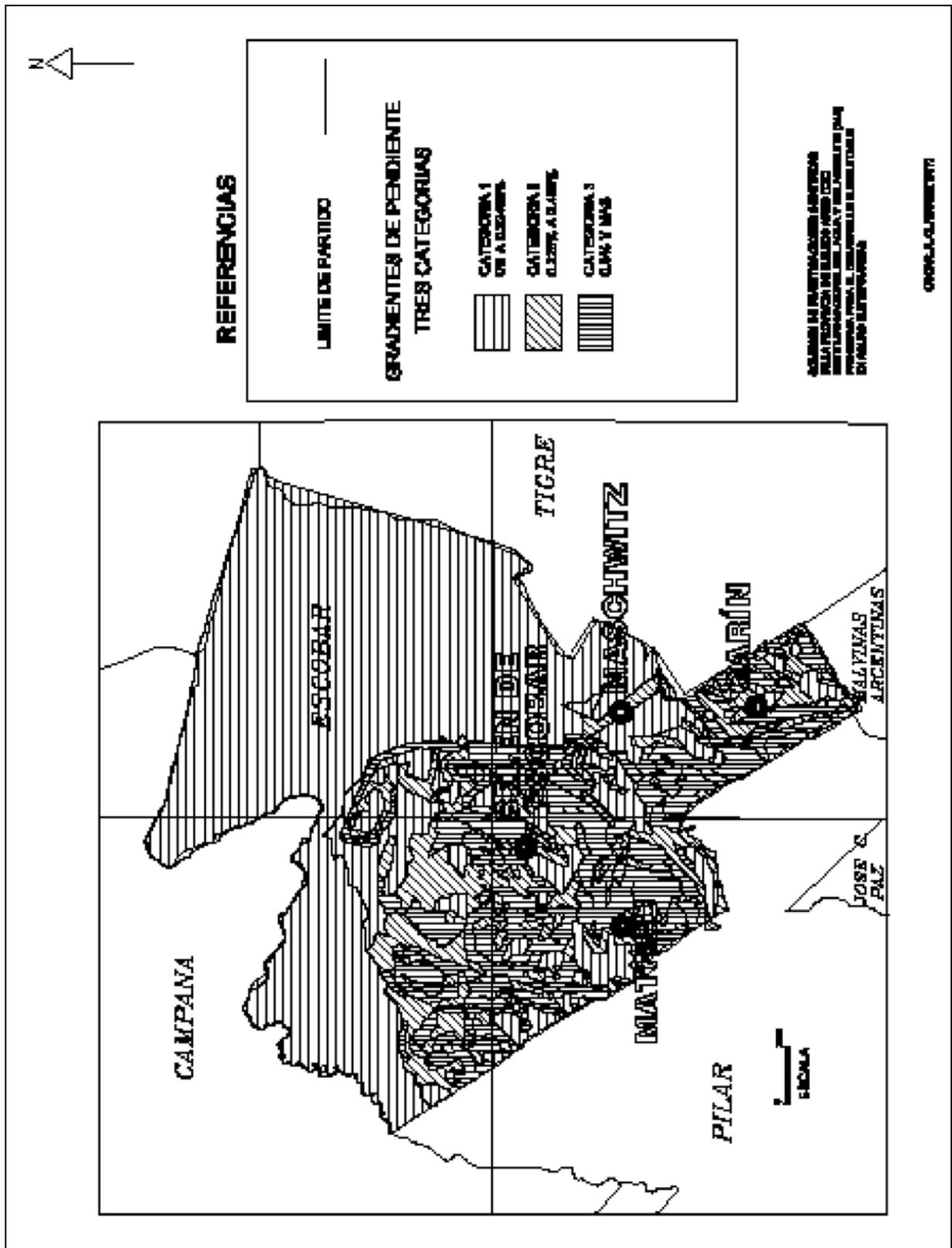


FIGURA 4: MAPA DE PENDIENTES. PARTIDO DE ESCOBAR



- *Mapa de peligro potencial de erosión hídrica y anegamiento:* La figura 5 muestra este mapa que presenta tres categorías de peligro potencial (basadas en las tres categorías de pendientes de la figura 4):

1) Pendiente baja:

Corresponde a terrenos con escasa pendiente, ya sea en planicies aluviales o superficies altas y planas como las

divisorias de aguas. La erosión vertical es mínima o nula, es factible el desgaste lateral y el anegamiento, sobre todo este último debido no solo a la escasa pendiente sino a la presencia de arcilla en el suelo. Las inundaciones, encharcamientos y salinización son los procesos a tener en cuenta en la realización de mapas ambientales. En la siguiente tabla se resumen algunos datos cuantitativos de interés.

CATEGORÍA	NOMBRE SEGÚN LA PENDIENTE	RASGOS IMPORTANTES	SUPERFICIE (KM ²)	PORCENTAJE RESPECTO DE LA SUP. DEL PARTIDO 316= 100%	USOS DEL SUELO CON MAYOR RIESGO
1	Pendiente baja.	Peligro de inundación y anegamiento. Peligro bajo o nulo de erosión vertical.	198.7496	62.9	Agrícola, ganadero, urbano
2	Pendiente media.	Predomina el peligro de erosión leve.	37.3326	11.8	Agrícola, explotación minera,
3	Pendiente alta.	Peligro alto de erosión vertical	83.2564	26.3	Agrícola, explotación minera, urbano.

2) Pendiente media:

Sería la categoría con menos peligro ya que no predominan ninguno de los dos peligros, ya sea erosión o anegamiento.

3) Pendiente alta:

El peligro de erosión debe ser tenido en cuenta ya que en ciertas condiciones la lluvia o una crecida pueden lavar los suelos y empobrecerlos. En los sectores en donde se presentan estas condiciones el material es friable.

3. CONCLUSIONES

Los mapas base obtenidos tienen una función limitada, para avanzar es necesario recurrir al sistema de consultas y al álgebra de mapas, ello se puede lograr profundizando el trabajo en SIG, una posibilidad interesante para desarrollar es una base de datos cartografía para una cuenca hídrica superficial. Sin embargo existen algunas dificultades a superar: falta de datos actualizados y de software (ILWIS, ARC/INFO). La propuesta para una posible continuación de este trabajo es organizar los mapas con el fin de cruzarlos y obtener documentos cartográficos a partir del álgebra de mapas y definir un procedimiento aplicable a otras áreas de estudio.

En cuanto a los usos debe tenerse en cuenta de que modo se realizan las actividades humanas, que según qué tipo de agricultura y la forma de realizar la siembra, puede ser mayor o menor el impacto y en consecuencia el riesgo.

Algunos mapas permiten ver relaciones que antes eran menos evidentes, esto facilita la orientación de futuros estudios y marcos legales para la realización de estudios y evaluaciones de impacto ambiental de obras. En este sentido también es importante el uso de mapas ambientales para la gestión de los recursos y la elección de problemáticas a enfrentar, en función de una priorización que tenga en cuenta los posibles riesgos para la población y la sustentabilidad de las actividades económicas.

La contaminación de las fuentes de agua dulce encarece la obtención de agua potable, pero además pone en riesgo la salud de la población y principalmente de aquellos sectores desfavorecidos socioeconómicamente. El acceso al agua potable está condicionado por todos estos factores y las decisiones que se deben tomar respecto de la gestión ambiental y territorial deben basarse en estudios que impliquen relevamientos de campo, cartografía y diagnósticos que guíen a los decisores y al sector privado.

4. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CENDRERO UCEDA, A., 1991
La cartografía geoambiental.
DCITTYM, División de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Cantabria.
- CENDRERO UCEDA, A., 1997
Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones.
Naturzale, 12: 5-25. Cantabria.
- DÍAZ DE TERAN, J.R., 1989
"Tipos y metodologías geoambientales o geocientíficas".
En: F. Ayala y J. Jordá, eds. Geología Ambiental. ITGE, Madrid: 239-257.
- FERREIRO, VICENTE, 1989
"Cartografía temática con base geomorfológica. Mapa de riesgo hídrico."
En: V Curso Internacional de Hidrología General con énfasis en Hidrología Subterránea-Con aspectos ambientales -. Buenos Aires.
- GONZALEZ, N., 1973
Evaluación preliminar de los recursos de agua subterránea de las cuencas de arroyos del NE. de la provincia de Buenos Aires.
Cátedra de Hidrogeología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata
- GUERRIERI J. J. ET AL 1995
"El conocimiento de la Geografía Médica y los mapas de riesgo sanitario en la educación para la salud."
En: Contribuciones Científicas. Centro Argentino de Cartografía. 1er Congreso Argentino de Geociencias y Geotécnicas 120-127. Buenos Aires.
- OLIVARES, OSCAR R., 1998
"Geoinformática aplicada a estudios ambientales de acuíferos en el Conurbano Bonaerense."
Informe de avance correspondiente a Beca de estudio de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Inédito. La Plata.
- OLIVARES, OSCAR R., 1999
"Geoinformática aplicada a estudios ambientales de acuíferos en el Conurbano Bonaerense."
Informe de avance correspondiente a Beca de Perfeccionamiento de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Inédito. La Plata.
- SILVA, A. Y OLIVARES, O., 1998
"Implicancias ambientales del uso del suelo sobre el acuífero freático de la cuenca del A° Conchitas, Buenos Aires, Argentina.
ASAGAI. "Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, N°12:141-154. Buenos Aires"
- TRICART, JEAN 1969
La epidermis de la Tierra.
Labor. Barcelona.
- TRICART, JEAN 1973
Geomorfología de la Pampa Deprimida.
Colección Científica 12. INTA. Buenos Aires.
- TRICART, J. Y KILIAN, J. 1982
La Eco-Geografía.
Anagrama. Barcelona.



Hidrogeología del área de la laguna “El Hinojo” Venado Tuerto, provincia de Santa Fe

Peisajovich, Mariela Alejandra - Fresina, Mirta E.

Resumen

En el presente trabajo se han estudiado las características hidrodinámicas e hidroquímicas de las aguas de la laguna “EL HI-NOJO”, localidad Venado Tuerto, Pcia. de Santa Fe.

Se hace una descripción general de los aspectos geológicos, climáticos, hidrológicos superficiales y subterráneos.

En general, se tratan de aguas bicarbonatadas sódicas y los resultados de las muestras analizadas (tanto superficiales como subterráneas) indican contenidos de arsénico, flúor, sodio y alcalinidad total, que se encuentran por encima de los límites establecidos por la ley Provincial N° 11.220, al igual que los análisis bacteriológicos que indicaron que las aguas no se presentan aptas para el consumo humano.

1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La laguna “El Hinojo” se encuentra a 8 Km. al Sudeste de la ciudad de Venado Tuerto, departamento de General López, en la región Sur de la provincia de Santa Fe. La zona se halla aproximadamente a los 62° 46' longitud W y 33° 68' latitud S. Cuenta con una población de 59.000 habitantes. El presente trabajo tiene como área objeto de estudio el sector NE de la laguna (Fig. N°1).

2. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo empleada consistió en una interpretación geográfica, morfológica y geológica, según antecedentes disponibles y complementada con tareas de campo. En la elaboración del presente trabajo se diferencian tres etapas: tareas de gabinete previas a la salida de campo; tareas de campo y trabajo de laboratorio (Mapa N°1).

2.1. Tareas de gabinete previas a la salida de campo:

Se recopilaron los antecedentes bibliográficos vinculados al ámbito y tema de estudio y cartografía base. Se eligió la escala para la construcción del mapa base de acuerdo a la extensión del área de estudio y el detalle pretendido.

2.2. Tareas de campo:

En base a los análisis de todos los antecedentes del sector de estudio disponibles, se programaron las tareas de campaña. El trabajo de campo se realizó durante el mes de diciembre de 1997 y consistió en la elaboración de un mapa base del sector NE de la laguna “El Hinojo” por medio de un relevamiento planialtimétrico con Plancheta.

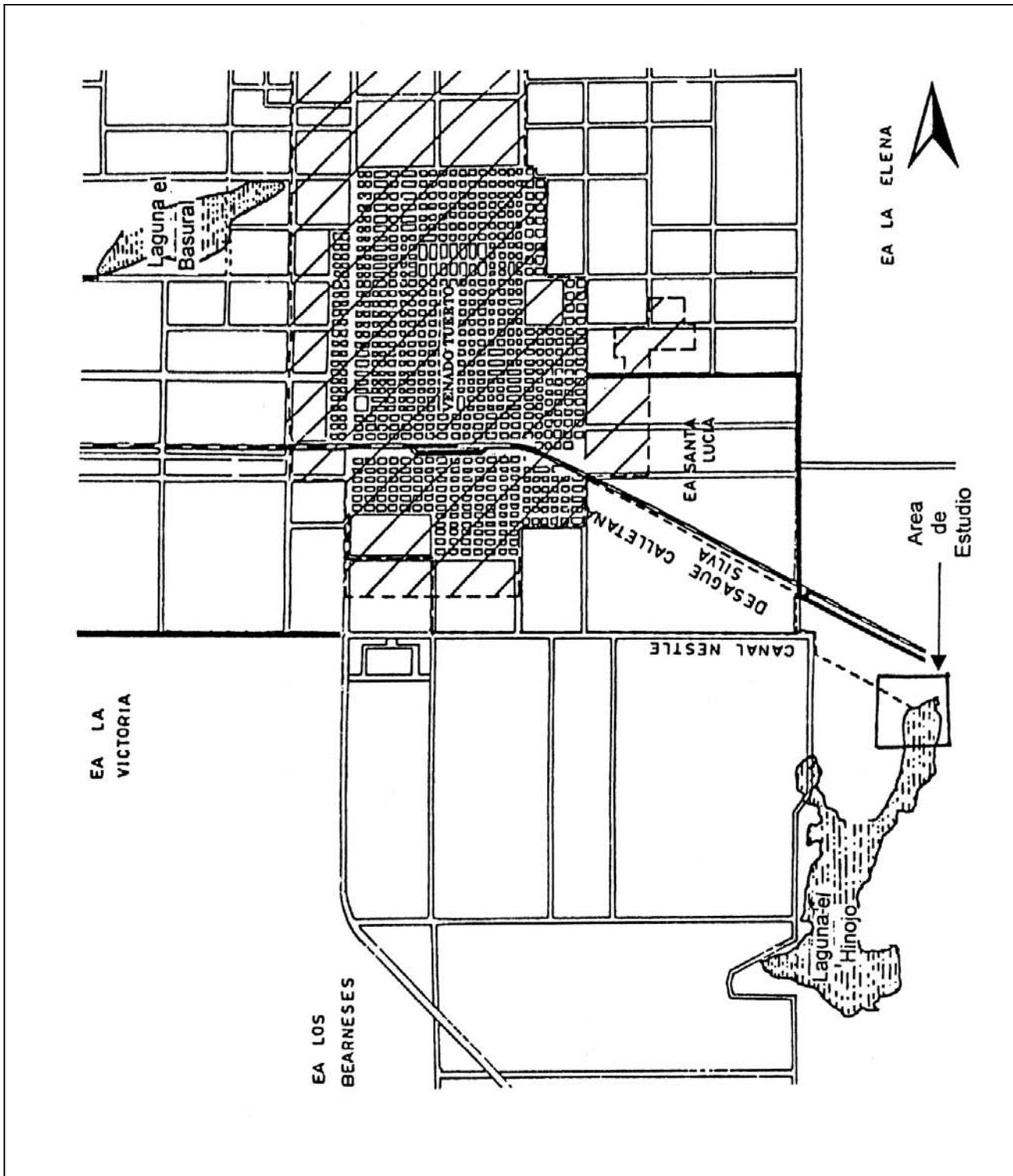
Además, se construyeron 15 freaticómetros para obtener muestras de agua subterránea y se midió la profundidad del nivel de agua. Estos se construyeron a través de técnicas manuales, por medio de una pala y los más alejados de la laguna se construyeron por medio de un barreno helicoidal.

Asimismo se tomaron muestras de aguas tanto

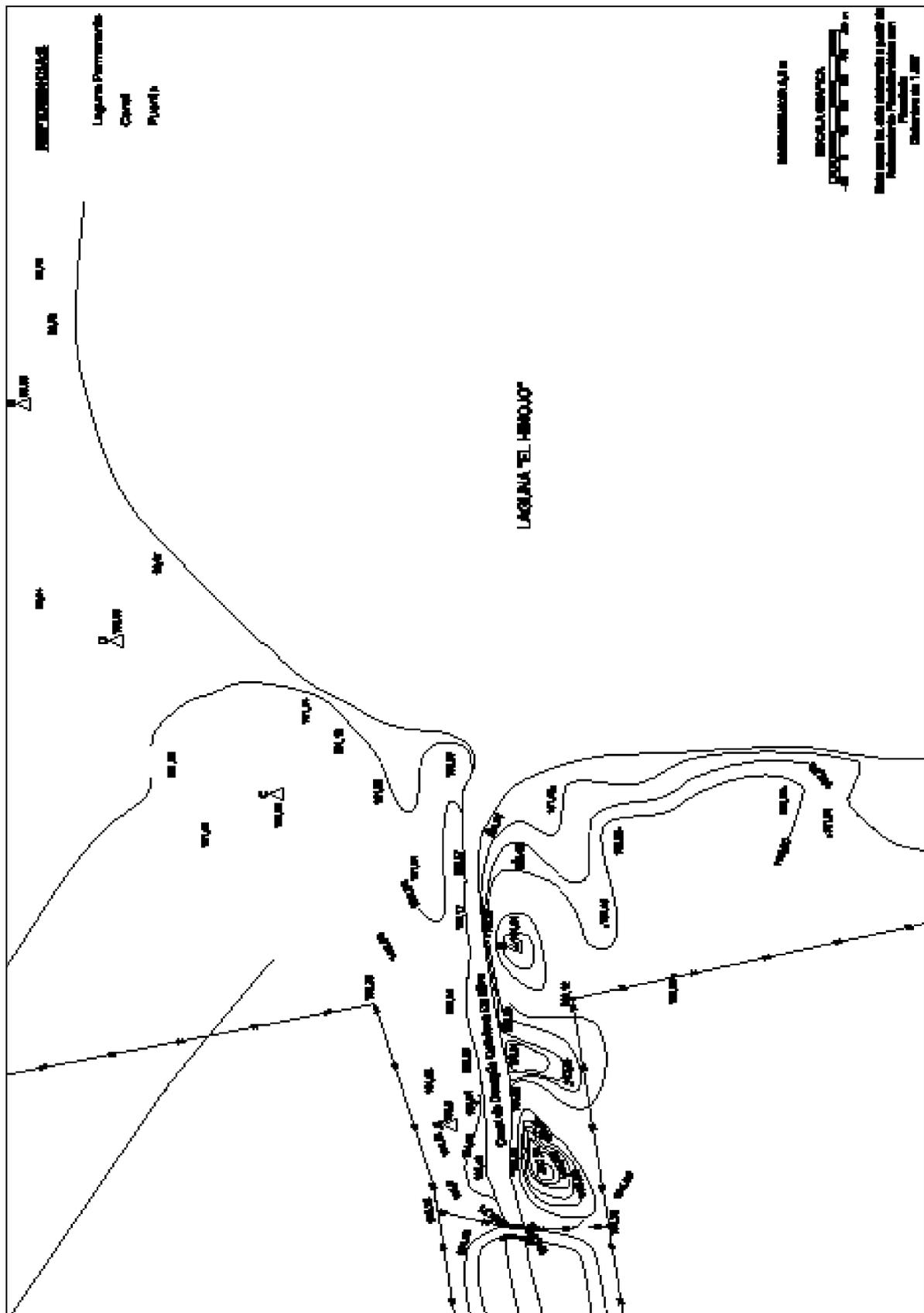
Entregado: 30 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 06 de Diciembre de 1999

1. Bfu de Argentina S.A.
2. Departamento de Ciencias Geológicas. F.C.E. y N. UBA.

FIGURA N° 1: MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



MAPA N° 1: MAPA TOPOGRÁFICO



superficiales como subterráneas para realizar análisis físico-químicos y bacteriológicos.

Las muestras se almacenaron en un lugar frío (a 4°C) y oscuro para minimizar las reacciones químicas y biológicas que pueden alterar la composición original del agua muestreada. La densidad del muestreo fue elegido en función del área de trabajo y del detalle buscado en el mismo.

El material utilizado para realizar el trabajo de campo consistió en un termómetro graduado de -5 a 60°C; un conductímetro Luftam, C400 auto rango (us/cm), con precisión 0,1 us/cm; un peachímetro Checker 1, pH tester and electrode; una sonda piezométrica; colorímetro Hach Dr-El, direct reading, portable; una cinta métrica de 5 metros; una plancheta Coifel; una brújula; equipo de herramientas; botellas de polietileno y vidrio de 500 y 250 ml; planillas para censo de pozos y la carta topográfica de la zona.

Al mismo tiempo, se obtuvieron durante la campaña cuatro muestras de agua superficial distribuidas en la laguna El Hinojo, el canal Calletana Da Silva y aguas arriba por el canal mencionado y 15 muestras de agua subterránea.

2.3. Trabajo de laboratorio:

El trabajo de laboratorio consistió en la medición de parámetros físico-químicos y análisis químicos y bacteriológicos. Los análisis químicos y bacteriológicos se efectuaron en: E.C.C.A. (Estudio Consultor en Contaminación Ambiental, Capital Federal); Laboratorio de Análisis de Rocas, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA y en el laboratorio de la Lic. en Saneamiento Ambiental Sonia Jablonski (de la ciudad de Venado Tuerto).

3. ASPECTOS CLIMÁTICOS

La información utilizada para aproximar el cálculo del balance hídrico (mediante la utilización del método de Thornthwaite-Mather) fue obtenida de las estadísticas climáticas editadas por Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Las temperaturas medias mensuales y precipitaciones corresponden a la localidad de Laboulaye, se tomó como referencia esta localidad debido a la cercanía y características climáticas similares a la localidad de Venado Tuerto, ya que esta no cuenta con información termopluviométrica, habiéndose utilizado los registros del período 1961-1990.

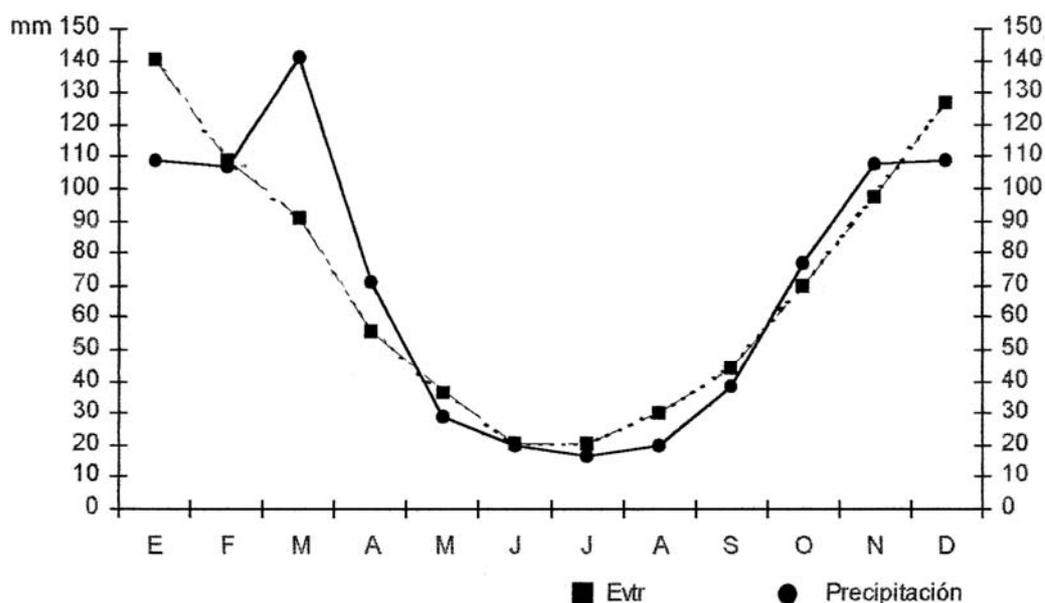
A partir de estos valores es posible estimar el balance hídrico, este calculo permite conocer la evapotranspiración real y el tipo climático de la región.

Los valores de temperatura para el período 1961-1990 son: temperatura media anual de 16,7°C con una máxima media mensual de 31,4°C para el mes de enero y una mínima media mensual de 3,2°C en el mes de julio.

Para el período considerado, la precipitación media anual es de 844,9 mm, la máxima se registra en el mes de marzo con 141,2 mm y el valor mínimo en el mes de julio de 16,6 mm. La lluvia media invernal, correspondiente a los meses de junio, julio y agosto, es de 56,4 mm y la lluvia media de verano correspondiente a los meses de diciembre, enero y febrero, es de 324,9 mm.

El balance hídrico se calculó de acuerdo al método ideado por *Thornthwaite* (1948) y modificado por *Thornthwaite y Mather* (1957), para la latitud de 33° 40' S (Fig. N°2). Se utilizó un coeficiente de retención de humedad del suelo equivalente a 200 mm.

FIGURA N° 2: BALANCE HÍDRICO MENSUAL



De la comparación entre precipitación y evapotranspiración real, surgen que predominan los períodos en donde la precipitación (P) supera a la evapotranspiración real (Evtr), constituyendo períodos húmedos. En estos el exceso hídrico debe repartirse entre el escurrimiento fluvial (Es) y la infiltración (I). El verano es la estación más lluviosa (diciembre, enero y febrero), pero no hay exceso de agua debido a los elevados valores de evapotranspiración real.

De acuerdo con la clasificación de *Thornthwaite y Mather (1957)*, se determinó el índice pluvial (Im), utilizando el índice de humedad (Ih) y de aridez (Ia).

$$\begin{aligned} I_m &= (I_h - 0,6 I_a) \\ I_a &= 0 \\ I_h &= 0,37 \text{ mm} \\ I_m &= 0,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

Para este valor de Im, el tipo climático para el área de estudio es: **C2, Lluvioso subhúmedo**.

El índice pluvial (Im) indica cuán húmedo es un clima pero no si hay variaciones estacionales de humedad, si el valor del Ia (índice de aridez), se ubica en el rango que va desde 0 a 16,7, la clasificación es "r": **Nula o pequeña deficiencia de agua**.

Se calculó la concentración de verano de la eficiencia termal, resultando el valor de la Evtp (evapotranspiración potencial) es de 842,19, lo ubica dentro del tipo de clima **B1 Mesotermal**. El % de la concentración de Evtp de los tres meses de verano con respecto a todo el año es de 42%. El tipo de clima es a'.

El clima de la zona estudiada es: "lluvioso subhúmedo, mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua durante todo el año y una concentración de la Evtp en el verano de 42%, es decir: C2 "r" B'1 a'.

4. GEOLOGÍA

La región de la Llanura Chaco-Pampeana, presenta ciertas características que la diferencian de las demás cuencas sedimentarias. Una de ellas es el tectonismo que ha sido relativamente menor durante gran parte de su historia final.

Por esta razón, no afloran las secuencias convirtiendo a la información del subsuelo en la única fuente de datos geológicos.

Basamento Cristalino:

El basamento en la Llanura Chaco Pampeana no asoma dentro del área de estudio, pero sí en cordones montañosos que la rodean. Está constituido por plutonitas de variada composición; granitos de colores rosados y cuerpos básicos grisáceos y negruzcos y metamorfitas de

diverso grado. En el ámbito de la Llanura el basamento fue encontrado en varias perforaciones realizadas por YPF en Córdoba. En una de ellas, Camilo Aldao, el mismo está constituido por esquistos anfíbolíticos que se encontraron a 2.200 m de profundidad; y en otra de ellas, Saira (a 18 km. al N de Marcos Juárez) a 2.608 m bbbp. se atravesó una diorita de 1.516 ± 150 m.a. (datación realizada por el INGEIS).

Cuenca Neopaleozoica Chaco-Paranense:

Esta cuenca tiene un gran desarrollo areal continuo en territorio argentino, está comunicada con la Cuenca del Paraná, en Brasil y Uruguay. De acuerdo con *Pezzi et al (1989)*, se trataría de una cuenca independiente de edad carbónica y comienza con depósitos de pelitas gris oscuro en las partes más bajas, cubiertas por areniscas que las traslapan hacia los altos. Le sigue un episodio muy variable y extenso, en el cual se incorporan espesores notables y cambiantes de diamictitas. Este es a su vez cubierto por una unidad pelítica-arenosa. La conformación de esta cuenca esta definida por fallas.

El registro **Mesozoico** Chacoparanense esta dominado por un episodio volcánico, de extensión continental, asignado al Jurásico superior-Cretácico inferior.

Formación Tacuarembó:

Constituido por sedimentos detríticos, mayormente rojos. La cuenca se desarrolla inicialmente con una subsidencia controlada por fallas extensionales, con levantamientos marginales e internos y una fuerte erosión, que proporciona abundante material a un ambiente deposicional fluvio-lacustre. La evolución continúa y la cuenca se expande, el clima se hace árido y el ciclo culmina con una secuencia de areniscas eólicas.

Formación Serra Geral:

Se halla constituida principalmente por coladas basálticas toleíticas, con ocasionales intercalaciones de areniscas formadas por clastos ígneos exclusivamente.

Formación Mariano Boedo:

Esta formación completa el registro Mesozoico, es una secuencia poco potente, comienza con areniscas y en su parte superior intercala pelitas y bancos calcáreos, de edad Cretácico superior a Terciario (Maastrichtiano-Paleoceno).

El registro del **Cenozoico** Chacoparanense esta constituido por depósitos litológicamente similares a los correspondientes al ciclo cretácico, hasta el presente no se han encontrado evidencias que demuestren que el límite cretácico-terciario coincida con un movimiento tectónico importante.

Formación Paraná:

Estos depósitos de origen marino según *Russo et al (1979)*, (Mioceno medio-Plioceno superior), durante la transgresión del mar Paranaense, se acumularon en casi toda la llanura Chaco-Pampeana. Están constituidos casi en su totalidad por arcilitas de colores verdosos, azulados o gris amarillentas, con restos de fósiles marinos. Se superponen en concordancia y gradualmente hacia areniscas verdosas o gris amarillentas con intercalaciones calcáreas, muy fosilíferas. Esto fue interpretado como una interdigitación entre los depósitos marinos orientales y otros continentales situados al oeste (*CRAS, Centro Regional de Agua San Juan, 1986*).

Conforme al *CRAS (1986)*, se puede considerar a esta unidad como el basamento hidrogeológico (impermeable) de la zona de estudio.

Formación Puelches:

Esta unidad se ha reconocido en prácticamente toda la llanura Chaco-Pampeana. De acuerdo a *Russo et al (1979)*, su edad es Plio-Pleistocena. Son areniscas muy friables, varicolores, castañas, blanquecinas, rojizas y grisáceas, de grano fino hasta grueso, ocasionalmente conglomeradas, y pobremente seleccionadas. Los clastos irregulares y subangulosos a subredondeados, son en su mayoría de cuarzo incoloro y con brillo vítreo. Presenta escasa matriz arcillosa y ocasionalmente tinción superficial amarillenta a rojiza, producida por óxido férrico.

Su espesor es variable dentro de pequeños límites, *Santa Cruz (1972)*, consigna un valor de 30 m para la zona NE de la provincia de Buenos Aires, mientras que en los sondeos de Ordóñez y Camilo Aldao (provincia de Córdoba), se registraron 70 y 34 m respectivamente.

Se debe mencionar que es el principal acuífero de la región por su caudal y la calidad del agua.

Formación Pampa o Pampeano:

Constituida por depósitos eólicos loésicos y limoarenosos rojizos a castaños con intercalaciones lentiformes de arcillas endurecidas e impermeables. En la parte inferior se intercalan areniscas finas, friables, con leve reacción calcárea.

Se encuentran también concreciones carbonáticas (tosca) y material yesífero rellenando oquedades o dispuestos en delgadas venillas. Según *Russo et al (1979)* su edad es Pleistocena.

Doscientos cincuenta kilómetros al norte de Venado Tuerto *Bojanich et al (1975)* determinaron feldespatos, piroxenos, hornblenda, mica, ceniza volcánica, cuarzo, arcillas y carbonato de calcio. Los limos loésicos según los mismos autores, no ofrecerían piroxenos, cenizas ni vidrios

volcánicos pero poseerían turmalina, gránate, magnetita y circón finamente divididos. No se dan los porcentajes en que cada elemento se encuentra presente ni los de la composición granométrica.

Sedimentos Post-Pampeanos:

Se trata generalmente de depósitos eólicos similares al Pampeano cuya edad es pleistocena medio superior y holocena.

Desde el punto de vista hidrogeológico es de gran interés, ya que recibe la precipitación pluvial, transfiere la infiltración a los acuíferos del Pampeano y es el asiento de la zona de descarga de agua subterránea.

De acuerdo con el *CRAS (1986)*, desde el punto de vista hidroquímico, resulta de interés destacar el elevado contenido de carbono y nitrógeno de origen orgánico que las aguas muestreadas en la unidad presentan.

5. GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se encuentra situada al sur de los domos y bajos sud meridionales, en un ambiente llano, con una altitud aproximada de 105 m sobre el nivel del mar. Situada íntegramente en la denominada "Llanura Chaco-Pampeana" la que se ha desarrollado sobre depósitos areno-limosos y areno-loésicos.

La región presenta un paisaje suavemente ondulado, de lomas bien drenadas circundadas por relieves cóncavos, compuestos por cubetas frecuentemente anegables y/o lagunas semipermanentes a permanentes, de difícil desagüe y escurrimientos independientes. Estas cuencas de carácter permanente, semipermanente o transitorias, son por lo general de fondo chato y se han constituido allí por falta de pendiente e impermeabilidad del suelo.

Estas lomadas cuyo rumbo general es NO-SE, las que corresponden al modelamiento eólico postpampeano y pluvial actual.

En los sectores situados al oeste de Venado Tuerto se presentan principalmente terrenos arenosos finos correspondientes a médanos estabilizados, con pendientes que difícilmente superen en general al 0,5%. De acuerdo con la clasificación de zonas naturales del *INTA (1981)*, la zona de estudio está integrada a la "Cuenca con drenaje interno" de la provincia de Santa Fe.

Esta lo interpreta como un relieve predominantemente ondulado de la unidad fisiográfica Pampa Ondulada (abundantemente atravesada por bajos elongados en la zona de estudio y por cañadas, arroyos y ríos al norte y al este de ella), se debe a un proceso de erosión pluvial (sin cauces fluviales manifestados), sobrepuesto a un ascenso diferencial de un bloque del basamento profundo que afectó a toda la pila sedimentaria sobreyacente.

Finalmente cabe destacar que esta zona se encuentra limitada por un cordón medanoso de reciente consolidación, que cubren el relieve antiguo, constituido por sedimentos areno-loésico, con rumbo general NO-SE. Se origina en Venado Tuerto sigue por Tarragona, hasta Rufino, perdiéndose al SO de esta localidad.

6. SUELOS

Según el INTA (1983) la serie Venado Tuerto es un suelo liviano, oscuro profundo y bien drenado, que ocupa un paisaje de lomadas planas y extendidas con desagüe medio. Se desarrolla a partir de un sedimento loésico de textura franca a franco-limosa.

La parte superficial del suelo, se extiende hasta los 20 cm (horizonte A1), es de color gris muy oscuro y bien provista de materia orgánica, de textura franco-limosa, con un 25% de arcillas y estructura en bloques medios, moderada. Le sigue una pequeña capa transicional hasta los 30 cm, a partir de donde se encuentra un horizonte levemente más arcilloso (B2t) de unos 30 a 40 cm de espesor, de color pardo oscuro, de textura franco-arcillo-limosa (con un 30% de arcilla) y estructura en prismas, fuerte, con escasos barnices.

En forma muy gradual se pasa al horizonte C, que aparece entre los 100 y 120 cm de profundidad. Este es friable, de color pardo, de textura franco-limosa, con 30 a 40% de arenas y 10% de arcilla. El horizonte B2 reúne escasamente la condición de argílico.

Dentro de esta serie puede haber pequeñas variaciones tanto en los espesores como en el contenido de arcillas en los horizontes A1 y B2. Posee un horizonte transicional (B3) de textura franco-arcillo-limosa, y ha evolucionado sobre un material con más limo que arena.

Esta serie ha sido clasificada como "ARGIUDOL TÍPICO".

7. HIDROGRAFÍA

La zona en estudio carece de drenajes permanentes. Existen diseminados sobre el área lagunas y esteros de carácter permanente, semipermanente y transitorio. Muchas de estas superficies libres son alimentadas por los escurrimientos superficiales de las aguas de lluvias y por el drenaje de la capa libre.

La ciudad de Venado Tuerto carece de red de agua potable y el suministro es individual para cada unidad habitacional. La misma proviene del subsuelo. En la mayoría de los casos se desconocen datos precisos sobre profundidad de la explotación. Según el CRAS (1986) el consumo promedio por habitante se fija en 250 l/día.

Se encuentra en elaboración un proyecto para la

construcción de una red para el abastecimiento de agua potable a la ciudad, alimentado por medio de un acueducto, que traería el agua desde Villa Constitución, provincia de Santa Fe.

8. GEOHIDROLOGÍA

Bojanich *et al* (1975) considera a esta zona integrante del área hidrogeológica de la Provincia de Santa Fe denominada "VIII Area de Médanos Fijos", donde la acción eólica propia del ambiente pampeano proporcionó el material de tipo arenoso que cubre en su totalidad esta zona y permitió la formación de acuíferos semiconfinados de regular rendimiento que son utilizados para abastecer a poblaciones importantes, como es el caso de Venado Tuerto.

En algunas áreas de médanos, se concentran aguas meteóricas de buenas condiciones de potabilidad, pero que no resisten una explotación extensiva dado su escaso volumen.

9. AGUAS SUPERFICIALES

No se evidencian en la zona cursos de agua superficial como ríos, arroyos, vertientes u otros. Las leves variaciones del nivel topográfico del terreno, definen "bajos topográficos" o lagunas, algunas de las cuales han sido o son actualmente las únicas manifestaciones de recursos superficiales en el lugar. Estas colectan agua superficial y drenan localmente el horizonte acuífero superior.

Las direcciones de las aguas de la región sur de la provincia de Santa Fe tienen diferentes orientaciones. En el sector N y NE nos encontramos con las nacientes de las vías de drenaje que vuelcan sus aguas a la cuenca del río Carcarañá. El Este y toda el área Central es dominio de las redes que vuelcan sus aguas a la Laguna Melincué y todo el sector Sur y Sudoeste canaliza su drenaje a través de cañadas que desembocan en lagunas permanentes y semipermanentes que actúan como colectoras.

La laguna El Hinojo, ubicada en la cota 105 m snm., fue utilizada como depositario de residuos domiciliarios hasta hace unos 70 años atrás, actualmente estos residuos son vertidos en la laguna "El Basural", ubicada en el sector NW de la ciudad de Venado Tuerto.

10. LÍQUIDOS CLOCALES

Las aguas de la laguna El Hinojo, provienen de la planta de tratamiento de líquidos cloacales por lagunas de estabilización a través del canal de desagüe Calletana Silva y de los desagües pluviales del núcleo urbano.

Actualmente el servicio de desagües cloacales cubre al 58% de la población aproximadamente, este servicio se encuentra a cargo de la Cooperativa de Obras Sanitarias de Venado Tuerto. Cuenta con una planta de tratamiento

que depura unos 8.000.000 de litros diarios.

El proceso de tratamiento de líquidos cloacales de la ciudad se lleva a cabo mediante la degradación biológica en tres lagunas conectadas en serie.

11. AGUAS SUBTERRÁNEAS

La escasez de cursos hídricos superficiales de carácter permanente en la zona, ha asignado a los recursos subterráneos fundamental importancia para el desarrollo industrial, urbano y rural de la región, de acuerdo con el E.I.A. (*Empresa de Ingeniería Argentina, 1997*), el agua de lluvia es la única fuente de alimentación de los acuíferos de ésta región.

Los suelos son poco permeables de acuerdo a *Kreimer (1968)*, el agua se infiltra con lentitud y en consecuencia incorpora sales a las aguas que percolan y esto produce acumulaciones salinas que ascienden hasta cerca de la superficie, formándose por efecto de las variaciones de los niveles freáticos, muchos horizontes de fijación de sales.

Las unidades portadoras de aguas de calidades aceptables para el suministro, son la Formación Puelches, en su fracción superior y el Pampeano, éste con algunas limitaciones.

El agua subterránea de Venado Tuerto es de moderada salinidad y responde al tipo sódico-bicarbonatado, manifestándose un incremento relativo de sodio y del contenido salino hacia los bajos topográficos y en profundidad.

El arsénico en la mayoría de los casos supera el límite máximo admisible para potabilidad, límites para Provisión de Agua Potable (ley Provincial N° 11.220), siguiéndole en importancia el ion fluoruro y la alcalinidad total. Debe señalarse que estos parámetros incrementan sus valores en profundidad.

Acuíferos libres y semiconfinados:

Se desarrollan en la Fm. Pampeano, observándose oscilaciones en los niveles de los mismos, llegando el nivel piezométrico, encontrándose en zonas bajas, a escasos centímetros de la superficie del terreno.

Los niveles más profundos de esta formación se encuentran saturados en aguas más salinizadas, separadas de los niveles superiores por acuitados o intercalaciones de sedimentos de menor permeabilidad, pero las características hidráulicas son similares.

La base del conjunto son sedimentos muy poco permeables que conforman el límite con la Formación Puelches. En general son de aceptable calidad química, presenta escasa potencia, no siendo apto para suministros de agua a poblaciones importantes. Además presenta contaminaciones bacteriológicas.

Acuíferos confinados:

La Formación Puelches constituye un acuífero confinado. Según *Kreimer (1968)*, en la zona de estudio este acuífero es de mediana a mala calidad, el agua presenta altos contenidos de salinidad al igual que el fluor y arsénico.

Las capas arcillosas que sirven de separación son: una que se ubicaría en la base del Pampeano, de color blanquecino, sirviendo como apoyo a los acuíferos libres y semiconfinados, y otra en la base del Puelche y techo de la Formación Paraná de coloración verdosa-azulada.

Entre estas dos capas extremas se encuentran intercaladas otras de variados colores y espesores que separan débilmente a subacuíferos de diferentes concentraciones salinas.

12. HIDRODINÁMICA

El comportamiento hidrodinámico subterráneo puede deducirse mediante la interpretación del mapa Isofreático (ver mapa N°2).

La dirección regional de flujo subterráneo (*Kreimer, 1968*) tiene sentido ONO-ESE, insinuándose una divisoria de agua la que se hace evidente a la altura de la ciudad de Venado Tuerto donde las líneas de flujo se abren en abanico dirigiéndose hacia el SE y NE sectores de bajos y lagunas, como la laguna El Hinojo.

El acuífero en todo el área de estudio (ver mapa N°2) se comporta como influente respecto a la laguna, pero en la zona cercana a la laguna (sector cercano a los freáticos N° 4 y 5) se invierte el sentido de flujo y este sector se comporta como efluente.

Esto es debido a los volúmenes de agua que ingresan a la laguna y la dirección de la pendiente del terreno que es hacia el NE.

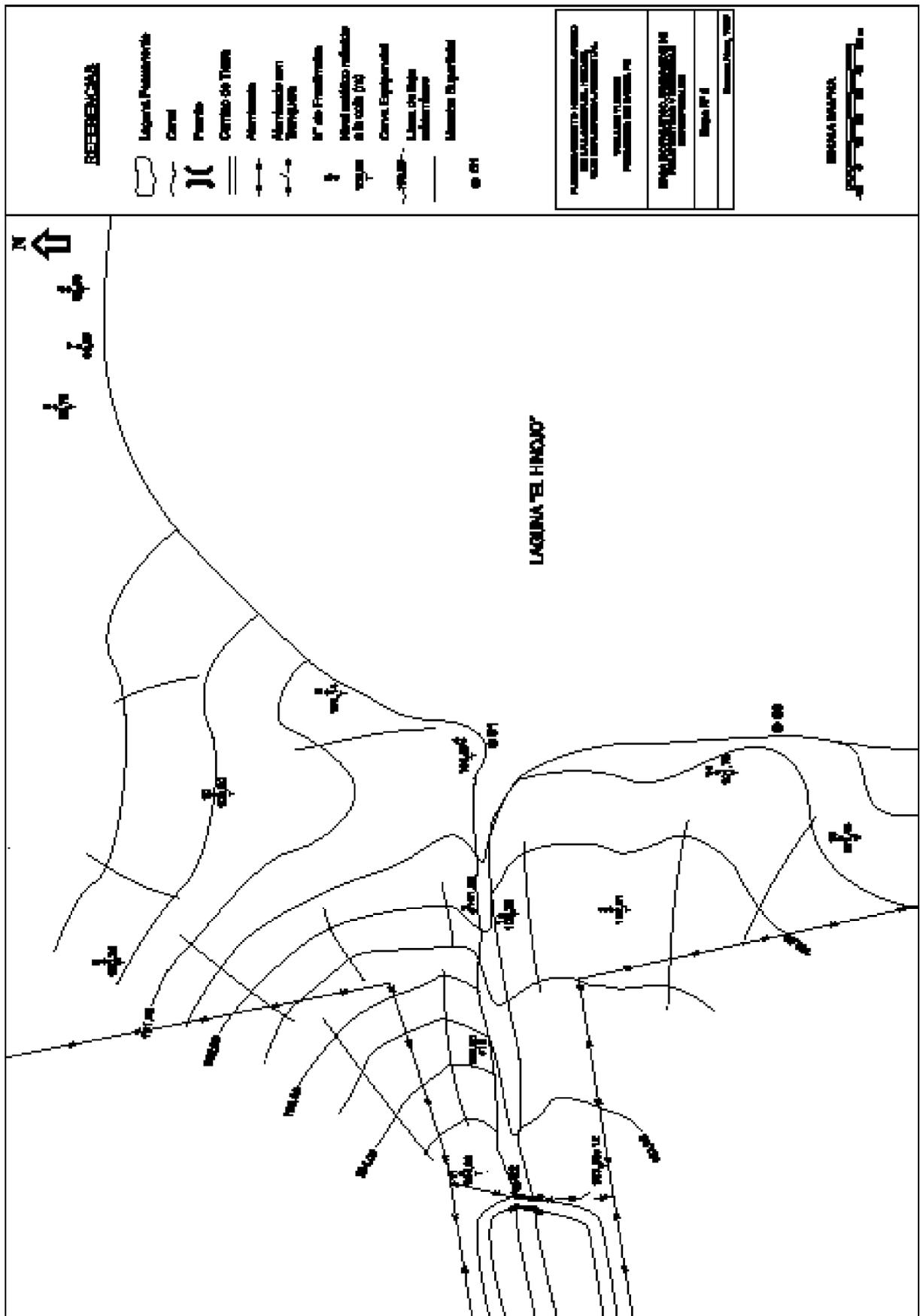
El gradiente hidráulico varía entre $1,6 \times 10^{-2}$ al SE y $0,625$ al NO, es decir siguiendo los mismos lineamientos que la pendiente topográfica regional.

De acuerdo con datos obtenidos de una perforación cercana al área de estudio el valor de transmisividad calculada por medio de ensayos de bombeo es de $471 \text{ m}^2/\text{día}$ y el coeficiente de almacenamiento es de $9,7 \times 10^{-3}$ con un caudal de 31.320 l/h .

13. HIDROQUÍMICA

Con la finalidad de determinar el estado hidroquímico del área de estudio, con referencia principalmente a parámetros limitantes para el consumo humano, se programó una red de muestreo tentativa que representará lo más convenientemente posible, la dinámica química del agua subterránea y su relación con la fuente superficial (la laguna).

MAPA N° 2: MAPA ISOFREÁTICO, UBICACIÓN DE FREATÍMETROS Y MUESTRAS SUPERFICIALES



Las particularidades químicas del agua subterránea dependen de varios factores, algunos están relacionados con los caracteres físicos del medio (permeabilidad, porosidad y litología) y otros con las características hidrodinámicas del sistema (zonas de recarga, conducción y descarga). También existe un control de acuerdo con la profundidad y el clima.

El análisis hidroquímico, además, de indicar la composición y la calidad del agua, constituye una herramienta que ayuda a precisar el comportamiento hidrodinámico.

Para la clasificación química de las aguas subterráneas del área de estudio, se eligió el diagrama de Piper (1944). Como resultado del 100% de las aguas analizadas responden al tipo "BICARBONATADA SÓDICA".

Para este trabajo se utilizan como referencia los límites establecidos para agua potable y para descarga de efluentes cloacales los previstos por la Ley Provincial N° 11.220 (de la provincia de Santa Fe).

14. PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

Alcalinidad Total: considerando en forma global el total de la información obtenida, se observó que en general estas son aguas de características alcalinas.

Según se calculó, el 100% de las muestras analizadas manifiestan tenores superiores a los 200 mg/l de CaCO_3 , límite que se asume como tolerable para potabilidad.

El máximo valor de alcalinidad total se registró para el freático N° 2 con 1.872 de mg/l de CaCO_3 , mientras que el mínimo valor correspondió al freático N° 1 con 400 de mg/l de CaCO_3 . El promedio se calculó en 933,6 mg/l de CaCO_3 (tablas N° 1 y 2).

Conductividad: los valores varían entre 1.875 us/cm (freático N° 1) y 2.750 us/cm (freático N° 9). No obstante, la mayoría de las muestras se ubican entre 2.400 y 2.650 us/cm, que representan conductividades altas para el agua subterránea.

pH: los valores fueron medidos in situ, para las aguas subterráneas varían entre 7,04 y 7,95, se trata de aguas ligeramente alcalinas. Pero para las aguas superficiales ese valor aumenta variando entre 8,14 y 9,82, se trata de aguas alcalinas.

Bicarbonato: la composición dominante del agua subterránea estudiada es bicarbonatada sódica. Es el ion más abundante en las aguas subterráneas del área de estudiada. La concentración de este anión se sitúa entre 221 ppm (freático N° 1) y 2.349 ppm (freático N° 3).

Carbonato: solo en el freático N° 8 se obtuvieron concentraciones de este ion.

Cloruros: en relación con las normas de potabilidad, las concentraciones de este ion se mantienen dentro de los

límites aconsejables, esto es 400 mg/l. Las mayores concentraciones en los freáticos N° 2, 6, 7 y 8, están en coincidencia con los mayores valores de conductividad eléctrica.

Sulfato: este ion presenta concentraciones que se encuentran debajo del valor aconsejable este es 400 mg/l, pues el promedio es de 78,13 ppm, con extremos de 70 ppm (freático N° 3) y 85 ppm (freáticos N° 2 y 8).

Calcio: El resultado analítico de este cation demuestra que sobre todas las muestras analizadas, los valores se mantienen por debajo del límite máximo tolerable en aguas de bebida que se ha establecido en 250 mg/l.

Magnesio: este cation varía arealmente entre 2 y 73 ppm, respecto del límite máximo establecido para potabilidad 50 mg/l. La excepción radica en la muestra del freático N° 3 que supera este límite y cuyo valor es de 73 ppm.

Potasio: la concentración de este cation se sitúa entre 20 ppm (freáticos N° 5 y 8) y 100 ppm (freático N° 3), el valor medio calculado en base a las ocho determinaciones realizadas fue de 44,13 ppm.

Sodio: la concentración de este cation, se calculó que sobre el 100% de las muestras analizadas, manifiestan tenores superiores a los 200 mg/l, límite que se asume como tolerable para potabilidad.

El máximo valor de sodio se registró para el freático N° 3 con 1.502 de mg/l, mientras que el mínimo valor correspondió al freático N° 4 con 297 de mg/l (tabla N° 1).

Cobre: la concentración máxima tolerable de este ion en aguas para bebida se ha establecido en 1,0 mg/l. El resultado analítico demuestra que en las muestras analizadas los valores se mantienen por debajo del límite máximo permitido.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): según los resultados de las muestras analizadas, se obtuvieron tenores inferiores a los 50 mg/l, límite que se asume como tolerable en la descarga cloacal de efluentes. La excepción radica en la muestra superficial N° 1 que supera este límite, cuyo valor es de 58 mg/l.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): sobre el 100% de las muestras analizadas, indican tenores inferiores a los 125 mg/l, límite que se asume como tolerable en la descarga cloacal de efluentes.

El máximo valor se registró para el freático N° 4 y la muestra superficial N° 2 con 77 mg/l, mientras que el mínimo valor correspondió a la muestra tomada aguas arriba del área de estudio, con 13 de mg/l.

Dureza Total: la norma establecida para definir la aptitud del agua para consumo humano fija el tenor máximo en 500 mg/l de CaCO_3 .

Sobre el total de las muestras analizadas, este tenor es inferior. El 80% de las muestras presenta valores inferiores a 200 mg/l.

Hierro: las muestras de agua analizadas presentan contenidos muy bajos de este elemento. El 100 % de las muestras analizadas poseen tenores dentro del rango de potabilidad, esto es inferiores a 0,20 mg/l.

Se debe recordar que los altos valores de pH, (promedio 7,51) justifican los escasos tenores de hierro, dado que el medio alcalino impide que este elemento permanezca en solución.

Manganeso: el límite máximo establecido para potabilidad de 0,10 mg/l, se obtiene que el total de las muestras analizadas de agua poseen concentraciones inferiores de este límite.

15. SUSTANCIAS TÓXICAS INORGÁNICAS

Arsénico: de acuerdo con el CRAS (1995), posiblemente las aguas muy sódicas, faciliten la disolución del arsénico, con origen en los minerales contenidos en el suelo. El límite máximo tolerable es de 0,10 mg/l, sin embargo las normas mundiales difícilmente aconsejen tenores superiores a los 0,05 mg/l.

Considerando que el valor medio calculado para la zona en base a cinco determinaciones realizadas, fueron de 0,44 mg/l (tabla N° 1) y las aguas del área son conocidas como "arsenicales", la concentración esperada supera los límites máximos tolerables para la potabilidad.

Nitrato: el límite máximo recomendado establece una concentración de 45 mg/l, de nitrato en el agua destinada al consumo humano. Sin embargo, sobre las muestras de aguas analizadas los contenidos de nitrato se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la ley N° 11.220.

Nitrito: el límite máximo tolerable en aguas para consumo humano es según a las normas vigentes igual a 0,10 mg/l. De acuerdo a los resultados de los análisis, la concentración de nitrito no incide en la calificación del agua

para potabilidad.

Cromo: el límite máximo admisible es el agua es de 0,05 mg/l. Cabe señalar que en ninguna de las muestras de agua analizadas se detectó la presencia de cromo.

Fluoruro: en el área de Venado Tuerto, el tenor de fluoruro junto con el de arsénico, constituye uno de los parámetros limitantes de la potabilidad del agua, a causa de la elevada concentración con que se los suele encontrar.

Como lo indica la tabla N° 1, solo el 60% de las muestras de agua analizadas se encuentran en el límite recomendado por la norma o sea hasta 1,5 mg/l. El resto de las muestras superan dicho valor máximo.

De acuerdo, al análisis global de la información hidroquímica recopilada sobre el área de Venado Tuerto, es característico en las aguas subterráneas de la zona los valores altos de fluoruro.

16. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Completando la información mencionada en los puntos anteriores (Parámetros Físicos-Químicos y Sustancias Tóxicas Inorgánicas) y a fin de caracterizar microbiológicamente el agua subterránea y superficial, del área de estudio, se analizaron ocho muestras de agua.

Los resultados bacteriológicos pueden ser consultados en la tabla N° 1, observándose que del total de las ocho muestras analizadas, ninguna se presentan como aptas para consumo humano.

En general se puede decir que los acuíferos de naturaleza porosa constituyen un medio extraño para la vida microbiana, poco apto para la subsistencia y reproducción de las bacterias.

Al respecto cabe aclarar que el período de vida de la bacteria en el acuífero, la distancia de recorrido o la velocidad de desplazamiento de la misma es función directa del tamaño granulométrico del sedimento. Acuíferos de granulometría fina como es el que me toca analizar, constituye filtros bacteriológicos naturales, favorecidos por el espesor de la zona de aireación.

TABLA N°1: ANÁLISIS DE LABORATORIO

Agua Subterránea:

Muestra N°	Freatímetro N°1	Freatímetro N°2	Freatímetro N°3	Freatímetro N°4	Freatímetro N°5
Fluoruros (mg/l)	-	2,0	1,8	0,8	-
Arsénico (mg/l)	-	0,6	0,2	0,2	-
Alcalinidad (mg/l)	-	1.872	740	700	-
Sodio (ppm)	386	833	1.502	297	565

Muestra N°	Freatímetro N°6	Freatímetro N°7	Freatímetro N°8	Freatímetro N°9	Freatímetro N°10
Fluoruros (mg/l)	1,2	-	0,8	-	-
Arsénico (mg/l)	1,0	-	0,2	-	-
Alcalinidad (mg/l)	1.132	-	880	650	700
Sodio (ppm)	699	833	595	-	-

Muestra N°	Freatímetro N°11	Freatímetro N°12	Freatímetro N°13	Freatímetro N°14	Freatímetro N°15
Fluoruros (mg/l)	-	-	-	-	-
Arsénico (mg/l)	-	-	-	-	-
Alcalinidad (mg/l)	900	1.000	1.000	1.300	800
Sodio (ppm)	-	-	-	-	-

-: no analizado

Muestra N°	Freatímetro N°2	Freatímetro N°3	Freatímetro N°4	Freatímetro N°5	Freatímetro N°7
Recuento total bacterias aeróbicas 37°C (uf/ml)	9.400,00	8.300,00	6.510,00	7.100,00	13.600,00
Coliformes (uf/100ml)	40,00	40,00	20,00	19,00	70,00
Pseudomona Aeruginosa (100 ml)	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Hongos y Levaduras	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

Agua Superficial:

Muestra N°	Superficial aguas arriba
Fluoruros (mg/l)	0,8
Arsénico (mg/l)	0,1
Alcalinidad (mg/l)	1.874
Sodio (ppm)	297

Muestra N°	Superficial 1	Superficial 2	Superficial 3
Sodio (ppm)	342	297	506
Recuento total bacterias aeróbicas 37°C (uf/ml)	6.800,00	17.300,00	7.900,00
Coliformes (uf/100ml)	28,00	60,00	30,00
Pseudomona Aeruginosa (100 ml)	Positivo	Positivo	Positivo
Hongos y Levaduras	Positivo	Positivo	Positivo

TABLA N°2: ANÁLISIS REALIZADOS CON COLORÍMETRO

Agua Subterránea:

Muestra N°	Freatímetro N°1	Freatímetro N°2	Freatímetro N°3	Freatímetro N°4	Freatímetro N°5
Alcalinidad (mg/l)	400	1.800	700	700	950

Muestra N°	Freatímetro N°6	Freatímetro N°7	Freatímetro N°8
Alcalinidad (mg/l)	1.100	900	900

Agua Superficial:

Muestra N°	Superficial 1	Superficial 2	Superficial 3	Superficial aguas arriba
Alcalinidad (mg/l)	700	700	800	700

Cabe mencionar que en el presente trabajo no se incluyen todos los resultados de los análisis, quien tenga interés en obtenerlos comunicarse con las autoras.

17. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Como se describió a lo largo de este trabajo se utilizó como límite de provisión de agua potable, de la ley Provincial N° 11.220 de la provincia de Santa Fe, ya que en la laguna El Hinojo se realizan actividades recreativas (como deportes acuáticos y pesca).

Según los análisis físico-químicos y bacteriológicos, tanto las aguas superficiales como subterráneas, indican un elevado contenido de arsénico, fluor, sodio y alcalinidad que superan los límites establecidos por esta ley. Además, bacteriológicamente todas las muestras analizadas se presentan como no aptas para consumo humano. El estudio

realizado por el CRAS (1995), recomienda que la laguna El Hinojo se destine únicamente a represa de contención de efluentes pluviales y descargas de agua subterránea, eliminando las descargas cloacales. De lograrse ello se estima que en un tiempo prudencial (período de autopurificación natural) se convertirá en un excelente embalse de agua de muy buenas condiciones químicas que permitirá, mediante un proceso de mezcla mejorar, el tenor mineral del agua subterránea.

Para finalizar se recomienda la eliminación de las descargas cloacales hacia la laguna y realizar determinaciones mensuales químicas y bacteriológicas sobre la calidad del agua, para comprobar su mejoramiento de esta, ya que esta se utiliza con fines recreativos.

18. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CATALAN LA FUENTE, 1969.

Química del Agua.

BOJANICH MARCOVICH, E. & RISIGA, 1975.

Contribución al Conocimiento de la Geohidrología de la provincia de Santa Fe. *2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica. Vol. V, 37-58. Buenos Aires.*

CARDONA BENAVIDES, A., 1996.

Toma de Muestras de Agua Subterránea.

Curso de Hidrogeología de Campo. San Luis de Potosí, S.L.P., México.

C. E. A., (COMPAÑÍA DE ESTUDIOS DE AGUA), 1975.

Perforaciones de reconocimiento entre San Eduardo y Venado Tuerto. Pcia. de Santa Fe.

Municipio de Venado Tuerto (archivo).

CONVENIO NACIONAL UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, MUNICIPALIDAD DE VENADO TUERTO, COOPERATIVA DE OBRAS SANITARIAS Y SERVICIOS ANEXOS DE VENADO TUERTO, 1992.

Estudio de factibilidad para la disposición final de residuos sólidos de la ciudad de Venado Tuerto. Pcia. de Santa Fe.

- COOPERATIVA LIMITADA DE OBRAS SANITARIAS Y SERVICIOS ANEXOS DE VENADO TUERTO, 1997.
Informe sobre el actual sistema de fluido, bombeo y depuración de aguas servidas de Venado Tuerto. Pcia. de Santa Fe.
- ENE. I. INGENIERÍA S.R.L., (E.I.A.), 1997.
Estudio de Impacto Ambiental. Servicios de Consultorías para prestar Asistencia Técnica especializada para el abastecimiento de agua potable del Sur Santafecino.
Subsecretaría de gestión de los Recursos Hídricos. Pcia. de Santa Fe.
- FERRES, C., 1995.
Actualización del conocimiento Hidroquímico del Recurso Subterráneo, en el área de San Marcos, departamento de Gral. López, Pcia. de Santa Fe. Convenio CRAS y Empresa 3K Construcciones.
Subsecretaría de Minería. Gobierno de la provincia de La Rioja, Mendoza y San Juan.
- FERRES, C., 1986.
Conocimiento Hidroquímico del Recurso Subterráneo, en el área de San Marcos, departamento de Gral. López, Pcia. de Santa Fe. CRAS.
Subsecretaría de Minería. Pcia. de San Juan.
- KREIMER, R., 1968.
Descripción hidrogeológica de la zona de Arias-Venado Tuerto y Colón provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires,
Instituto Nacional de Geología y Minería, boletín N° 116.
- LEY PROVINCIAL N° 11.220, 1994.
Preservación de los Recursos naturales y del Medio Ambiente. Santa Fe.
Legislatura de la Provincia.
- NICOLLI, H. & MERINO, 1991.
Ground water contamination with fluoride in the Calamuchita river basin, province of Córdoba, Argentina.
II Simposio Geochestry. Uppsala, Suecia.
- NICOLLI, H., SUARIANO, GOMEZ PERAL, FERPOZZI & BALEANI, 1989.
Groundwater contamination with arsenic and other trace elements in an área of the Pampa province of Córdoba, Argentina.
Environmental Geol. Water Sci. Vol. XIV: N° 1, 3-16.
- PEZZI, E. & MOZETIC, 1989.
Cuencas Sedimentarias de la región Chaco-Paranense.
Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológico N° 6, 65-78.
- RUSSO, A., FERELLO & CHEBLI, 1979.
Llanura Chaco-Pampeana.
Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Tomo I: 139-183. Córdoba.
- SANTA CRUZ, J., 1972.
Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la provincia de Buenos Aires.
Revista Asociación Geológica Argentina: 27 (1), 5-62. Buenos Aires.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 1961-1990.
Estadística Climática.
Serie B N° 35, 36 y 37. Buenos Aires.
- THORNTHWAITE, C. W., 1948.
An approach toward a rational clasification of climate.
Rep. from the geographical review: 38 (1), 55-94. New Jersey.
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, 1957.
Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the wather balance.
Climate drexel Inst. Of Technology: 10 (3), 1-68. New Jersey.



La importancia de la geomorfología frente al cambio climático global en el nordeste argentino

Popolizio, Eliseo

1. INTRODUCCIÓN

La presente comunicación se propone destacar la importancia de los estudios de Geomorfología frente al cambio climático global en el Nordeste Argentino.

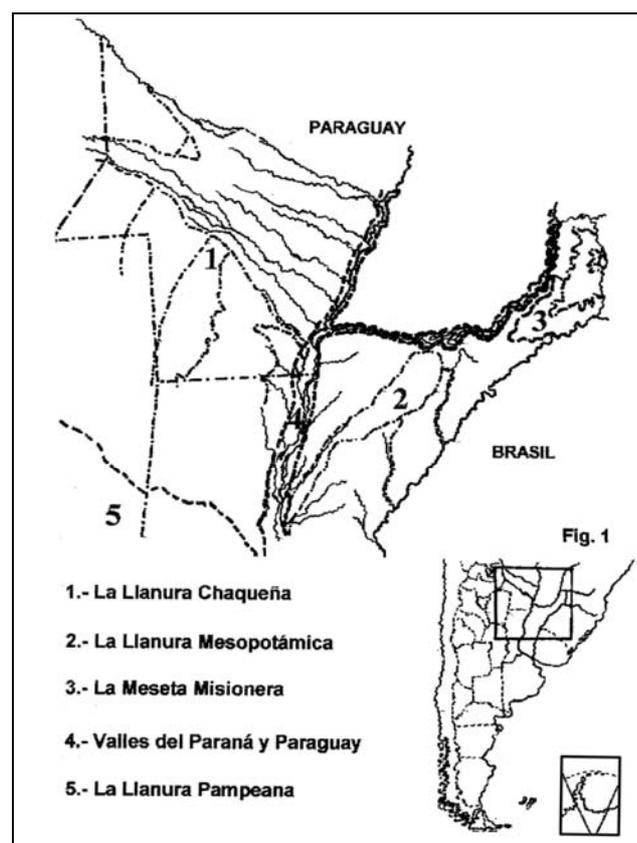
Dicha región abarca las provincias de Chaco, Corrientes, Formosa, Misiones y el norte de Santa Fe, en su mayor extensión formada por una extensa llanura, con excepción de la mayor parte de Misiones que constituye una meseta subtropical y subestructural (Fig. 1).

Estrictamente es un relieve de plataforma, constituyendo parte de la enorme cuenca sedimentaria Chaco - paranaense y con dominancia de estructuras tabuliformes, constituidas superficialmente por sedimentos del Cuaternario, en Chaco y Formosa y por terciarios y secundarios (incluyendo las lavas de Serra Geral) y cuaternarios en Misiones y Corrientes.

En la morfogénesis del relieve de esta región han intervenido procesos endógenos y exógenos, remitiéndose el origen de las formas del relieve al Terciario superior, caracterizándose por cambios climáticos significativos y movimientos de los bloques del basamento, que se traducen en superficie incluso en zonas con una potente capa sedimentaria y que llegan hasta el Cuaternario como movimientos neotectónicos.

El cambio climático global que afecta al planeta, parece ya estarse manifestando en la región y ello podría traer aparejado una serie de problemas que van desde lo hidrológico a lo económico y social.

FIGURA 1: GRANDES UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL NEA



Frente a ello en este trabajo se plantean las siguientes hipótesis:

1. Se están detectando en los subsistemas bióticos e hidrológico y en la geomorfología regional modificaciones significativas que parecen estar ligadas al cambio climático global

Entregado: 13 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 25 de Octubre de 1999

Centro de Geociencias Aplicadas UNNE
Av. Las Heras 727 3500 Resistencia - Chaco
Telfax: 03722 446958/420076
E-mail epopolizio@ing.unne.edu.ar

2. Se están produciendo modificaciones en el medio ambiente de la región como consecuencia de las actividades desarrolladas por el hombre
3. El sistema natural de la región es altamente susceptible a la acción antrópica
4. Durante el Cuaternario y en tiempos históricos se han registrado cambios climáticos hacia condiciones más secas y más húmedas que las actuales, las cuales originaron significativas modificaciones en el comportamiento del sistema natural
5. Es posible, mediante el análisis del comportamiento del sistema geomórfico en el pasado y del proceso y ocupación del espacio, elaborar escenarios alternativos que permitan definir estrategias de acción en cada caso.

2. LA SUSCEPTIBILIDAD DEL SISTEMA GEOMÓRFICO DEL NEA

Frente al cambio climático global y a la creciente presión antrópica, cabe preguntarse si la región NEA está preparada para soportar esos impactos y hasta qué niveles.

En este punto la Geomorfología y especialmente la Paleogeomorfología revisten especial importancia para conocer la capacidad de respuesta del sistema.

Cuando se produjeron los grandes cambios climáticos del Cuaternario, las áreas situadas entre las grandes zonas climáticas del planeta, es decir las subtropicales y las periglaciares, fueron las más afectadas como consecuencia de constituir sistemas transicionales.

En nuestra región se ha podido reconocer que durante los períodos fríos las condiciones climáticas y fisonomías vegetales se desplazaron desde el SW hacia el NE generando condiciones de aridez o semiaridez, que para simplificar hemos definido como "secas". En los cálidos ocurrió todo lo contrario y las condiciones climáticas y fisonomías vegetales se desplazaron desde el NE hacia el SW.

Estos cambios dieron lugar a significativas modificaciones en los procesos y las formas del relieve, básicamente durante el paso de una condición a otra, es decir durante los períodos rexistásicos.

Durante las últimas glaciaciones (períodos fríos) la región del NEA se vio sometida a condiciones de semiaridez con el retroceso de los bosques, las selvas y las sabanas hacia el NE, que fueron precedidas por un período rexistásico de húmedo a seco.

Bajo estas condiciones se desarrollaron grandes abanicos aluviales y morfología eólica, que va desde verdaderos cordones hasta dunas, microdunas y planicies eolisadas.

En Misiones y el este de Corrientes, las cuencas fluviales se convirtieron en torrentes, con sus cuencas de

recepción, canal de descarga, y conos de deyección.

También puede mencionarse el desarrollo de depresiones poco profundas, con formación de evaporitas a causa de la precipitación salina bajo la intensa evaporación.

Pedimentos y pediplanos fueron morfologías dominantes durante estos períodos y son responsables de las grandes planicies y quiebres de pendiente, así como también de depósitos correlativos en las áreas deprimidas y paleopavimentos de piedras en las áreas más movidas.

Geológicamente hace poco tiempo que terminó el último período glacial, aproximadamente unos 16000 años, y las condiciones climáticas de la región se modificaron hacia más húmedas y algo más cálidas.

Se instalaron entonces las selvas subtropicales, los parques y las sabanas que caracterizan el período actual.

Con lo expuesto estamos queriendo recalcar que las formas del relieve, los sedimentos superficiales y las redes de escurrimiento son más heredadas de otras condiciones climáticas que de las actuales, lo que se conoce en Geomorfología como herencia del paisaje.

Ello puede apreciarse por todas partes en la región y es la principal causa de la susceptibilidad que ella presenta frente a la acción antrópica, a lo que se suma la correspondiente a los cambios climáticos.

Si los dos factores se suman, los desequilibrios que se producen en el sistema geomórfico son extremadamente significativos y causa de grandes riesgos socio económicos y ambientales.

En este punto mencionaremos solamente algunos ejemplos de la acción antrópica, para desarrollar en el siguiente el debido a la acción de los cambios climáticos.

La remoción de la selva subtropical misionera para la implantación de cultivos o incluso para su reforestación con coníferas, está haciendo reaparecer el modelo de paleotorrentes por la remoción del suelo que llega a valores alarmantes y la alteración de los sistemas de escurrimiento. En efecto, ha disminuido la capacidad de intercepción de la lluvia y el escurrimiento subterráneo, con el consiguiente aumento de la escorrentía superficial (causa principal de la erosión de los suelos) y el acortamiento de los tiempos de concentración. En efecto, los cursos de agua limpios y cristalinos que se desarrollaban bajo la selva, corren hoy rojos y cargados de sedimentos, con empunamiento de sus crecientes y el descenso de las napas freáticas que ha llegado a secar algunos pozos.

En las cabeceras de los paleotorrentes se desarrollan movimientos colectivos y procesos de carcavamiento que agravan aún más la situación e incluso en los terraplenes viales se desarrollan rápidamente escurrimientos transicionales del tipo surcoico o carcávico.

En el sur de Misiones y en el este de la provincia de Corrientes donde el relieve es más suave pero colinoso, procesos semejantes están teniendo lugar por implantación de nuevos cultivos, como la soja, o bien por sobrecarga animal.

En el oeste de Corrientes, las lomadas arenosas puelchenses están siendo rebajadas por la acción laminar de las aguas, a causa de la destrucción parcial de los parques y la implantación de la agricultura desde muy larga data, con lo cual se están colmatando las lagunas pseudokársticas, que caracterizan este tipo de relieve.

En las planicies embutidas entre las lomas, las obras viales que las atraviesan transversalmente, con frecuencia no están bien diseñadas y se comportan como verdaderos embalses provocando la inundación de vastas áreas, especialmente si tenemos en cuenta que las pendientes medias son del orden de 1‰ , es decir que un terraplén de 1 m puede provocar la inundación de 10 Km aguas arriba.

Los canales que se han construido han desecado grandes áreas de humedales con el tremendo impacto medio ambiental que ello significa, permitiendo que especies vegetales invasoras ingresen y prosperen, provocando además un descenso de la napa freática muy peligroso para los períodos de sequías.

Sobre las áreas de los paleoconoides del Bermejo y Pilcomayo, la vegetación del bosque alto cerrado se ha desarrollado sobre los paleoderrames originados por desbordes laterales y depositación de sedimentos provenientes de las zonas montañosas del oeste, bajo condiciones del clima seco.

Estos paleoderrames presentan un modelo digitiforme y se presentan de a pares a ambos lados de los antiguos canales de escurrimiento, estando sobre elevados con relación a las planicies-

La explotación del bosque que se asienta sobre ellos fue la actividad pionera en el proceso de ocupación y la tala aún continúa. Si a ello le agregamos que las áreas desmontadas fueron destinadas a la agricultura y también a la ganadería, es fácil comprender el lavado y decapitación de suelos o bien la total desaparición de la morfología.

Si tenemos en cuenta que los paleoderrames constituyen las divisorias de aguas y la presencia de procesos pseudokársticos y de erosión regresiva, podemos entender la existencia de modificaciones de las redes, con tendencia a un modelo dendrítico que integra los cursos o paleocursos con las depresiones de las planicies embutidas.

Los caminos transversales al escurrimiento laminar que se origina en estas últimas, provocan los mismos problemas mencionados para el oeste de Corrientes.

Hacia el oeste, tanto en Chaco como en Formosa, el paleomodelo eólico se vuelve más manifiesto con formas

de acumulación y de deflación.

Debemos mencionar que en el oeste chaqueño (sobre el Dorso Central) se pueden apreciar las paleodunas sólo mediante las fotografías aéreas ya que se sobre elevan, no más de 1m, de las planicies y tienen un ancho del orden del kilómetro, razón por la cual no se distinguen a simple vista.

La ocupación agrícola se dio inicialmente en las planicies subestructurales de deflación, que sustentaban sabanas pirógenas, en tanto que sobre las paleodunas se desarrolló el bosque y el arbustal.

No existen cursos que atraviesen la zona, por lo cual el escurrimiento es laminar en las mencionadas planicies, que al inundarse entran en contacto y terminan escurriendo hacia el SE, en dirección a los Bajos Submeridionales, que se inician, por el oeste, con un desnivel topográfico inicialmente tectónico y luego remodelado por erosión regresiva.

En dicha zona de contacto se pueden observar nítidamente la existencia de torrentes de llanura, con sus cuencas de recepción en el Dorso Central y sus conos en los bajos.

Se han construido canales en los canales de descarga de dichos torrentes y otros que desaguan en sus cabezas, de manera que la erosión regresiva natural se ha visto acentuada por acción antrópica.

Existen en la zona paleouadis, sólo detectables en las fotografías aéreas, que se reactivan durante las grandes precipitaciones sin encontrar obras de arte, pudiendo cortarse las rutas o ser cortadas por los productores.

En Formosa los paleoderrames son mucho más elevados y en algunos casos detectables a simple vista y el talado o quema de la vegetación provoca voladuras de suelo muy significativas, a lo que se suma el lavado y arrastre durante las precipitaciones intensas y concentradas.

Otro problema lo constituyen las sales incorporadas al suelo que pueden alcanzar niveles elevados o manifestarse directamente en superficie en salitrales y peladares.

Su movilidad está muy asociada al nivel de la napa freática, de allí que la incorporación de agua al suelo, por ejemplo en programas de riego, origina su ascenso y termina por dificultar la producción.

El aumento de las precipitaciones (recordemos el corrimiento de las isohietas) ha provocado este fenómeno y algunos suelos se han vuelto muy difíciles de trabajar, bajando los rendimientos.

Los canales construido en la zona sólo actualmente están intentando adecuarse a la geomorfología pero muchos de ellos no lo están y originan serias modificaciones al escurrimiento.

Como podemos apreciar con estos pocos ejemplos el sistema natural, que, en su mayor parte refleja condiciones morfogénicas de climas secos, es sumamente susceptible a la acción antrópica y de continuarse en este camino los efectos serán muy significativos, influyendo decididamente en la economía de la región.

Un aspecto que no debe olvidarse es que los productores con menos de 100 has. representan más del 50% del total, en todas las provincias, y en algunas zonas el 70%.

Están ubicados sobre los relieves más susceptibles a la erosión y desmantelamiento y no disponen, con frecuencia, de los recursos para implementar técnicas conservacionistas.

3. LAS POSIBLES CAUSAS DE LOS DESEQUILIBRIOS DEL SISTEMA GEOMÓRFICO Y LOS ESCENARIOS POSIBLES

Hasta aquí hemos comentado algunas de nuestras observaciones realizadas desde hace muchos años en el Nordeste Argentino y ahora pasaremos a plantear las posibles explicaciones y sus consecuencias para la región.

Con relación al Cambio Climático Global gran parte de los investigadores lo asocian con la acción antrópica, especialmente desde el comienzo de la industrialización y muy vinculado con la emisión de gases que estarían dando lugar al denominado efecto invernadero.

Otros autores consideran que se trata de causas naturales asociados a los movimientos del planeta en el espacio y a la geodinámica, como ocurrió repetidas veces en la historia geológica y aún en tiempos históricos.

Personalmente creemos que se trata de los dos factores que están actuando simultáneamente y tal vez superponiendo sus efectos, lo cual traería consecuencias muy graves.

De todas formas, la mayoría de la comunidad científica acepta que se está produciendo un cambio climático global y es suficiente recopilar datos de lo que está ocurriendo a lo largo y ancho del planeta para comprobarlo, si bien no existe acuerdo sobre si se trata de una simple oscilación o indica una tendencia y en este caso tampoco hay acuerdo sobre los valores que tendría en los años futuros.

El hecho que las Naciones Unidas haya implementado un programa especial sobre el Cambio Climático Global y la cantidad de reuniones científicas que se vienen realizando sobre el tema, indica que nos encontramos con una realidad frente a la cual no podemos permanecer pasivos.

Durante muchos años hemos venido estudiando el comportamiento geomorfológico de la región del NEA en la actualidad y en el pasado, comparándolo con lo que ocurre y ocurrió en las áreas marginales del Brasil y de La Pam-

pa y creemos que ello puede ser de utilidad para buscar las posibles causas de los fenómenos descriptos y plantear escenarios posibles frente al cambio climático global.

Para ello nos parece conveniente partir de la Teoría de la Biorrextasia, que ha servido a los autores brasileños para reconstruir la historia paleogeomorfológica de las áreas del este y a nosotros para intentar recomponer la de la Región NEA ya que hemos planteado dicha teoría como método de datación relativa de los procesos geomórficos y de la evolución del paisaje.

Análogamente, hemos empleado los conceptos de la Teoría General de Sistemas desde la propia definición de la Geomorfología hasta la explicación de los procesos que modelan y modelaron el relieve.

Expuestos estos conceptos como paradigmas, podemos resumirlos sintéticamente diciendo que la evolución del relieve del NEA puede explicarse como consecuencia de períodos de equilibrio relativamente largos en condiciones más húmedas y más secas que las actuales (Biostásicos) entre los cuales se intercalaron otros relativamente más cortos de desequilibrio para pasar de un estado a otro (Rexistásicos), sin que dejáramos de tener en cuenta las deformaciones corticales.

En un trabajo anterior hemos resumido los principales aspectos que caracterizaron estos períodos en la región y queremos destacar algunos de los más salientes.

Todo parece indicar que los períodos que llamamos, por simplicidad, húmedos, se correlacionaron con las interglaciaciones del Hemisferio Norte, es decir con un calentamiento general y los secos con los períodos glaciales o un enfriamiento general, lo cual está muy documentado en los trabajos brasileños.

Durante cualquiera de los biostásicos el sistema geomórfico puede considerarse como determinado, es decir que si se conocen todas las variables se puede establecer el estado posterior.

Los subsistemas que integran aquel (biótico, edáfico, litoestructural e hidrológico) han logrado un equilibrio con el clima imperante y por lo tanto el gasto energético es mínimo, si bien diferente en cada caso, y a consecuencia de ello el relieve evoluciona muy lentamente.

Por el contrario, cuando se ingresa a un período rextásico, se rompe bruscamente dicho equilibrio y el sistema y los subsistemas oscilan amplia y estocásticamente. Se trata de una etapa indeterminada donde sólo puede establecerse la probabilidad del estado siguiente y entonces el gasto energético sube bruscamente a valores muy altos y gran parte se pierde como entropía, originándose una rápida transformación del relieve.

Ya hemos mencionado que la región NEA estuvo sometida a condiciones secas, durante la última glaciación

del Hemisferio Norte, y que las formas del relieve y la hidrografía reflejan la herencia de aquellas, estando en la actualidad bajo condiciones húmedas, no tan intensas como las soportadas en otros períodos anteriores.

Sobre la base de estas consideraciones es posible que se esté desarrollando un nuevo período rexistásico hacia condiciones más húmedas que podría haber empezado hace tiempo, ya que la temperatura media de nuestro siglo supera la de los últimos 2000 años.

En efecto, cuando los controles paramétricos provocan un ingreso superior al umbral de equilibrio, el sistema puede no reaccionar inmediatamente por efecto de la inercia y de múltiples mecanismos homeostáticos que se oponen al cambio y tienden a mantenerlo en equilibrio.

Paulatinamente esos mecanismos comienzan a fallar hasta que se ingresa a un nivel de oscilación que se hace manifiesto y en este momento perceptible para el hombre.

Creemos que esta situación se está dando a partir de la década del 60', como lo atestigua el comportamiento de los sistemas hidrológicos.

Si ello fuera cierto los montos de precipitación estarían yendo en aumento y las isohietas se correrían hacia el oeste como vimos que está ocurriendo.

Curiosamente y como consecuencia del aumento de la oscilación del sistema se alternarían con más frecuencia e intensidad los años húmedos y secos, produciéndose cambios térmicos muy bruscos, aumentando la frecuencia de ingresos de ondas de calor y frío.

También los fenómenos turbulentos aumentarían de frecuencia e intensidad (tornados, ciclones, granizos) y los valores máximos de velocidad e intensidad de los vientos serían superiores a los que se usan para el cálculo de riesgos en las obras civiles.

El comportamiento de los cursos se modificaría, aumentando la media y la amplitud de oscilación, siendo más probable las crecientes con alta recurrencia. Viene al caso mencionar lo comentado en otros trabajos sobre las recurrencias de las crecientes en Corrientes. Cuando ocurrió la de 1983, que fue la mayor del siglo en esa ciudad,

su recurrencia calculada estaba entre los 100 - 200 años. Si se incluyen las crecientes posteriores, ella está por debajo de los 50 años, lo que indica un riesgo extremadamente grande que se produzcan crecientes mayores en los próximos años.

El análisis detallado del comportamiento histórico del río desde 1748 y de los ajustados registros del último siglo parecen indicar que lo posible como escenario "más húmedo" estaría teniendo lugar.

Simultáneamente habría tendencia al aumento del valor medio de la humedad relativa, con el consiguiente ingreso de especies invasoras y lo que es más peligroso de patologías típicas del área tropical, como ya lo mencionáramos anteriormente.

4. CONCLUSIONES

1. El conocimiento de la Geomorfología y la Paleogeomorfología es de importancia fundamental para comprender los cambios que se están produciendo en los procesos y las formas del relieve en el Nordeste Argentino.
2. Se están produciendo una serie de modificaciones en la biota y en la hidrología que parecerían estar ligadas al cambio climático global y a la acción antrópica, que en algunos casos parecen contradictorios, sin embargo están formando parte de un único proceso general de alteración del medio ambiente.
3. Si a la tendencia general del cambio global se estuviera superponiendo el efecto antrópico, las consecuencias ambientales y socio económicas podrían ser muy graves y difíciles de controlar.
4. Lo anterior tiene especial significación teniendo en cuenta la susceptibilidad de las llanuras subtropicales a los cambios climáticos y a la acción antrópica.
5. Los conocimientos sobre el comportamiento del sistema geomorfológico en épocas pasadas y en la actualidad permiten esbozar escenarios posibles que sirvan para la toma de decisiones y logren eliminar o minimizar los riesgos.



Cuantificación de la pérdida de suelo en un sector de bardas en la Ciudad de Neuquén

Cuenca XVI

Rapacioli, Raúl - Impiccini, Agnes - Engelland, Silvia - Arroyo, Luisa

Resumen

El presente trabajo es resultado parcial de investigaciones realizadas en el marco del Proyecto: Condiciones de Sustentabilidad Ambiental para un Espacio de Oasis Antropizado, que se lleva adelante en el Centro Experimental de la Vivienda y el Equipamiento Urbano (C.E.V.Eq.U.), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue.

El objetivo de este estudio es la cuantificación de la pérdida de suelo de la Cuenca XVI, ubicada en sector Noroeste de la ciudad de Neuquén, calificada como área de riesgo aluvional y respecto de su oferta para la expansión urbana, como de baja y nula.

Se analizó el clima, particularmente las precipitaciones intensas, la vegetación, los suelos, la geomorfología de la zona de estudio y se identificaron de los parámetros físicos de la cuenca aluvional y subcuencas, estos datos básicos fueron necesarios para simular la escorrentía, mediante el modelo matemático de transformación lluvia-caudal ARHYMO (Maza y otros, 1996), con el que se obtuvieron los caudales máximos y el volumen escurrido asociados a recurrencias para cada subcuenca analizada.

La cuantificación de la degradación que provocan las precipitaciones intensas, se calculó aplicando el modelo de MUSLE (Williams y Berndt, 1977).

1. INTRODUCCIÓN

La urbanización de la Ciudad de Neuquén, se inicia y desarrolla sobre la planicie de inundación del Río Limay, pero, a partir de la década del 70, merced al explosivo crecimiento demográfico, la expansión espacial avanza aceleradamente sobre la zona de bardas al Norte y sobre la base de la escarpa de erosión, hacia el Oeste.

La masiva construcción de viviendas y la permisividad ante ocupaciones ilegales hacen que éste crecimiento

se materialice en forma discontinua, con grandes vacíos e invadiendo áreas, categorizadas como de oferta baja y nula (*Dpto. de Geografía, 1988*), para el asentamiento humano, provocándose así modificaciones e inestabilidad en el soporte natural, en su conjunto, con los consiguientes riesgos ambientales.

Hoy una tercera parte de la población de la ciudad está radicada en este sector, en condiciones de riesgo aluvional, demostrado por numerosos estudios y evaluaciones realizados por profesionales de distintos organismos regionales.

La Cuenca XVI, aún no urbanizada, permite al equipo de investigación la caracterización del subsistema natural describiendo el clima, particularmente las precipitaciones intensas, la vegetación, los suelos, la geomorfología y la

Entregado: 19 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 09 de Agosto de 1999

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
email: sengella@uncoma.edu.ar

identificación de los parámetros físicos de la cuenca aluvional y subcuencas.

Los resultados obtenidos pueden contribuir a replantear y/o establecer pautas de acción ante el requerimiento de urbanización en estas áreas.

A nuestro criterio, ésta cuenca presenta una problemática que es en general, extrapolable (por su origen, procesos geomorfológicos actuantes y dinámica hídrica), a toda el área que se desarrolla al pié de la barda Norte del Alto Valle, y como tal, se integra a las investigaciones que llevamos adelante en el Proyecto "Condiciones de Sustentabilidad Ambiental de un Oasis Antropizado -Programa Sustentabilidad del Espacio Regional". Insumos para la Gestión Ambiental. El Caso del Alto Valle de Río Negro y Valle Inferior de los Ríos Limay y Neuquén- que se desarrolla en el CEVEqU, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.

Temperatura °C	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
Media	22.5		6°		14.5
Máxima y mínima absoluta	42.3		-12		
Amplitud térmica media	16.6	16.9	13	17.8	
Amplitud térmica absoluta	40°	41.5°	40.9	41.7	

Se registra un período medio de 180 días al año con probabilidad de heladas (entre Abril y Octubre), con una frecuencia media de 60 días.

El viento predominante, seco y fresco, del Oeste y Sudoeste, es por su velocidad y frecuencia, factor importante en el modelado del paisaje. De Septiembre a Febrero se registra un número medio de 12 días mensuales con velocidades superiores a 12 m/s.

Las precipitaciones, son del orden de 186,2 mm anuales presentan máximos estacionales en otoño. Las lluvias de verano son esporádicas y torrenciales. La variabilidad anual del régimen es del 28% y la mensual puede alcanzar el 97%.

La evapotranspiración promedio anual es de 759 a 1085 mm, el balance hídrico es deficiente en todas las estaciones.

Características de las Precipitaciones Intensas

Las tormentas duran pocas horas, generando precipitaciones de gran intensidad y escasa cobertura areal. Sus características principales son:

a) Tienden a concentrarse entre los meses de Octubre a

2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Cuenca XVI, está ubicada en el Noroeste del ejido Municipal, de la Ciudad de Neuquén, y sus coordenadas geográficas son: 38° 53' 12" y 39° 00' 19" de Latitud Sur; 68° 10' 03" y 68° 00' 23" de Longitud Oeste. Situada en la escarpa de erosión (frente de Barda), ocupa una franja de Este - Oeste, que limita al Norte con la meseta, al sur con un área de asentamientos marginales espontáneos, al Este con la cuenca XV y al Oeste con la cuenca XVII ambas con similares características naturales pero con distintos grados de intervención antrópica.

3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA

Clima

El clima de la región es semiárido mesotermal, con cuatro estaciones bien definidas. Son significativas y de importancia en los procesos de erosión mecánica de los suelos, las amplitudes térmicas diarias y mensuales, tanto medias como absolutas:

Marzo, registrándose las máximas en el último mes.

- b) Son producto de tormentas de origen convectivo, que se caracterizan por su gran intensidad, poca duración y escasa cobertura areal, típicas de la región.
- c) La duración de las precipitaciones intensas, en el 81% de las tormentas ocurridas, se distribuye en 4 horas.

Considerando estas características se elaboró el Modelo de Intensidad de Precipitación para la Región del Alto Valle del Río Negro (*Rapacioli, 1997*).

Precipitaciones Intensas. Hietogramas de Proyecto

El Modelo de Intensidad de Precipitación para la región del Alto Valle del Río Negro, responde a la siguiente relación funcional:

$$I = \frac{A}{(D + B)^f} \quad (1)$$

Siendo: I = intensidad de precipitación (mm/h); D= duración de la precipitación; A, B y C = parámetros dependientes del tiempo de recurrencia o retorno (TR).

TABLA 1: COEFICIENTES DEL MODELO DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

TR (años)	A	B	C
2	158	3,64	0,60
5	235	3,85	0,59
10	286	3,93	0,58
25	351	4,00	0,58
50	399	4,03	0,57
100	447	4,06	0,57

Los montos de precipitaciones obtenidos con la ecuación 1 considerando una duración D = 4 horas, se muestran en Tabla 2

TABLA 2: PRECIPITACIONES PARA TORMENTAS DE 4 HORAS DE DURACIÓN

TR (años)	2	5	10	25	50	100
P (mm)	23	37	47	58	69	78

Con los valores de la Tabla 2 y las curvas IDF, se obtuvieron los Hietogramas Acumulados (Figura 2) mediante el Método de las Intensidades Instantáneas (Hietograma Porcentual de Chicago, Figura 1) para cada recurrencia, utilizándose un coeficiente de avance de tormenta r = 0,25 (Tabla 3).

TABLA 3: HIETOGRAMAS ACUMULADOS - TORMENTAS DE 4 HORAS (VALORES EN mm)

TR (años)	1er. Hora	2da. Hora	3er. Hora	4ta. Hora
2	9	17	21	23
5	14	27	33	37
10	18	34	42	47
25	22	42	51	58
50	27	51	62	69
100	30	57	69	78

FIGURA 1

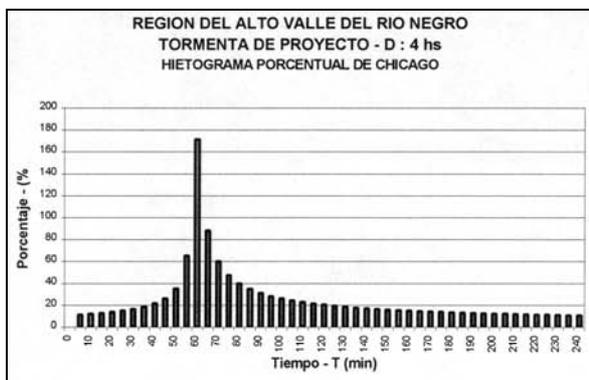
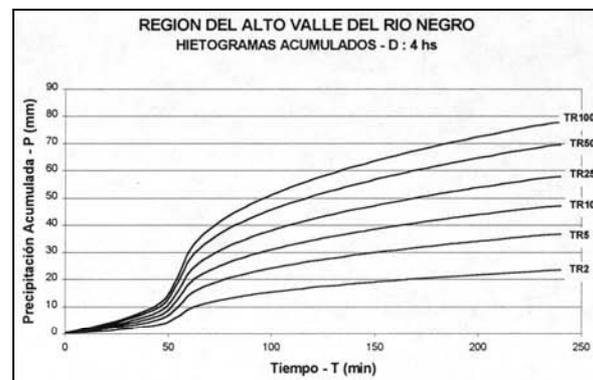


FIGURA 2



Geomorfología

Geológicamente el área de estudio, está incluida dentro de la cuenca Neuquina y litológicamente pertenece al Grupo Neuquén (*Ramos, 1978*). El mismo está compuesto por una sucesión monótona de areniscas y fangolitas, dispuestas en forma horizontal y subhorizontal. Se apoya en discordancia el Holoceno, representado por gravas de naturaleza volcánica y en algunos casos cementadas con carbonato de calcio.

La Cuenca XVI está dominada al Norte por un relieve mesetiforme con escasa pendiente, denominado Meseta Patagónica Neuquina (*Holmberg, 1978*).

Las condiciones de clima árido, no favorecen el desarrollo edáfico sobre la meseta, la cual está controlada por un horizonte petrocálcico muy superficial, con muy bajos valores de frecuencia de cursos.

La meseta se encuentra limitada por una escarpa de erosión, bastante abrupta, caracterizada por la acumulación de detritos, de procedencia local, movilizados por procesos gravitatorios de remoción en masa complementados por acción hídrica erosiva. Desde la base de la escarpa de erosión, se desarrolla el pedimento de flanco hasta el nivel de base local, que en este caso es el Río Limay.

Es en esta zona de pedimentos, donde se potencian las consecuencias de los fenómenos aluvionales durante las precipitaciones intensas y torrenciales, porque en ella se han emplazado asentamientos espontáneos e ilegales de población, los que hoy se encuentran en situación de riesgo.

Vegetación

La cobertura vegetal presenta formas biológicas altamente xerófilas: arbustos bajos, achaparrados, que presentan adaptaciones muy eficientes al déficit de humedad y los vientos. Son frecuentes las espinas, pelos, resinas y ceras, tallos fotosintéticos y sistemas radiculares profundos. Algunas de las especies dominantes: jarillas, zampa, molle, alpataco, olivillo y algunas gramíneas de poco desarrollo. En general, la cobertura del suelo oscila entre el 10 y el 35%.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el trabajo de campo, se dividió a la cuenca en tres subcuencas. En ellas se tomaron muestras litológicas, en los cauces aguas arriba y aguas debajo de la meseta (ver figura 3) así como en la escarpa de erosión.

Se realizó el reconocimiento de los fenómenos de erosión hídrica y eólica.

Se muestreó la densidad de la vegetación natural.

Se identificaron los procesos desencadenados por la acción antrópica.

En Laboratorio (C.I.M.A.R., Centro Experimental de Minerales Arcillosos Dpto. de Geología y Petróleo), se realizaron los análisis granulométricos y de porcentaje de sedimentos.

En Gabinete se procedió a la interpretación estereoscópica de las fotografías aéreas de la cuenca, se digitalizaron (sistema CAD), y se obtuvieron las áreas de las subcuencas y la longitud de los cauces.

TABLA 4: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS SUBCUENCAS DE LA CUENCA XVI

Subcuenca	A (ha)	H (m)	L (km)	I (%)
1	22,1	60	1,17	5,13
2	10,8	50	0,49	10,16
3	15,1	50	0,83	4,86

A: área de la subcuenca; H: desnivel entre el punto más elevado de la subcuenca con el punto más bajo de la misma; L: Longitud del cauce principal; I: pendiente media del cauce principal.

Principales características físicas de las tres subcuencas:

Subcuenca 1

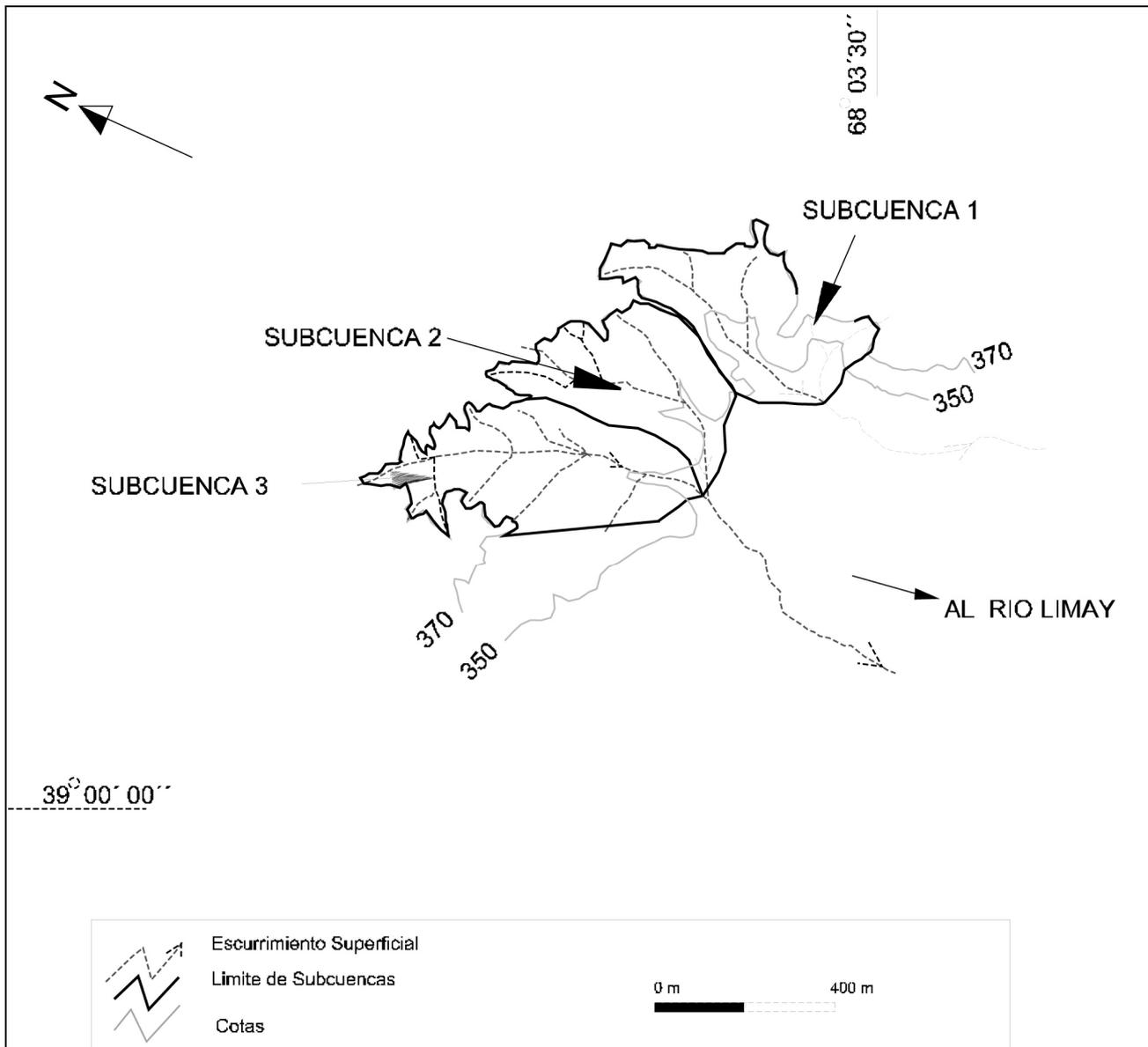
Pertenece al sector Este, es la de mayor superficie (ver Tabla 4) y la menos erosionada, lo que no significa que los procesos erosivos sean de poca importancia.

Cauce: (Muestras M1, M2 y M3 del cuadro N° 1).

El material de arrastre del cauce grada desde grandes bloques de areniscas muy cementadas y consolidadas, de aproximadamente 1m³ y sábulos, principalmente de clastos de cuarzos, mal seleccionados, ubicados en las partes altas, hasta areniscas de grano medio (0.25 mm.), bien seleccionadas. Los sedimentos limo arcillosos también están presentes en un 5% aproximadamente.

Escarpa: Los sedimentos gradan desde grandes bloques a pelitas.

FIGURA 3: CUENCA XVI Y SUBCUENCAS



Subcuenca 2

Corresponde a la parte central, en ella la pendiente es una variable fundamental (ver Tabla 4).

Cauce: (Muestras M4, M5 y M6 del cuadro N° 1) Convergen tres cauces, que acusan saltos de hasta 5 metros de altura cada 3 metros de longitud. Los mismos se deben a la existencia de un estrato de arenisca con un alto grado de cementación, que resiste la erosión hídrica y eólica. Se observan importantes derrumbes de bloques cuyos tamaños oscilan entre 3 y 5 m³. Debido a las pendientes tan pronunciadas, del orden del 25% (Foto N° 1), la vegetación es muy escasa (cobertura areal menor del 35%).

En los niveles inferiores del cauce, el material

acumulado varia desde bloques y sábulos a pelitas, con un neto predominio de psamitas.

Escarpa: Con características similares a la subcuenca 1, también los materiales son de granulometría heterogénea.

Subcuenca 3

Cauce: (Muestras M7, M8 y M9 del cuadro N° 1) El material producto de la erosión ubicado a lo largo del cauce, presenta bloques de aproximadamente 25 m³. También se encuentran sedimentos limosos y arenosos. (Foto N° 2).

En esta subcuenca, existen gravas, producto de la erosión del conglomerado que aflora en la meseta.

Escarpa: Material heterogéneo, mezclado con gravas.

FOTO 1



FOTO 2



CUADRO 1: MUESTREO GRANULOMÉTRICO

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Psefita (%)	72	22	60	20	1	48	42	19	38
Psamita (%)	27	73	35	76	96	46	55	79	56
Limo (%)	1	2	2	2	2	6	1	1	2
Arcilla (%)	1	3	2	2	1	0	2	1	4

Diámetro (mm)	Retenido M1	Retenido M2	Retenido M3	Retenido M4	Retenido M5	Retenido M6	Retenido M7	Retenido M8	Retenido M9
625	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
375	38%	11	34	0	0	24	12	12	20
250	16%	3	11	0	0	1	9	1	6
125	5%	6	6	11	0	11	8	2	3
4	14%	2	10	9	1	11	13	4	9
2	6%	2	3	4	3	5	7	3	8
1	5%	8	3	6	6	4	10	9	10
0,5	2%	20	6	13	21	5	15	15	12
0,25	6%	16	8	15	20	5	8	15	11
0,125	4%	18	8	25	32	14	10	25	10
0,063	3%	10	7	13	14	13	4	13	6
0,044	1%	2	2	2	2	6	1	1	2
Pasante	1%	3	2	2	1	0	2	1	4

Con los resultados obtenidos en el laboratorio de las muestras extraídas en los puntos representativos de las subcuencas, se determina: la textura y densidad aparente, con lo que se establece el tipo hidrológico de los suelos. Resultando en todos los casos del tipo C; con moderadamente alto potencial de escorrentía. Son suelos de infiltración lenta cuando se encuentran muy húmedos.

La combinación del tipo de suelo hidrológico, cobertura vegetal y condición de humedad antecedente, permiten obtener, de acuerdo a la Metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, un valor del índice CN = 80.

Cálculo de la escorrentía

La escorrentía superficial de cada subcuenca, se obtuvo mediante el modelo matemático de transformación lluvia caudal ARHYMO. Este modelo, calcula la escorrentía utilizando la teoría del Hidrograma Unitario Instantáneo y obtiene el mismo, mediante la analogía de Nash de cascada de embalses lineales.

Los datos de entrada del modelo son: los hietogramas acumulados para cada recurrencia (Tabla 3), las características físicas de las subcuencas (área, longitud del cauce principal y pendiente) (Tabla 4), y las propiedades del complejo suelo, cobertura vegetal, asociadas al grupo de suelos hidrológico de cada subcuenca (CN = 80). Los resultados obtenidos se detallan en Tablas 5 y 6.

TABLA 5: CAUDALES MÁXIMOS ASOCIADOS A RECURRENCIAS (m³/s)

Subcuenca	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
1	0,048	0,174	0,334	0,545	0,818	1,034
2	0,022	0,091	0,182	0,303	0,461	0,588
3	0,032	0,123	0,239	0,393	0,594	0,754

TABLA 6: VOLÚMENES DE ESCORRENTÍA ASOCIADOS A RECURRENCIAS (m³)

Subcuenca	V2	V5	V10	V25	V50	V100
1	530,4	1768,0	3071,9	4574,7	6386,9	7779,2
2	259,2	864,0	1501,2	2235,6	3121,2	3801,6
3	362,4	1208,0	2098,9	3125,7	4363,9	5315,2

Cuantificación de la producción de sedimentos

Para la cuantificación de la producción de sedimentos en cada una de las subcuencas, se hace uso del modelo de producción de sedimentos, MUSLE, basado en la hidrología de la cuenca o subcuenca hidrográfica, presentado por *Williams y Berndt (1977)*; cuya base es una modificación a la ecuación universal de pérdida de suelos, USLE.

Los sedimentos producidos se refieren al sedimento total a la salida de la cuenca, para un evento lluvioso determinado. La magnitud de los valores obtenidos permitirá ver la degradación del sector de bardas. El modelo MUSLE se define por la siguiente ecuación:

$$Y = 11,8(Q_{TR}V_{TR})^{0,56}KLSCP \quad (2)$$

Donde: Y : producción de sedimentos en un evento lluvioso (Ton); Q_{TR} : caudal máximo de escorrentía del evento, para determinada recurrencia (m³/s); V_{TR} : volumen de escorrentía del evento, para determinada recurrencia (m³);

K : factor de erodabilidad del suelo (Ton. hora/Newton ha); L : factor longitud de pendiente, adimensional; S : factor grado o inclinación de la pendiente, adimensional; C : factor cobertura y manejo, adimensional; P : factor prácticas de conservación, adimensional.

La obtención de Q_{TR} y V_{TR} se realizó con el modelo ARHYMO. El valor del factor K del suelo se obtuvo en base a la textura (arenosa) y al contenido de materia orgánica en porcentaje (%), obteniéndose un valor de $K = 0,056585$ (Ton. Hora/Newton ha).

El factor topográfico, LS (efecto combinado de la longitud y gradiente de la pendiente), se obtiene multiplicando el factor longitud, L , por el factor gradiente, S . De acuerdo a *Dissmeyer y Foster (1982)*, el escurrimiento superficial usualmente se concentra en menos de 120 m. En estudios realizados para cuencas aluvionales de la Ciudad de Neuquén, se estableció que $L = 90$ m. Considerando las pendientes de las subcuencas y L , se obtienen los siguientes valores de LS :

TABLA 7: VALORES DE LS

Subcuenca	LS
1	0,888
2	2,282
3	1,114

Los factores C y P , se consideran iguales a la unidad por que en las cuencas existe muy escasa cobertura vegetal y no se realizan prácticas conservacionistas.

Reemplazando los valores de los factores respecti-

vos y los de escorrentía para cada recurrencia en la ecuación 1, se obtiene la producción de sedimentos para cada cuenca en toneladas métricas y en toneladas por hectárea (Tabla 8 y 9).

TABLA 8: PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS (Ton)

Subcuenca	Y2	Y5	Y10	Y25	Y50	Y100
1	3,63	14,67	28,79	47,33	71,63	91,21
2	4,04	17,56	35,27	58,64	89,41	114,43
3	2,93	12,24	24,19	39,95	60,69	77,46

TABLA 9: PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS (Ton/ha)

Subcuenca	y2	y5	y10	y25	y50	y100
1	0,16	0,66	1,30	2,14	3,24	4,13
2	0,37	1,63	3,27	5,43	8,28	10,60
3	0,19	0,81	1,60	2,65	4,02	5,13

5. CONCLUSIONES

El resultado de los estudios efectuados, demuestra, que la magnitud de los sedimentos movilizados por aluviones, en la Cuenca XVI (en ocasión de lluvias torrenciales), se ve claramente reflejada en el acelerado proceso de degradación y pérdida de suelo que se produce en estos ambientes.

La transformación se ve potenciada por acción antrópica, ya que los cambios en el uso del suelo provocados en este medio inestable, han reactivando y magnificado

procesos erosivos, que favorecen el lavado e impermeabilización de suelos y aumentan, por ende, la escorrentía superficial.

Para controlar y/o revertir la actual tendencia degradatoria, es necesario planificar un apropiado manejo en las subcuencas, que contemple acciones y trabajos de corrección mediante obras civiles, bioingenieriles, tratamiento de la vegetación, y regulación de actividades humanas. Con ello se logrará disminuir substancialmente el riesgo que implican las avenidas aluvionales en el sector y en barrios aledaños ubicados aguas abajo.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

C.I.M.A.R CENTRO EXPERIMENTAL DE MINERALES ARCILLOSOS.

Dpto. de Geología y Petróleo, Facultad de Ingeniería, Universidad nacional del Comahue.

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA. 1988.

Carta de Oferta del Medio,
Universidad Nacional del Comahue, y no pp.

FOSTER C.R., 1982.

Modelling soil erosion, on hydrologic modelling of small watershed.
American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, pp. 297-399, Michigan.

HOLMBERG E., 1978

Rasgos Geomorfológicos.
En Relatorio VII Congreso Geológico Argentino. Editado por la Asociación Geológica Argentina. pp.119-128 Neuquén.

MAZA J.A., FORNERO L.A. LITWIN C.J. Y FERNÁNDEZ P.C. 1996.

Modelo ARHYMO - Versión 2. INCYTH -
Centro Regional Andino, Mendoza.

MUNICIPALIDAD DE LA CIUDAD DE NEUQUÉN., 1998.

Plan Urbano Ambiental del Neuquén. y no pp.

RAMOS V., 1978.

Geología del Neuquén.
Relatorio del VII Congreso. Geológico Argentino. pp.119-128. Buenos Aires.

RAPACIOLI R.A., 1997.

Modelo de Intensidad de Precipitación para la Región del Alto Valle del Río Negro.
Actas del Congreso del Agua San Martín de los Andes Neuquén, y no pp.

ROBY H.O., 1980.

Determinación de la Escorrentía a partir de la Precipitación sobre una Cuenca, Metodología del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos.
Traducción y adaptación. INCYTH - Centro Regional Andino, Mendoza.

WILLIAMS J.R. Y BERNDT H.D., 1977.

Modelo MUSLE. Sediment yield predictions based on watershed hydrology.
Transaction of the ASAE. pp. 1100-1104, Michigan.

WISCHMEIER J.R. Y SMITH W. H. D.D., 1978.

Predicting rainfall erosion losses.
USDA-Agricultural Handbook N° 537.



Metodología ajustada del diagnóstico de afectación ambiental de las aguas subterráneas

Pdo. de Escobar, Pcia. de Buenos Aires

Santa Cruz, Jorge N.¹ - Fresina, Mirta E.² - Silva, Adrián A.¹ - Olivares, Oscar R.³

Resumen

El diagnóstico ambiental del recurso aguas subterráneas en regiones de intensa y variada actividad humana, constituye uno de los factores determinantes en la gestión medioambiental de extensas zonas del conurbano bonaerense y alrededores.

El área de trabajo propuesta corresponde a las cuencas inferiores de los Ríos Luján, Escobar y Garín y sus afluentes relacionados, incluidas en el Partido de Escobar. Esta área se ha considerado como "área piloto" para la implementación y desarrollo de una metodología apta para la región Pampeana Húmeda.

La metodología propuesta permite abordar aspectos relacionados a los modos de ocurrencia, características, calidades de las aguas subterráneas y su relación con los factores humanos como el uso de suelos, uso del agua, entre otros, considerados condicionantes de su deterioro.

Además se propone una metodología que puede considerarse como la base de estudios más detallados de gestión del medio ambiente en áreas urbanas y suburbanas.

1. GENERALIDADES DEL ÁREA

La región estudiada se encuentra ubicada a orillas del Delta del río Paraná a unos 50 km al NO de la Ciudad de Buenos Aires, abarca unos 316 km² y cuenta con una población de 150.000 habitantes.

Comprende un sector continental que está sobre la cota de 25 m s.n.m. y otro insular por debajo de los 5 m s.n.m.

Las actividades practicadas son: industriales, agropecuarias, comerciales, de servicios y urbana.

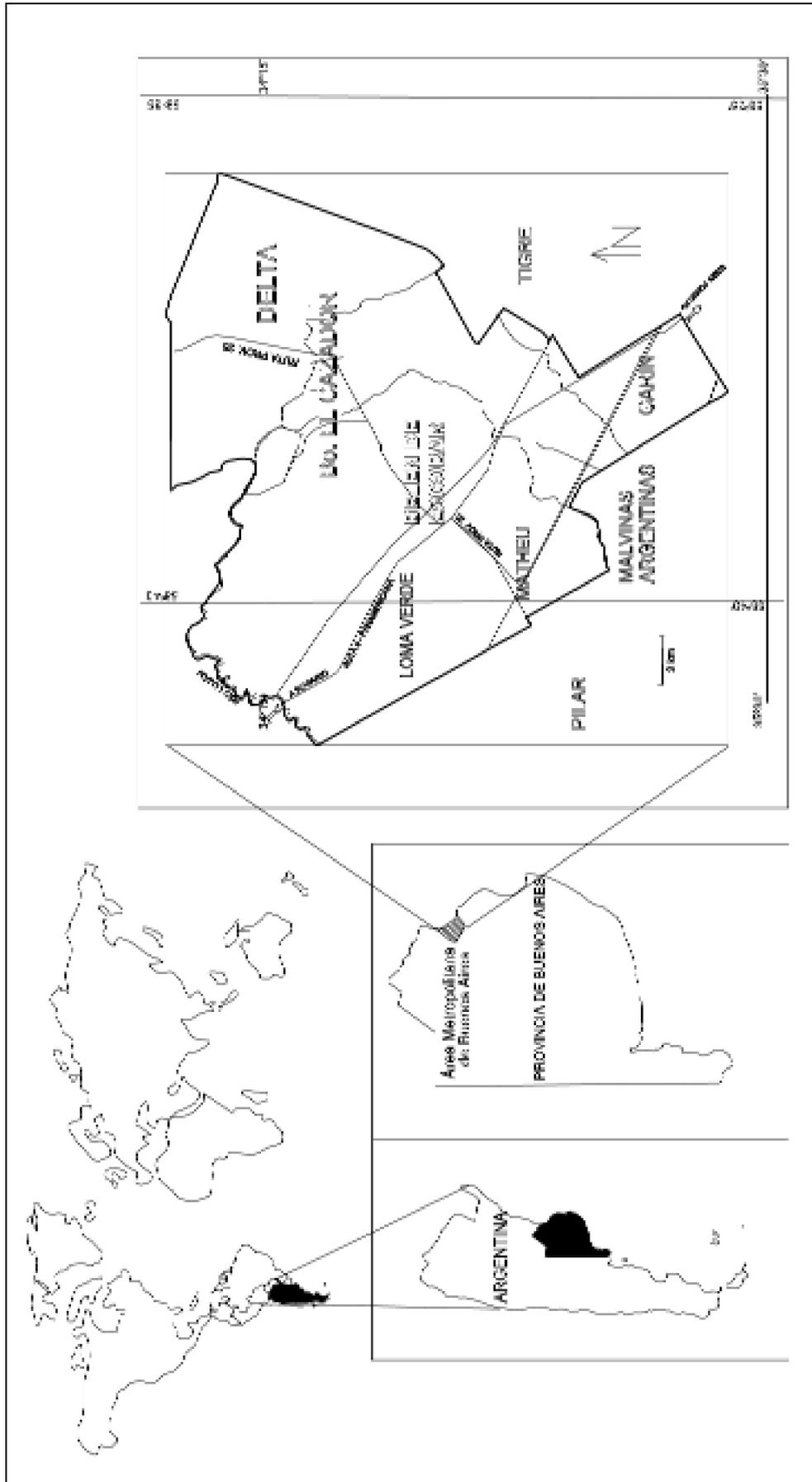
El partido de Escobar está situado a 50 km al NO de la Ciudad de Buenos Aires. Su ubicación al comienzo del Delta del río Paraná le otorga características ambientales especiales, con amplias áreas verdes, aún sin acción antrópica, Figura 1. Ocupa 316 km² entre el sector continental e insular. Cuenta con 150.000 habitantes distribuidos entre una sección insular y seis centros urbanos continentales: Barrio Parque El Cazador, Matheu, Ing Maschwitz, Parque Alta Vista, Garín y Belén de Escobar, en donde se encuentra concentrada toda la actividad Municipal.

La población insular se provee directamente con agua superficial previo tratamiento casero con filtros de arcilla, el recurso hídrico subterráneo es la única fuente de

Entregado: 30 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 17 de Noviembre de 1999

1. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Programa de Desarrollo de Tecnologías Sustentables en Aguas Subterráneas, I.N.A., Argentina.
2. Departamento de Ciencias Geológicas, F.C.E.y N., U.B.A., Argentina.
3. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

FIGURA 1: AREA DE ESTUDIO. PARTIDO DE ESCOBAR



abastecimiento de agua de la población continental. Solamente la ciudad cabecera cuenta con 16 perforaciones que abastecen a la red de agua potable (también es la única con servicios cloacales), el resto cuenta con perforaciones propias, que frecuentemente por su uso y mala construcción, se van deteriorando. Por tal motivo su preservación y uso racional resultan de fundamental importancia. Las diferentes actividades agrícolas, industriales y de urbanismo hacen a la diversidad de los problemas de contaminación de los acuíferos. Cabe mencionar que el partido posee un alto déficit de servicios sanitarios y planificación urbana lo que lo ubica con un alto riesgo del recurso. Además al ser una zona de gran expansión urbana y carente de un Ordenamiento Territorial, es un usuario importante del recurso suelo.

La región cuenta con un clima húmedo, con una precipitación de 1020 mm/año, una temperatura de 16 °C, una evapotranspiración potencial de 795 mm/año, lo que da un exceso hídrico de 225 mm/año, repartidos entre el escurrimiento superficial y la infiltración, distribuidos de abril a noviembre.

La geomorfología del área está enmascarada y en parte modificada por la gran urbanización. También la red de drenaje fue alterada con la canalización y/o entubado de los cursos de agua. Esto ha modificado el funcionamiento natural del sistema en su totalidad.

La cota más alta del sector continental es de 25 m s.n.m. y el sector insular está situado en la cota de 5 m s.n.m.

Regionalmente corresponde a la unidad fisiográfica denominada "Pampa Ondulada" y está atravesada por la cuenca inferior del Río Luján y por pequeñas subcuencas afluentes de este último, siendo una típica red hidrográfica del Área Metropolitana.

Sobre este marco general, siguiendo a *Sala et. all.*, 1972, es posible realizar una distinción más detallada desde el punto de vista morfológico y dividir el área en tres sub-unidades o ambientes: la llanura alta, intermedia y baja.

Llanura Alta:

Es una zona de escasa pendiente, apenas elevada con respecto al resto del paisaje. Está poco representada en el área, limita con la llanura intermedia, se presenta como remanente en los interfluvios, con bordes irregulares producto de la erosión retrocedente de los afluentes del Luján y escasa red de drenaje superficial.

Llanura Intermedia:

Es la mejor representada en el área, consiste en una alternancia de lomadas bajas y valles amplios con mayor pendiente y una red de drenaje bien integrada.

Llanura Baja:

Comprende una franja de 500 m de ancho aproximado a lo largo de ambos márgenes del Luján, que se va ampliando hacia la desembocadura hasta tomar contacto con el Delta del Paraná. Integran esta sección los Arroyos Escobar y Garín, afluentes importantes de tipo permanente. Se diferencia de la unidad anterior "por su carácter francamente inundable" (Sala et. all. op.cit.).

El área está incluida en la porción inferior de la Cuenca Hídrica del Río Luján. Este es el sistema hídrico más importante del Gran Buenos Aires, con una superficie total de 2940 km², recorre 128 km antes de verter sus aguas al Río de la Plata, su caudal medio es de 5.37 m³/seg y su pendiente media es de 0.44 m/km, aproximadamente.

La cuenca tiene una forma rectangular y el diseño de la red de drenaje es también rectangular. La porción inferior tiene aproximadamente 60 km de longitud y se extiende desde su intersección con la ruta N° 8 hasta su desembocadura en el Río de la Plata. En este tramo el río se ensancha, profundiza y favorece la navegabilidad. Se observan amplios bañados en la llanura aluvial por falta de pendiente y por su irregular avenamiento. Su régimen es irregular, se alimenta de lluvias, las crecientes son rápidas y pronunciadas con ocurrencia en otoño y primavera, los estiajes son en invierno.

Al partido de Escobar le corresponde del total de la cuenca una superficie de 180.4 km² que incluye, entre los más importantes, los arroyos Burguenio y Pinazo que en su confluencia dan origen al Arroyo Escobar y al Arroyo Garín, ambos afluentes del Río Luján en su margen derecha. Estos afluentes son de carácter permanente, con cuencas de tipo rectangular y diseño de red de drenaje homónimo y en los tramos finales dendrítico e irregular, son efluentes y por falta de pendiente, en ambos se han realizado obras de canalización para facilitar su escurrimiento.

La cuenca del río Luján se ve afectada por inundaciones periódicas y aperiódicas producto de las crecidas Paraná-Plata y por el aumento de las precipitaciones.

El área presenta suelos propicios para el desarrollo de actividades agropecuarias (Argiudoles), con la presencia de un horizonte superficial potente (mayor de 20 cm) con abundante materia orgánica y óptima capacidad de intercambio catiónico. También son factibles las explotaciones mineras de "tosca" (calcretes y loess). Estas actividades favorecieron el asentamiento humano y el desarrollo industrial de la zona.

La secuencia estratigráfica de la región es relativamente sencilla. Podría resumirse en una pila sedimentos, en general continentales, que se apoyan sobre un basamento cristalino fracturado.

Se describen las distintas unidades geológicas conocidas en el área por perforaciones existentes, tanto de

subsuelo como de superficie, comenzando por la más antigua, Figura 2.

Basamento Cristalino:

Es la base del sistema, conforma la unidad más antigua reconocida y está integrada por rocas acuífugas metamórficas y plutónicas precámbricas, cuarcitas y dolomitas paleozoicas y efusivas básicas jurásicas-cretácicas. Alcanza la cota -286 m b.n.m. Las mismas carecen de porosidad primaria, o sea que no almacenan ni transmiten agua, salvo que adquieran porosidad secundaria debido a episodios epigenéticos. Presentan diaclasas, planos de estratificación y esquistocidad que le dan una permeabilidad regional de magnitud desconocida.

Formación Olivos:

Sobre el basamento se depositaron los sedimentos conocidos como "El Rojo" de Groeber, integrado por areniscas y arcillas de color castaño a rojo portadoras de geodas de ópalo, con intercalaciones calcáreas conglomerádicas y abundante yeso y anhidrita de origen continental, con límite superior en los -240 m b.n.m. Su edad corresponde al Mioceno Inferior.

Formación Paraná:

Luego de la depositación de los sedimentos de la Formación Olivos, un extenso mar cubrió en el Mioceno gran parte de la llanura Chaco-Pampeana depositando los grandes espesores de sedimentos de ésta formación correspondiente al "El Verde", según Groeber (1945) o "Mioceno Verde". Está integrada por arcillas verdes azuladas con intercalaciones de areniscas amarillentas, niveles calcáreos compactos y restos fósiles marinos, encontrándose su techo entre los -90 m y -50 m b.n.m. Se le asigna edad Mioceno Superior.

Formación Puelches:

Con el retiro del mar paraniano hacia el sudeste, se crearon las condiciones para la formación de un gran sistema fluvial, desarrollado sobre los depósitos dejados por este mar y proveniente en última instancia del área cratónica brasilera.

Conforme se producía el retroceso del mar, avanzaban extensos canales, en algunos casos de gran profundidad, que transportaban y depositaban sedimentos que lateralmente se interdigitaron, dando origen a un depósito excepcionalmente continuo.

Conforman una secuencia de arenas cuarzosas, castaño amarillentas a blanquecinas de gran selección granulométrica y composicional con intercalaciones arcillosas de variado espesor.

El techo de esta formación se encuentra a profundidades que varían alrededor de los -35 m a -120 m aproximadamente b.n.m. y el espesor total entre 20 m y 40 m, pudiendo alcanzar espesores de hasta 100 m. Su edad es Plio-Pleistoceno Inferior.

Pampeano:

Bajo esta denominación se agrupa a las Formaciones Ensenada y Buenos Aires, o Ensenadense y Bonaerense, siendo las dos unidades muy similares y en algunos casos de difícil separación. Actualmente se agrupa a este conjunto como "sedimentos pampeanos". Abarcan gran parte de la llanura Chaco-Pampeana, con potencias que varían entre 15 m y 30 m, pudiendo alcanzar hasta 100 m. Son depósitos medianos a finos, limos y arcillas, de color castaño con tonalidades amarillentas a rojizas, con intercalaciones calcáreas concrecionales o de tipo mantiformes (tosca). Su edad se asigna al Pleistoceno.

En gran medida, corresponden a sedimentos transportados por el viento desde la cordillera, ya elevada para esa época, desde los llanos secos y poco vegetados que se formaron hacia el este de la misma. Inmensas nubes de polvo y trizas vítreas de los volcanes cordilleranos alcanzaron a depositarse hasta el Atlántico, dando origen al denominado "loess pampeano", que fue retrabajado por los cursos de agua redepositándolos en cauces y planicies costeras, hasta la actualidad.

En la base de esta unidad se suele encontrar una arcilla limosa de color gris verdosa, con espesores que varían entre 1 m y 5 m y que constituye su límite con las Arenas Puelches.

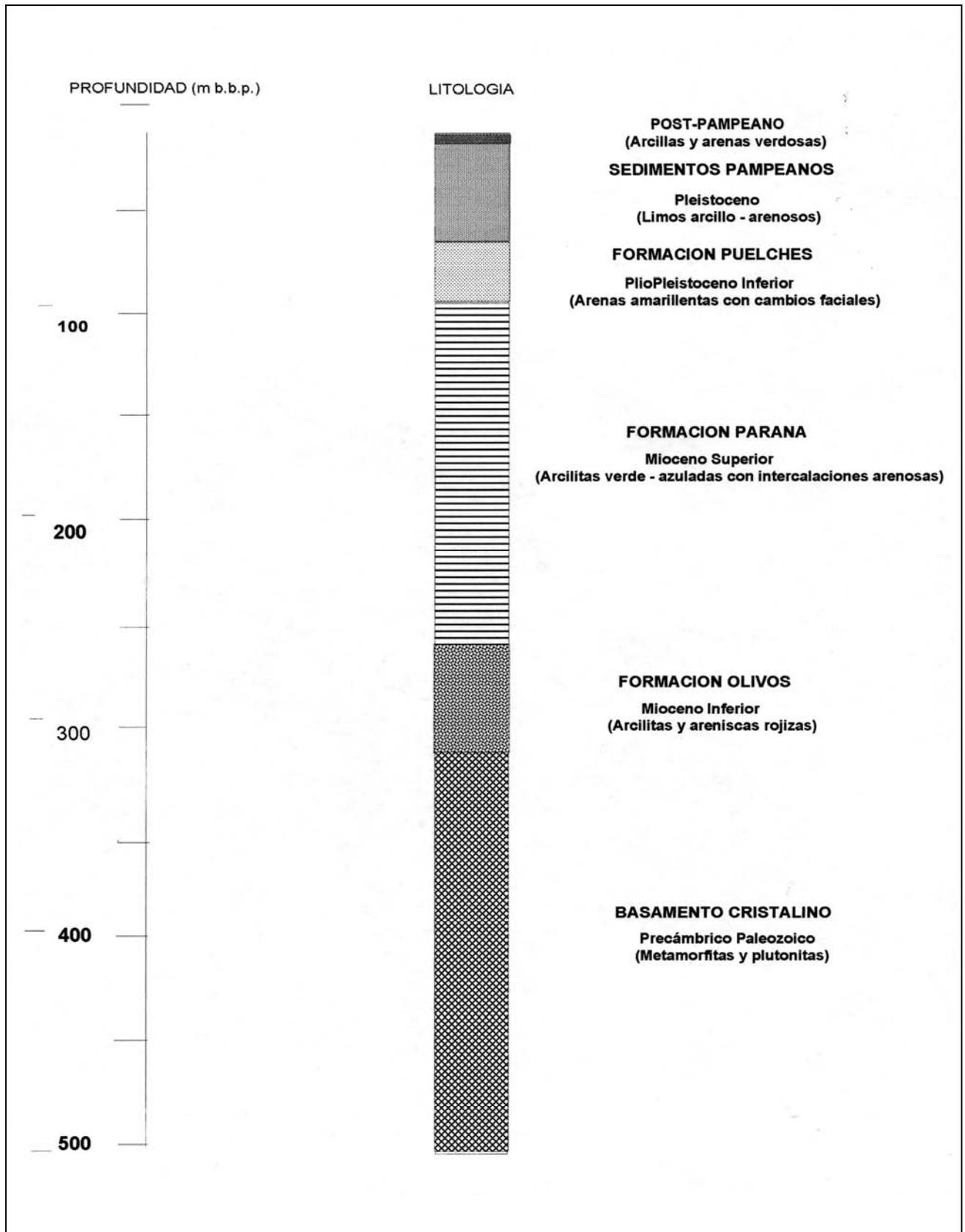
Post-Pampeano:

Son los depósitos más modernos que los pampeanos que abarcan desde el Pleistoceno Superior hasta la actualidad. Su origen es variado. En general, predomina el tamaño de grano fino, limos y arcillas de colores grises y verdosos y algunos cordones conchiles y conglomerádicos calcáreos depositados durante la última ingresión marina, hace unos 6000 años atrás, que inundó completamente el estuario del Río de la Plata. Las acumulaciones Post-Pampeanas son discontinuas arealmente y se las encuentra en los valles de los ríos depresiones interiores y zona costera del Río de la Plata.

En el área están representados el Lujanense y el Platense.

El Lujanense está integrado por sedimentos fluvio-lacustres que provienen de la erosión de facies más antiguas. Sus depósitos ocupan el fondo de cauces y depresiones. Está formado por sedimentos limos arcillosos de color gris y verde, ricos en sales, principalmente sulfatos y cloruros. En algunos sectores de la terraza baja de arroyos y ríos,

FIGURA 2: PERFIL TIPO. PARTIDO DE ESCOBAR. PROV. DE BUENOS AIRES



aparecen las arcillas grises con abundantes conchillas depositadas durante la ingresión querandínense (Ao. Garín). Se las encontró en perforaciones hasta la cota de 10 m s.n.m.

El Platense, son depósitos costaneros, limo arenosos, de color pardo amarillentos y calcáreos que cubren parcialmente al Lujanense.

La descripción hidrogeológica se inicia por las unidades más modernas pues son las que poseen la vinculación más directa con la fase atmosférica y superficial del ciclo hidrológico.

De acuerdo a la geología descrita y teniendo en cuenta su comportamiento hidrogeológico se diferencian tres grandes secciones o unidades hidrogeológicas apoyadas sobre el Basamento Impermeable o Hidrogeológico, denominándose: 1. Sección Superior: Epipuelches, 2. Sección Media: Puelches, 3. Sección Inferior: Hipopuelches.

Dentro de ellas se distinguen paquetes sedimentarios acuíferos, acuitardos y acuicludos.

1. La Sección Epipuelches, está alojada en sedimentos del Pampeano y Post-pampeano, distinguiéndose dos capas acuíferas, una libre (freática) y la otra, semiconfinada. Recibe recarga meteórica y es la única fuente de recarga y descarga del Acuífero Puelches, mediante la infiltración vertical.

Su techo acompaña la morfología de la superficie, se la encuentra entre los 4 m y 30 m de profundidad.

La primera capa semiconfinada está limitada, en su techo y base por sedimentos acuitardos. Se encuentra a profundidades de entre 15 m y 40 m, dependiendo de la topografía del terreno.

Las perforaciones domiciliarias se hacen a este nivel.

2. La Sección Puelches, está alojada en las "Arenas Puelches", se trata de un acuífero multicapa y de fácil acceso mediante perforaciones, se lo encuentra a profundidades que varían entre 35 m y 56 m.

En el partido, la red pública explota este nivel. Es la segunda sección semiconfinada, su base son los sedimentos acuicludos de la Formación Paraná (arcillas verdes), que limitan la filtración vertical descendente. Su techo, son sedimentos acuitardos que permiten una conexión hidráulica con la Sección Epipuelches, con posibilidad de permitir la recarga del acuífero y eventualmente el paso de los contaminantes.

3. La Sección Hipopuelches, se encuentra alojada en su porción superior en sedimentos de la Formación Paraná, en parte acuicludos y en parte acuitardos, con finas intercalaciones acuíferas y en los sedimentos continentales e la Formación Olivos, portadora de capas acuíferas y acuicludas. La sección posee altos contenidos salinos (7 a 60 g/l, Sala *op. cit.*). En algunos sec-

tores donde es más pronunciado el agotamiento o salinización del Puelches es explotado para consumo industrial.

2. METODOLOGÍA

Introducción

El Partido de Escobar presenta una creciente actividad industrial, comercial, agropecuaria, turística y urbana. Las industrias de la zona están concentradas en su mayoría en las localidades de Belén de Escobar (industrias pesadas) y Garín (con mayor mano de obra).

La actividad agropecuaria fue en su comienzo extensiva, cultivos de cereales, oleaginosas y en ciertos sectores, ganadería. Con la llegada de los inmigrantes (italianos, portugueses, bolivianos y japoneses), se pasó a la agricultura intensiva: viveros y quintas de hortalizas. Otra actividad actualmente en expansión, es la construcción de barrios privados (Country's), importante por las modificaciones al uso del suelo. Faltan ubicar: áreas naturales, canteras de "tosca", hornos de ladrillos, las oquedades producidas por estas dos últimas actividades, que cuando fueron abandonadas, se rellenaron con basura.

Para tomar conocimiento del área y poder así establecer la metodología final a seguir, se construyó un mapa de usos de suelo y se tomaron muestras de agua, de perforaciones al acuífero Pampeano y al acuífero Puelches, principales fuentes de abastecimiento en la región.

Como el reservorio de aguas subterráneas de la región, presenta límites poco definidos y la velocidad de circulación de sus aguas puede ser muy lenta, por tratarse de una zona de descarga, cada captación muestreada se consideró como puntual.

Plan de Tareas

Considerando que, la relación entre el contaminante que produce una cierta actividad y la hidrodinámica subterránea contribuyen a la evaluación de las características del deterioro de un acuífero, se estableció el siguiente plan de tareas, actualmente en ejecución:

- Aspectos físicos:*
1. Climáticos
 2. Geológicos
 3. Hidrogeológicos
 4. Suelos

- Aspectos químicos del agua:*
1. Inventario
 2. Obtención de parámetros
 3. Indicadores

- Aspectos informáticos:*
1. Base de datos
 2. GIS

- Aspectos territoriales:*
1. Mapa fisiográfico
 2. Mapa de industrias categorizadas
 3. Mapa de usos del suelo
 4. Mapa de usos del agua
 5. Mapa de potenciales zonas de riesgo por actividad industrial
 6. Mapa de isoconcentraciones
 7. Mapas hidrogeoquímicos
 8. Mapas hidrogeológicos
 9. Mapas de vulnerabilidad
 10. Mapa de riesgo potencial
 11. Otros
 12. Modelo conceptual

Aspectos físicos:

1. Climáticos

Balance Hídrico

2. Geológicos

Establecimiento del marco geológico: descripción de la geología del subsuelo desde el punto de vista hidrológico, construcción de perfiles sedimentológicos, medición de porosidad y permeabilidad, cortes geoeléctricos.

3. Hidrogeológicos

Determinación de las características hidrológicas: Cálculos de infiltración, medición de la Permeabilidad horizontal y vertical, Transmisividad, Coeficiente de Almacenamiento, velocidades, y dirección del flujo. Análisis isotópico.

4. Suelos

Investigación de la contaminación en suelos y zona no saturada.

Análisis de suelos: a) identificación de perfiles y tipos de suelos, b) Determinación en cada muestra de: pH, conductividad eléctrica, fósforo, carbono oxidable, nitrógeno total, Ca, Mg, Na y K intercambiables, CIC (capacidad de intercambio catiónico), c) Textura: porcentaje de arcilla, limo y arena. Clase textural d) Confeción de la Base de datos.

Instalación de tensiómetros y tensiómetros de succión: muestreo.

e) química de suelos.

Aspectos químicos del agua:

1. Inventario

Inventario de perforaciones.

Muestreo de pozos y cursos superficiales.

Relevamientos de fuentes de contaminación potencial.

2. Obtención de parámetros

Obtención de parámetros físico-químicos en el campo y en el laboratorio: a) inorgánicos: conductividad eléctrica, pH, potencial redox, temperatura, residuo seco, alcalinidad total, oxígeno disuelto, dureza, sulfatos, cloruros, carbonatos, sodio, potasio, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, fluoruros, manganeso, silicio, arsénico, hidrocarburos totales, cadmio, cinc, cobre, cromo, hierro, plomo, níquel, mercurio y litio b) orgánicos: aceites y grasas, detergentes y fenoles, b3) plaguicidas y herbicidas, c) biológicos: TOC, DBO, DQO, bacteriológicos.

3. Indicadores

Seleccionar indicadores de contaminación.

Aspectos informáticos:

1. Base de datos

Conjuntamente con la cartografía temática se desarrollan las bases de datos. Se han diseñado dos bases de datos que se relacionan: una es la base de datos de actividades económicas, potencialmente riesgosas para el ambiente, la otra es la base de datos de aguas subterráneas y superficiales.

Para el trabajo con base de datos se necesita un gestor, un programa que organiza la información en tablas, campos y registros, fichas de relevamiento, informes y gráficos. Uno de los componentes del sistema que más problemas presenta, son los datos que, en muchos casos, están fraccionados, confusos, duplicados, desactualizados, etc. Ello significa que es importante contar con buenas campañas de relevamiento y criterios estandar en las notaciones, denominaciones y uso de unidades.

La Base comprende los siguientes datos: agricultura, ganadería, industrias, localización de establecimientos agrícolas, localización de criaderos, localización de industrias, localización de talleres y estaciones de servicios, puntos de muestreo asociados, vertido de residuos líquidos urbanos, talleres y estaciones de servicio.

Además permite la incorporación de certificados de radicación de empresas, código de actividades, categorías de riesgo, efluentes líquidos, infraestructura de servicios, materias primas, productos, tipo de residuo generado.

También existen tablas con códigos que vinculan las tablas principales y permiten realizar consultas, informes y gráficos.

2. GIS

En ambos casos las bases de datos manejan códigos y coordenadas, lo cual completa los tres

requisitos para organizar un SIG: mapa, georreferenciación y base de datos.

Desde el punto de vista metodológico, es inevitable tener en cuenta el uso de los Sistemas de Información Geográfica.

En el campo se utiliza el GPS (Geoposicionador satelital) para asignar coordenadas geográficas y mantener la información georreferenciada.

Aspectos territoriales:

La cartografía temática tiene una participación importante, por ser la herramienta utilizada para producir documentos cartográficos que tienen por finalidad orientar, planificar y apoyar la toma de decisiones vinculadas a la gestión del recurso agua subterránea entre otros.

1. Mapa fisiográfico

Se han utilizado cartas topográficas a escala 1:50.000, hojas Escobar, Campana Sur, Canal Gdor. Arias, Pilar. Se usan las imágenes satelitales a escala 1:50.000 coincidentes con las cartas mencionadas y fotos aéreas a escala 1:20.000. También se realiza un trabajo de campo consistente en el reconocimiento de las unidades identificadas. Se plotean a escala 1:50.000 en hojas transparentes, las curvas con equidistancia 2.50 mts. de las cartas a escala 1:100.000, lo cual sirve de apoyo en la etapa interpretativa.

2. Mapa de industrias categorizadas

El mapa de industrias categorizadas de Escobar, es el resultado de procesar los datos obtenidos de la Municipalidad. Mediante el uso de un gestor de base de datos se organizó la información que se hallaba sumamente confusa. Posteriormente se asignan coordenadas Gauss-Kruger a cada industria y toda la información se digitaliza. El Municipio ha categorizado a las industrias según diversas características (cantidad de empleados, tipo de producción, procesos, planta de tratamiento, etc). Las tres categorías determinadas permiten hablar de riesgo potencial refiriéndose a industrias poco riesgosas, de riesgo intermedio y altamente riesgosas (1, 2 y 3 respectivamente).

3. Mapa de usos del suelo

Para realizar el Mapa de usos del suelo del partido de Escobar, se sintetizaron datos de las fotos aéreas escala 1:20.000, cartografía del área ya mencionada, listados de actividades y trabajo de campo. El mapa que se presenta será mejorado con el ajuste por manzanas.

Este mapa es básico para la toma de decisiones, sobre todo cuando se lo relaciona con otros mapas de isoconcentraciones de diversos contaminantes. Varias estadísticas serán obtenidas posteriormente cuando este mapa se vincule con una base de datos, de la cual

se comentarán sus características más adelante. Este vínculo entre bases de datos y mapas se denomina sistema de información geográfica (SIG) y permite la gestión de la información y los recursos.

4. Mapa de usos del agua

Elaboración del mapa de usos del agua.

5. Mapa de potenciales zonas de riesgo por actividad industrial

Este es el ejemplo que se presenta en la Figura 3. Los datos surgidos de los listados municipales permitieron alimentar una planilla donde cada industria tiene dirección con calle y número, además de coordenadas Gauss-Kruger. Esto permite ubicar a las industrias como puntos con valores 1, 2 y 3, quedando un conjunto de datos conformado por x, y, z ; donde x e y son las coordenadas y z la categoría.

Los datos se ingresan en un programa trazador de isolíneas, el cual trabaja con métodos de interpolación estadística. El resultado es un mapa de zonas de riesgo potencial. De este modo se indica que en dichas zonas, según el tipo de industria, existe un riesgo potencial. Dicho mapa se presenta superponiendo una capa de información correspondiente a los countries y barrios cerrados, a modo de ejemplo, para ilustrar algunos casos conflictivos en los cuales dos usos del suelo incompatibles están muy cerca el uno del otro.

6. Mapa de isoconcentraciones

Isoconcentraciones de diversos contaminantes como nitratos, metales, pesticidas, hidrocarburos totales.

7. Mapas hidrogeoquímicos

Conductimétricos, alcalinidad, dureza, sulfatos, cloruros, etc.

8. Mapas hidrogeológicos

Freatimétricos.

9. Mapas de vulnerabilidad

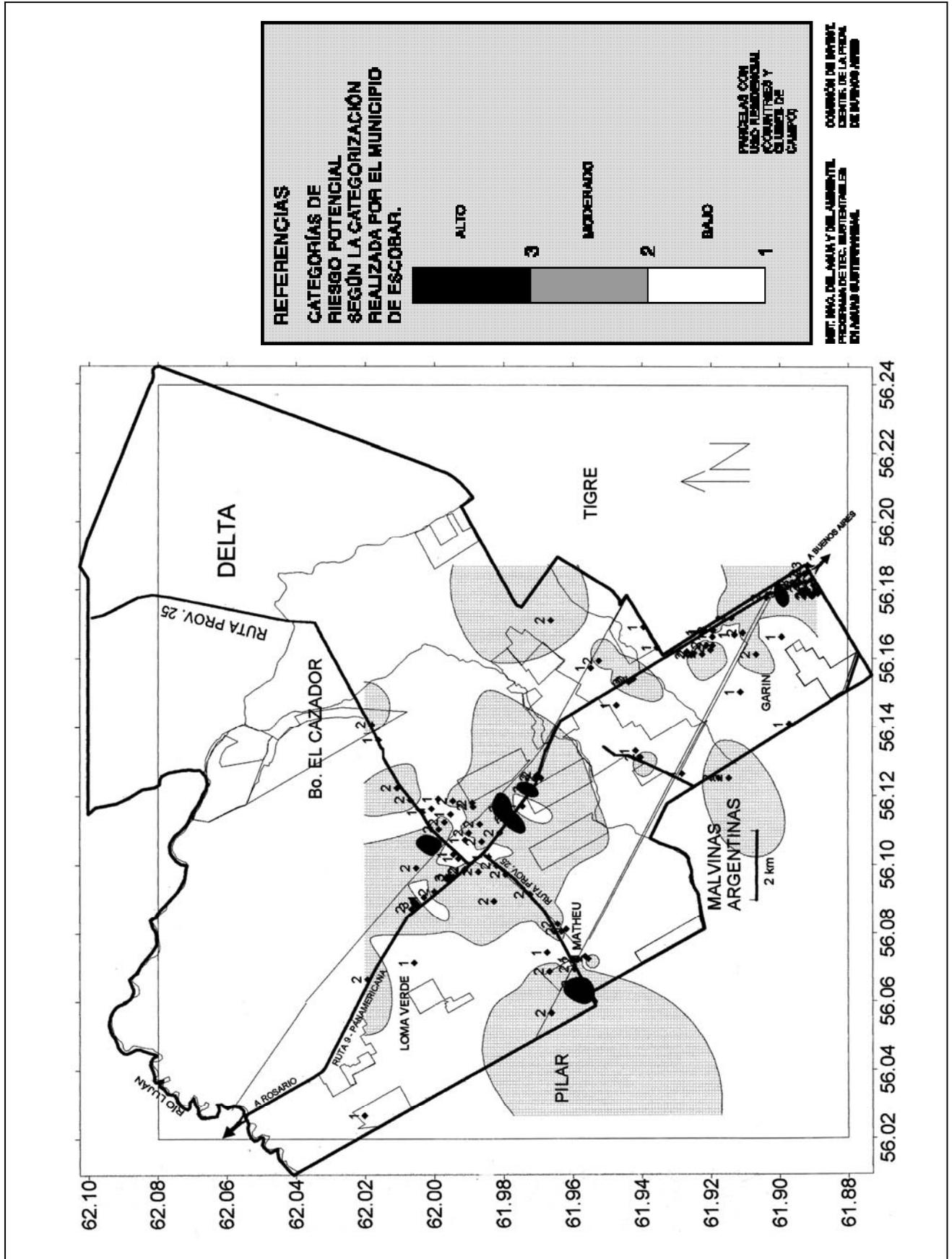
Se refiere, cualitativamente, al grado de protección natural de un acuífero frente a la contaminación. Se la define como un conjunto de características intrínsecas de los estratos que separan la zona saturada del acuífero de la superficie del suelo y que determinan la sensibilidad del acuífero a ser contaminado.

Se ha transformado en un concepto útil que sirve como base para la implementación de políticas de protección de acuíferos, ya que, en la práctica, todos los acuíferos son vulnerables a contaminantes persistentes en el largo plazo.

Diversos autores han realizado esquemas de clasificación desde la década del '70.

En principio, es común caracterizar la vulnerabilidad en base a los siguientes factores, fáciles de

FIGURA 3: MAPA DE CATEGORÍAS DE RIESGO POTENCIAL POR ACTIVIDAD INDUSTRIAL PARA LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS



cuantificar:

- a) grado de confinamiento del acuífero.
- b) características generales (litología, granulometría, grado de consolidación) de la zona no saturada.
- c) profundidad del nivel freático o techo del acuífero con confinamiento.

Se prevee, en una etapa avanzada, preparar un mapa de vulnerabilidad en función de los siguientes parámetros máximos: topografía, textura, recarga neta, zona no saturada, profundidad del agua, hidrogeología y conductividad hidráulica del acuífero.

10. Mapa de riesgo potencial.

Uno de los documentos finales más importantes es el mapa de riesgo potencial; como todo mapa temático se refiere a un tema o variable, en este caso el riesgo potencial. Pero, no obstante, debe aclararse que este documento es más complejo, siendo un mapa de síntesis al cual se arriba luego de elaborar varios mapas temáticos más sencillos.

Tiene por finalidad orientar, planificar y apoyar la toma de decisiones, vinculados a la gestión del re-

curso aguas subterráneas, entre otros.

11. Otros.

También se mapean otras variables de carácter ambiental tales como los basureros viejos y actuales, características de aguas superficiales, etc.

12- Modelo conceptual de flujo de agua subterránea.

Modelo conceptual de transporte: valores críticos, isolíneas, determinación de fuentes contaminantes, mecanismo de migraciones, afectaciones ambientales.

Una característica nueva que se está agregando en algunos mapas es un código de parcela o manzana, el cual podrá ser utilizado posteriormente vinculado con una base de datos.

3. CONCLUSIÓN

La metodología propuesta permite abordar aspectos relacionados a los modos de ocurrencia, características, calidades de las aguas subterráneas y su relación con los factores humanos como el uso de suelos, uso del agua, entre otros, considerados condicionantes de su deterioro.

4. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CENDRERO UCEDA, A, 1987.

Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones.
Naturzale, 12: 2-25. Santander, Cantabria.

FERNÁNDEZ, A. E. Y I. ARENSBURG, 1994.

Grados de Vulnerabilidad del Sistema acuífero del Gran Buenos Aires. Criterios para su Determinación.
II Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Santiago de Chile, Chile, Tomo 1, Pg.: 17-30.

FRESINA, M. E. Y M. M. GUARINO, 1997.

Muestreo de agua subterránea, su importancia para la confiabilidad en los resultados de los análisis físico - químicos y bacteriológicos. Pdo. de Escobar. Pcia de Buenos Aires.
VIII Congreso Geológico Chileno. Antofagasta. Chile. Actas Vol. 1. Sesión Temática 4. Geología Ambiental, Geología Aplicada, Geofísica e Hidrología. Pg.: 690 - 695.

FRESINA, M.E. 1998.

Estado de situación y propuestas de remediación para una planificación ambiental del partido de Escobar, Pcia de Buenos Aires. Argentina.
Encuentro Internacional sobre Gestión Ambiental. San Luis Potosí. México.

SANTA CRUZ, J., A. SILVA E I. ALVAREZ DIAZ, 1996.

Particularidades hidrogeoquímicas de los acuíferos de la formación pampeano en el área de Castex-Montes Nievas, La Pampa, Argentina.
Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, Vol. III.

SILVA A. S., S. AMATO, M. M. GUARINO, O. OLIVARES Y D. VILLEGAS, 1995.

Vinculación entre el uso del suelo y las perturbaciones del acuífero libre.
Primera reunión sobre uso de Suelos y organización de territorio, UNRC, Córdoba, Tomo 1, Pg.: 111-126.

SILVA, A., O. R. OLIVARES Y M. E. FRESINA, 1999.

Afectación del acuífero freático por uso del suelo en la Provincia de Buenos Aires, Argentina.
Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán. Boletín Académico Yucatán. México. Vol. 3, No 1. Aceptado.



Krutexto: un programa para el tratamiento de datos geográficos mediante planillas electrónicas

Tomás, Mónica L.

Resumen

El factor tiempo se ha transformado en la actualidad en uno de los condicionantes fundamentales a la hora de diseñar y preparar mapas temáticos. A menudo, es el proceso de resolver los cálculos matemáticos necesarios para transformar coordenadas, el que más tiempo insume.

Ante esa situación surgió la necesidad de desarrollar un programa de conversión de coordenadas que permitiera pasar de Coordenadas Geográficas a Coordenadas Planas Gauss-Krüger y de Coordenadas Planas Gauss-Krüger a Coordenadas Geográficas. Bajo esa premisa nació KRUGER, programa armado en el lenguaje de programación Turbo Pascal 5.0.

Una de las rutinas de este programa visualiza los datos ingresados y los calculados en planillas propias del sistema, pero es incompatible con las planillas de cálculo disponibles actualmente en el mercado. El auge de la computación y la amplia gama de posibilidades que brindan los software existentes, planteó la necesidad de crear un programa que adapte los archivos generados en el KRUGER a un formato compatible con una planilla electrónica. Se diseñó así el programa KRUTEXTO, el que permite procesar y graficar puntos en coordenadas planas Gauss-Krüger.

1. INTRODUCCIÓN

La República Argentina adoptó para la representación de su territorio nacional, la proyección Gauss-Krüger (Starobinsky, M., 1985; Aguilar, F., 1954; Instituto Geográfico Militar, 1967).

El uso de las fórmulas de transformación de coordenadas, demanda un tiempo y un esfuerzo considerable. Es por ello que se planteó la necesidad de desarrollar un programa de computación que permitiera llevar a cabo con mayor celeridad y exactitud la resolución de un problema tan concreto.

KRUGER (Tomás, M., 1993) es un programa desarrollado en el lenguaje de programación Turbo Pascal 5.0. (Aguilar, L.J., 1990) que facilita la tarea de aquellos hacedores y usuarios de cartografía, apto para ser utilizado en cualquier computadora del tipo IBM-PC o compatible.

Se trata de una herramienta orientada al usuario, que convierte la Transformación de Coordenadas en una tarea rápida y sencilla, apta para ser utilizada dentro de los límites del territorio nacional.

2. FORMAS DE OPERAR CON EL PROGRAMA KRUGER

KRUGER es un programa totalmente flexible y fácil de usar, pudiéndose resumir su operatoria de la siguiente manera:

El primer menú de opciones, permite al usuario

Entregado: 14 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 19 de Noviembre de 1999

Centro de Geología de Costas y del Cuaternario.

Universidad Nacional de Mar del Plata. C.C. 722 Correo Central.
7600 Mar del Plata. e-mail: motomas@mdp.edu.ar

seleccionar el tipo de transformación a efectuar

- a) De Coordenadas Geográficas a Coordenadas Planas Gauss-Krüger
- b) De Coordenadas Planas Gauss-Krüger a Coordenadas Geográficas

Una vez realizada esta selección, KRUGER despliega un segundo menú de opciones, que brinda al usuario la posibilidad de ingresar datos, consultar los mismos o bien obtener una salida impresa.

Ingreso:

Cada conjunto de puntos, es asociado con un nombre de referencia asignado por el usuario.

En el caso que se tratara de asignar a un paquete de puntos un nombre ya existente, KRUGER plantea la posibilidad de reingresar totalmente el conjunto de puntos, o de agregar nuevos puntos.

La transformación se lleva a cabo automáticamente después de ingresar las coordenadas, presentando los resultados por pantalla.

El ingreso de puntos se puede realizar en forma individual o en conjunto, pudiendo de esta forma transformar un único punto o bien un paquete de puntos.

Al presionar ENTER se esta habilitando el ingreso de otro punto. Al presionar ESC se pone fin a éste proceso, generándose un archivo *.dat, con la posibilidad de visualizarlo en una planilla diseñada a tal efecto.

Consulta:

Para consultar el archivo de puntos, KRUGER solicita el nombre del mismo. De existir este, se visualiza en pantalla punto por punto.

Con la flecha de cursor arriba y cursor abajo permite el desplazamiento por todo el archivo, con la posibilidad de modificar o anular puntos erróneos, producto del

factor humano al ingresar los mismos.

Esta operación es realizada en el mismo formato de pantalla.

Listar:

Para el listado o impresión de los puntos, KRUGER solicita el nombre del archivo. Previo testeo de su existencia imprime todos los puntos ingresados y calculados por impresora.

3. INTERCAMBIO DE ARCHIVOS

El archivo generado con el programa KRUGER es un tipo de archivo factible de ser utilizado a posteriori, solamente por el mismo programa.

A partir de esto, se planteó la necesidad de interactuar esa información con otros software existentes en el mercado, mas precisamente con planillas de cálculo.

Ante esa situación se comenzó a desarrollar el programa KRUTEXTO, programa que actúa de nexo, que toma los archivos *.dat generados con el KRUGER y los transforma en un archivo de texto *.txt, totalmente compatible con una planilla de cálculos con todas la posibilidades de graficación que esta ofrece.

4. CONCLUSIONES

KRUGER es un programa que permite consultar, modificar o anular coordenadas de puntos, con mayor rapidez y exactitud que si se lo hiciera manualmente.

El auge de la informática y la necesidad de interactuar información entre los software existentes en el mercado, ha planteado la necesidad de extender las aplicaciones del KRÜGER. En tal sentido, se desarrolló el programa KRUTEXTO que ofrece como producto final, un archivo de intercambio posible de ser capturado por una planilla de cálculo. Abriendo de esta manera toda una gama de posibilidades de edición propias de este tipo de sistemas.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AGUILAR,F., 1954.
Nociones sobre Proyecciones Cartográficas, 40p.p ,
Universidad Nacional de La Plata.
- AGUILAR,L.J., 1990.
Programación en Turbo Pascal.
Versiones 4.0,5.0,5.5..
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, 1967.
Publicación Técnica N° 9, 110p.p.
- STAROBINSKY,M., 1985.
Representaciones Cartográficas, 119p.p.,
Fac. de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.
- TOMÁS, M., 1993.
Kruger-Programa de transformación de coordenadas.
Centro Argentino de Cartografía. Bol.Nº1: 53-55.



Problemas de asentamientos en las construcciones de la ciudad de Tucumán

Valoy, Juan Carlos

Resumen

El trabajo aporta información sobre las causas de los asentamientos ocurridos en numerosas construcciones fundadas en la ciudad de San Miguel de Tucumán, entre los años 1970 y 1990 y los daños resultantes de estos asentamientos.

Se describen los ajustes realizados en las Metodologías de Campo, Laboratorio y Cálculo, usadas en los estudios corrientes, con el objeto de ponderar con mayor precisión los asentamientos.

También se describen los Dispositivos de Fundación que han tenido éxito en cuanto a disminuir los asentamientos.

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras fundadas hasta el año 1960 en la ciudad de San Miguel de Tucumán no tenían grandes solicitaciones.

Los edificios para viviendas, salvo dos o tres excepciones, no superaban las cuatro plantas, al igual que los edificios públicos, aunque éstos eran de mayores luces.

En esta época, ya se habían detectado problemas de asentamientos en estructuras con solicitaciones superiores a $1,3 \text{ kg/cm}^2$ (13 t/m^2); en general, eran edificios públicos de pocas plantas y de grandes luces como los Tribunales provinciales y asentamientos diferenciales con basculamientos incipientes, como el tanque de agua del viejo Hospital Santillán (que recientemente se demolió por irrecuperable y con peligro de colapso total).

Sin embargo, los problemas no estaban generalizados y las estructuras con inconvenientes continuaron en servicio.

En estos años los estudios de suelos eran muy elementales (cuando se los hacía) y la Reglamentación Municipal, tampoco era muy exigente al respecto.

A mediados de los años 60 (1964 - 1965) las construcciones, sobre todo las privadas, tomaron un ritmo vertiginoso y surgieron numerosas estructuras nuevas, que en su mayoría eran edificios entre 5 y 12 pisos.

Estos edificios, se construyeron en el micro y macro centro (dentro de las cuatro avenidas). Por razones comerciales y porque la reglamentación lo permitía se construyeron entre medianeras, es decir, contiguas a construcciones preexistentes de distinta edad y calidad.

A principios de los años 1970, la mayoría de estas estructuras estaban terminadas y un alto porcentaje de ellas (40 al 60 %) sufrió asentamientos desde leves a graves.

A pesar de ello durante toda la década del 70 y parte de los años 80, se siguió construyendo con los mismos parámetros de proyecto y constructivos de la década anterior, la mayoría también se asentaron.

El presente trabajo describe las condiciones en que se produjeron estos problemas, las causas de los mismos y el inventario de soluciones adoptadas o propuestas para solucionarlos.

Entregado: 08 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 18 de Diciembre de 1999

Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán

Dirección Provincial de Vialidad de Tucumán

2. CONDICIONES NATURALES

La ciudad de San Miguel de Tucumán está construida sobre una llanura de suave pendiente hacia el sudeste y tiene como límites naturales hacia el oeste un pie de monte, que baja de la cercana cadena montañosa de rumbo meridional ubicada a solo unos 11 km. del baricentro de la ciudad (Sierra de San Javier). Hacia el norte el terreno sube suavemente hasta portezuelos amplios de baja altura.

En el este, el límite natural es un río de llanura de cauce ancho, que es el principal drenaje natural de la provincia (Río Salí).

Hacia el sur se continúa en una llanura deprimida profundamente avenada por numerosos arroyos y ríos.

La ciudad está fundada sobre sedimentos modernos de naturaleza limosa (ML) y arcillo limosa (CL) producto de la acción hídrica y eólica.

Los primeros 20 - 25 m, que es el espesor mayormente involucrado en las tensiones inducidas por las estructuras civiles, son suelos de baja a moderada compresibilidad, cohesión y densidad (**suelos blandos**).

Intercalados entre estos limos y limos arcillosos de color marrón rojizo aparecen horizontes granulares de poco espesor (0,5 a 1,5 m) son arenas y arenas con gravas que aumentan su participación en el perfil de algunos lugares puntuales, por la existencia de paleocauces soterrados.

También después de los 8 - 9 m se pueden presentar horizontes de limo cinerítico con espesores que no superan los 0,40 m.

Los granulares y la cinerita, salvo puntualmente, no definen el comportamiento geomecánico del perfil general por su espesor y tendencia al acuñaamiento.

El **Nivel Freático** oscila entre -2,0 y -8,0 m con una media de -5,50 m, hacia el norte y oeste de la ciudad la napa desciende por debajo de los 12 m.

En la lámina N° 1 se describe un perfil de suelos clásicos, pertenecientes al macrocentro de la ciudad, hasta una profundidad de 20 m (Perfil Geotécnico N° 1).

Por debajo de estos sedimentos recientes y después de los 20 - 30 m aparece otra columna de sedimentos predominantemente limosos, pero más densos que los 2 anteriores. Esta columna llega hasta los 200 - 250 m, tienen numerosas intercalaciones de sedimentos areno gravosas, que contienen acuíferos de buena calidad y de mucho caudal, en particular hacia la zona sudeste de la ciudad.

Estos sedimentos pertenecen al **pleistoceno** (Formación Tucumán, según *Bonaparte y Bobovnikov - 1974*). Hacia el norte y el oeste estos sedimentos apoyan en sedimentos Terciarios según análisis de perforaciones y datos geofísicos. Hacia el sur y este su espesor es mayor y se desconoce el substrato en que se apoyan.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS Y DEL TIPO DE ESTRUCTURAS AFECTADAS

Los asentamientos de las estructuras mencionadas se los puede agrupar en tres tipos básicos:

3.1. Asentamientos importantes con bajo asentamiento diferencial

- La mayoría de las estructuras afectadas fueron edificios de entre 4 y 10 plantas.
- La magnitud de los asentamientos se ponderaron entre 7 y 22 cm.
- Los daños más frecuentes fueron:
 - Inversión del drenaje local por deformación de pisos.
 - Rotura de ductos de agua, cloacas y puntualmente gas.
 - Daños arquitectónicos y estructurales de las construcciones de planta baja.
 - Daños de leves a severos en las viviendas vecinas, cuando el edificio se construyó entre medianeras.
 - Inconvenientes en el funcionamiento de ascensores.
- Las estructuras no sufrieron daños estructurales importantes.

En general, las estructuras siguieron en servicio con distintos grados de inconvenientes, las secuelas más importantes fueron los numerosos juicios que se plantearon por los daños a propiedades vecinas, algunos de ellos de elevados montos. Otra secuela fue la desvalorización de la propiedad, por el temor de los usuarios a que los daños se exageren con el tiempo.

3.2. Asentamientos importantes con alto asentamiento diferencial

- La mayoría de las estructuras afectadas fueron edificios altos y esbeltos (7 a 12 pisos) y tanques de agua de mucha sollicitación.
- La magnitud de los asentamientos se ponderaron entre 8 y 28 cm y los asentamientos diferenciales entre el 30 y 60 % de los totales.
- Los daños más frecuentes fueron:
 - Todos los descriptos para el primer tipo pero en general de mayor gravedad, en cuanto a la servicialidad de la estructura.
 - Algunos edificios y tanques de agua bascularon, con desplomes muy importantes por lo que quedaron fuera de servicio.

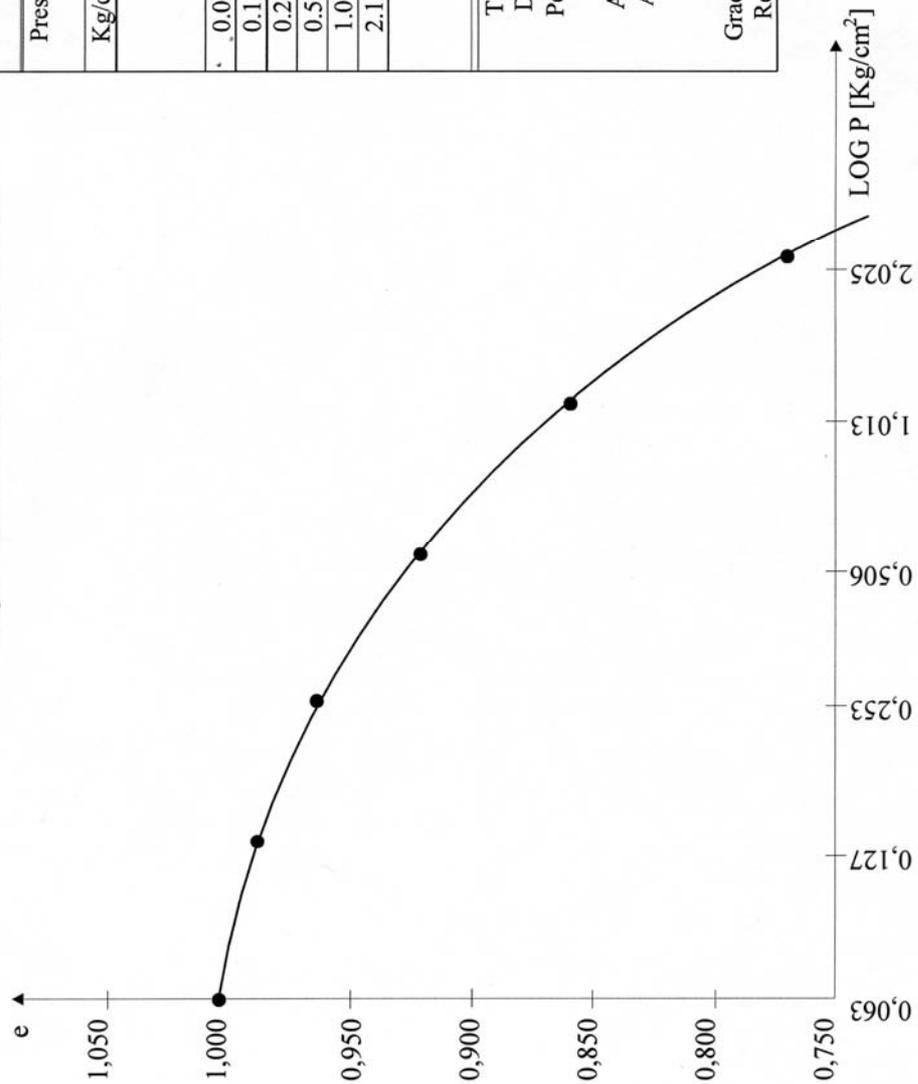
Un alto porcentaje de las estructuras quedó fuera de

LAMINA N° 1: PERFIL GEOLÓGICO N° 1. UBICACIÓN: CIUDAD DE TUCUMÁN. ZONA NORTE

Niv. (M)	Perfil Geológico	Descripción Geotécnica	Clasificación	Humedad %	Den Seca g/cm ₃	Límite de Atterberg	Pasa # 200%	Cohesión	Angulo Fricción	SDT golpes
		Rellenos antrópicos y suelos orgánicos	OL							
1.1		Limo arcilloso rojizo tenaz densidad y humedad moderadas	CL	21,07	1,44	LL=33,50% LP=17,57% IP=15,93%	92,3			9
2.4		Limo blando de humedad creciente con la profundidad	CL-ML	20,19 26,60	1,370	LL=24,14% LP=19,96% IP=4,18%	91,8	C=0,13	24°23'	5 4
4.5		Limo arcilloso de densidad y humedad moderada	CL	22,70	1,41	LL=27,53% LP=16,76% IP=10,77%	86,5			9 7
6.3		Arena gruesa c/clastos de gravas y finos limosos	SM	16,28 19,44	1,76	LL=22,66% LP=14,86% IP=7,8%	32,5	0,025	34°33'	14
7.2		Limo arcilloso tenaz con micro orificios	CL	26,65 28,21	1,516	LL=33,13% LP=19,23% IP=13,90%	93,4	0,110	23°43'	12
8.7		Limo cinerítico	ML	32,45	1,365	N/P	76,5	0,065	16°40'	3
9.2		Limo arcilloso denso con humedad moderada decrece hacia la base	CL	28,77 19,87	1,415	LL=31,40% LP=18,15% IP=13,25%	84,4	0,095	25°50'	13 16
13.0		Limo arcilloso intercalado con arcillas limosas verdes	CL	27,30 34,00 24,70	1,487	LL=30,55% LP=20,07% IP=10,48%	87,5	0,130	20°45'	16 12 18
15.0		Arena gruesa limosa saturada	SM	15,4	1,70	LL=22,2% LP=18,5% IP=3,7%	27,0 30,0	0,070	31°00'	16
16.20		Limos con intercalaciones de arenas finas	CL-ML	24,71	-	LL=26,74% LP=21,51% IP=5,23%	69,0	-	-	17
20.00										

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN. OBRA: EDIFICIO EN ALTURA. LUGAR: CALLE MUÑECAS AL 400 - TUCUMÁN

Ensayo de Consolidación
Obra: Edificio en Altura
Lugar: Calle Muñecas al 400 - Tucumán



Muestra N°5		Pozo N°1		
Origen: Calle Muñecas – Tucumán				
Profundidad: 3,5 – 4,0m				
Presión	Δ Dial	H=H _T -ΔDial Acumulado	Hv=H-Hs	$\frac{E=Hv}{Hs}$
Kg/cm ²	mm	mm	mm	
CARGA				
0.066	0.08	21.92	10.97	1.002
0.133	0.14	21.78	10.83	0.989
0.266	0.26	21.52	10.57	0.965
0.532	0.48	21.04	10.09	0.921
1.063	0.67	20.37	9.42	0.860
2.126	0.99	19.38	8.43	0.770
CONDICIONES INICIALES				
Tipo de muestra.....Limo, Blando.....				
Densidad Seca	g/cm3	δs= 1.319		
Peso Especifico	g/cm3	γ= 2.65		
Altura Total	mm	Ht= 22.00		
Altura Sólidos	mm	Hs= 10.95		
Altura Vacíos	mm	Hv= 11.05		
Altura Agua	mm	Ha= .		
Humedad	%	h= 26.94		
Grado de Saturación	%	S= .		
Relación Vacíos		e ₀ = 1.009		

servicio y dejaron una secuela de daños económicos muy importantes; incluso con implicaciones sociales hasta nuestros días, como el edificio de 11 pisos de calle La Rioja (construido en los años 70), severamente asentado y basculado.

3.3. Asentamientos parciales de las estructuras

Estos asentamientos se verificaron en sectores localizados de las estructuras y por lógica se convierten en asentamientos diferenciales, respecto al resto que no asentó.

El perjuicio más frecuente fue el daño estructural severo en las estructuras, en particular las antiguas.

Estos asentamientos se verificaron mayormente en edificios antiguos de poca altura, de pocas luces (como el local donde funciona el Casino de Tucumán) y en numerosas viviendas particulares antiguas con mampostería alta y pesada.

3.4. Dispositivo de fundación de las estructuras asentadas

Los dispositivos más usados fueron:

- Zapatas de H° A° rectangulares o cuadradas con rios-tras por lo menos en algún sentido
- Zapatas o losas continuas reforzadas con una viga superior.
- Plateas
- Cimientos corridos tradicionales (sólo en viviendas o pequeñas construcciones)

Los dos primeros tipos se usaron en edificios privados y en varios edificios públicos de 3 a 11 pisos, con profundidades de fundación entre 1,30 y 2,50 m, con tensiones de trabajo que oscilaron entre 1,0 y 1,7 k/cm² (10 a 17 t/m²).

Las Plateas

(Que en algunos casos llevaron sótanos someros o parciales) se usaron en edificios de más de 8 plantas o en tanques de agua de gran altura, las profundidades de fundación oscilaron entre 1,80 y 3,0 m y las tensiones de trabajo entre 0,7 a 1,3 k/cm².

Los cimientos corridos tradicionales

Hechos en mampostería u hormigón pobre tipo ciclópeo, son uno de los cimientos tradicionales para viviendas de una o dos plantas, en particular hasta los años 1960.

Las profundidades de fundación oscilaron entre 0,70 y 1,20 m y las tensiones de trabajo entre 0,4 y 0,7 k/cm².

Las plateas con sótanos profundos y los pilotes

Se usaron muy poco y para grandes estructuras y no acusaron mayores problemas de asentamiento.

4. CAUSAS PROBABLES DE LOS ASENTAMIENTOS

Las generalizaciones de los problemas por los asentamientos provocaron numerosos juicios y daños económicos importantes. Esto obligó a los futuros constructores y profesionales especialistas a ajustar sus diseños y la metodología de estudio, con la intención de encontrar las causas y evitar estos problemas.

Del comportamiento de las estructuras reales, verdaderos ensayos de escala 1:1, y del estudio de las pautas de cálculo y metodología de investigación empleados, se deduce como causa de los asentamientos lo siguiente:

4.1. El uso de tensiones de trabajo altas

Existe una relación directa entre la magnitud de la Tensión de Trabajo usada y la magnitud de los asentamientos producidos, aunque condiciones locales, pueden morigerar o exagerar esta relación. Los motivos por los que se sobrevaloró la capacidad geomecánica del suelo fueron, a juicio del autor, los siguientes:

a) Extrapolación incorrecta deducidas de tablas o estadísticas no locales

Parte de los estudios de suelo, en los años 60 y 70 se limitaban a extraer suelos, en la mayoría de los casos perturbados y, una vez clasificados, se los comparaba con suelos similares para deducir sus parámetros geomecánicos principales y se tomaron en general los datos más altos que ofrecían los entornos de estas tablas; fundamentalmente porque no se sabía todavía, con exactitud, el papel de la humedad y la densidad de los suelos en las resistencias físico - mecánicas. Como ejemplo se transcriben tablas deducidas de las normas D.I.N. (año 1970)-(Lámina N° 2).

b) Muestras no representativas o muy perturbadas

Los parámetros para el cálculo de la capacidad de carga (q) de los suelos, la densidad (γ), la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna (ϕ), se obtenían de muestras relativamente someras, de cotas coincidentes con el plano de fundación o muy cerca de este.

En Tucumán, salvo excepciones puntuales, la calidad geomecánica del suelo decrece con la profundidad a partir de los 2,50 - 3,0 m (Ver perfil característico), por la existencia a partir de esta cota de un horizonte limoso de baja densidad y de humedad creciente con la profundidad cuya base está frecuentemente saturada por la presencia de la napa, que se desarrolla hasta los -5,0 -6,0 m.

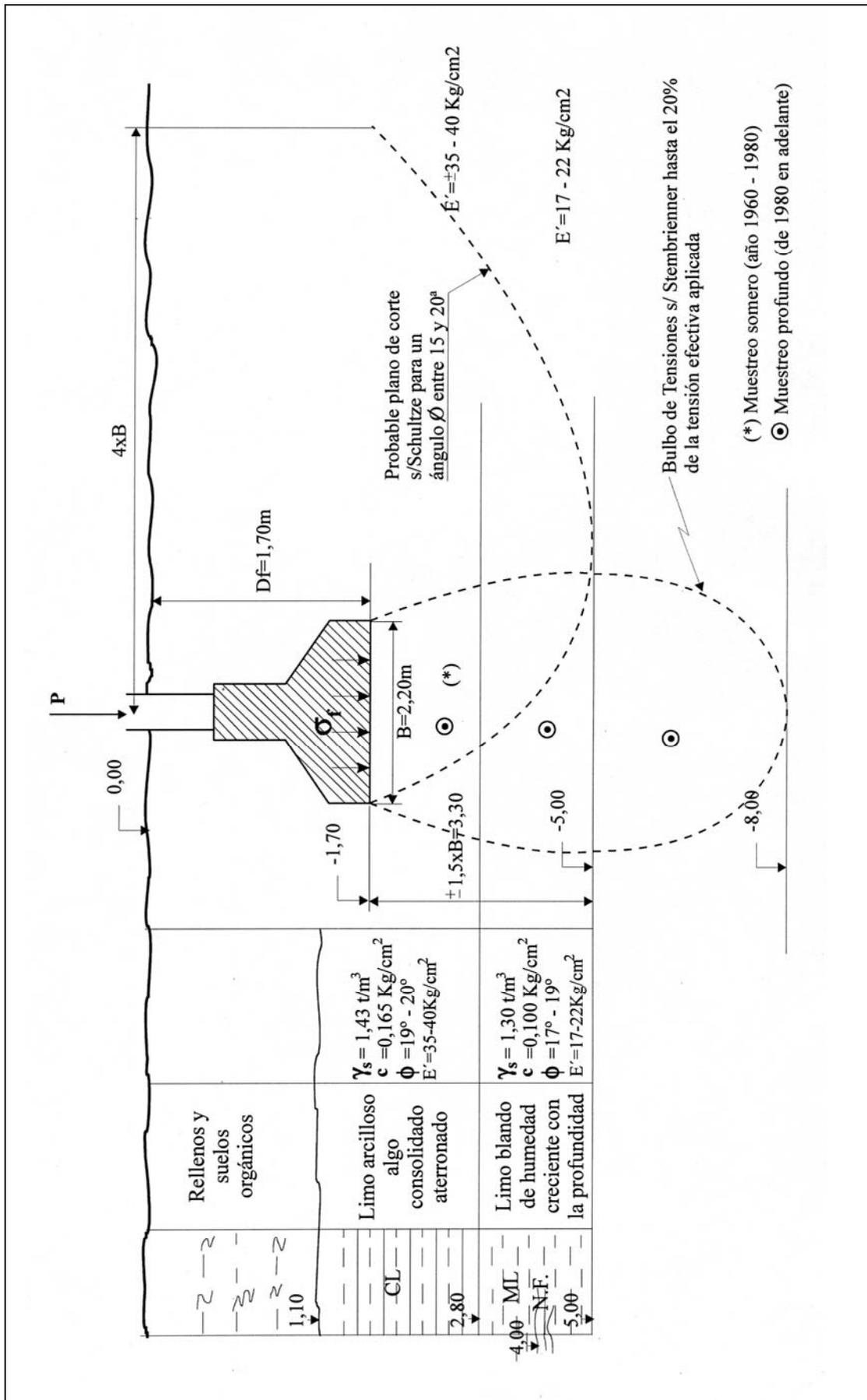
De esta manera los datos obtenidos resultaban sobrevalorados respecto a los reales del horizontes donde se encontraban las mayores tensiones inducidas por las fundaciones (Lámina N° 3).

LÁMINA N° 2: PRESIONES ADMISIBLES (Kg./cm²) SEGÚN LA D.I.N. 1054*

III SUELOS COHESIVOS – ZAPATAS CORRIDAS DE 0,5 A 2,0 M DE ANCHO				
Profundidad de cimentación (m)	Limo de consistencia rígida a dura	Mezclas de arcilla con arena y/o grava con consistencia rígida semidura – dura	Limo arcilloso de consistencia rígida semidura dura	Arcilla de consistencia rígida semidura dura
0,5	1,3	1,5 2,2 3,3	1,2 1,7 2,8	0,9 1,4 2,0
1,0	1,8	1,8 2,8 3,8	1,4 2,1 3,2	1,1 1,8 2,4
1,5	2,2	2,2 3,3 4,4	1,6 2,5 3,6	1,3 2,1 2,7
2,0	2,5	2,5 3,7 5,0	1,8 2,8 4,0	1,5 2,3 3,0
Asiento esperable	2 cm	3 cm	4 cm	4 cm

- Terreno homogéneo carga vertical estática y nivel freático a una profundidad B (suelos granulares) o 2B (suelos cohesivos)

LÁMINA N° 3: ZAPATA CORRIDA O LOSA DE FUNDACIÓN (L/B > 3)



A partir de los años 70, el uso del sacamuestras Terzaghi y el equipo de percusión necesario para operarlo, aumentó la profundidad de muestras, en particular cuando la napa estaba alta. Las muestras obtenidas con el sacates-tigo se usaron para la obtención de γ , C y ϕ . Estas muestras registran un aumento en la densidad (entre el 10 y el 20 %), por el escaso diámetro (35 mm) y el tipo de sacamuestra empleado. Este aumento de densidad a su vez puede aumentar los valores de C y ϕ en hasta un 40 % y los Módulos de deformación (E') hasta un 60 % y con estos parámetros se puede llegar a sobrevalorar la capacidad de carga (q_c) hasta en un 70 %.

4.2. Pautas de cálculo no compatibles con el tipo de suelos locales

Para el caso de los suelos locales, suelos limosos y limo arcillosos de baja densidad y casi siempre con alta humedad, el parámetro que define la fundación a adoptar es el asentamiento, ya que es conocido que para este tipo de suelos se producen deformaciones muy importantes; aún para tensiones bajas a moderadas, alejadas de la capacidad de carga final (Lámina N° 4).

Por otro lado, los **asentamientos**, también dependen de la forma y dimensión del dispositivo de fundación.

Durante mucho tiempo solo se usó el concepto de **Tensión Admisible**, empleándose para su cálculo fórmulas conocidas como la de Terzaghi, Skempton y Meyerhof, con coeficientes de seguridad entre 2,75 y 3,5. De haberse empleado la pauta del **Asentamiento Admisible**, en muchos casos las **Tensiones de Trabajo** se hubiesen reducido hasta en un 50 % y consecuentemente la magnitud de los asentamientos.

Como atenuante diremos que el cálculo correcto de los asentamientos implica una investigación costosa, por la necesidad de obtener muestras poco perturbadas de todo el perfil involucrado por el potencial bulbo de tensiones, de la estructura a fundar.

El autor ha desarrollado un sacamuestra de 70 mm de ϕ , de pared delgada, que básicamente es un tubo SHELBY modificado. Las modificaciones son el agregado de una zapata de corte de alto ángulo y el hincado por acción dinámica (a golpes) que se puede realizar con el equipo corriente para Ensayo S.P.T., variando solo el peso del martinete o la altura de caída.

Se obtienen muestras de 68 - 67 mm de diámetro, que recortados a los 63 - 50 mm que tienen las muestras corrientes para Ensayos de Corte Triaxial o Consolidación, resultan con un aumento de densidad entre el 1 y el 3 %.

Los parámetros geomecánicos obtenidos de estas muestras, aplicados con criterio conservador, resultan representativos de la estructura real del suelo en el substrato investigado

a juzgar por el comportamiento de las estructuras reales, donde se aplicó el muestreo.

Aplicando el concepto del **Asentamiento para suelos blandos**, antes que el de la **Tensión Admisible**, se puede explicar por qué, aún en caso del empleo de plateas y con tensiones moderadas, se produjeron **asentamientos importantes** que afectaron en particular a las propiedades vecinas. A partir de considerar la **paradoja de Terzaghi**, en los cálculos, la estructura más ancha asienta más a igual tensión de trabajo o sollicitación.

Se obtuvieron asentamientos admisibles para tensiones de trabajo (σ_r) brutas corrientes, con el solo procedimiento de reducir las tensiones efectivas (σ_e), convirtiendo a las plateas comunes en plateas huecas o con sótano y llevando la cota de fundación a profundidades importantes.

En la lámina N° 5 se transcribe un ejemplo real de edificios fundados a pocos metros uno del otro (Calle San Juan), los dos con platea, pero uno con platea rellena y otro con platea con sótano.

4.3. Causas eventuales varias

Los asentamientos parciales de algunas estructuras, ya descrito en el Capítulo III, en casi su totalidad se produjeron por causas eventuales que a continuación se detallan:

a) *Humectación de los suelos por pérdida de líquidos*

Las fundaciones someras en suelos de humedad moderada (1,20 - 1,50 m) se asentaron por la humectación de los suelos cercanos al plano de fundación, por rotura de ducto y posterior pérdida de líquidos.

b) *Depresión local de la Napa Freática*

Fundaciones de cotas de apoyo cercanos a la napa se asentaron por la depresión artificial de la napa por bombeos eventuales en pozos cercanos, que provocaron una consolidación forzada del terreno.

c) *Erosión interna debajo o cerca de las fundaciones.*

Los bombeos violentos aún a distancias alejadas de las fundaciones (5,0 - 10,0 m) o la pérdida crónica de agua a presión de algunos ductos, provocaron el lavado de la fracción fina en suelos limosos con pérdida de la resistencia mecánica y el aumento de la deformabilidad por su mayor porosidad. Estas erosiones internas han provocado incluso el hundimiento catastrófico de las calzadas de algunas calles (Calle Córdoba).

d) *Sobrecargas adicionales no contempladas en el proyecto.*

A numerosos edificios públicos antiguos se le agregaron cargas adicionales locales por remodelación que provocaron el lógico aumento de la sollicitación, en una parte de la estructura originando asentamientos diferenciales con los daños clásicos que provocan.

LÁMINA Nº 4: GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN

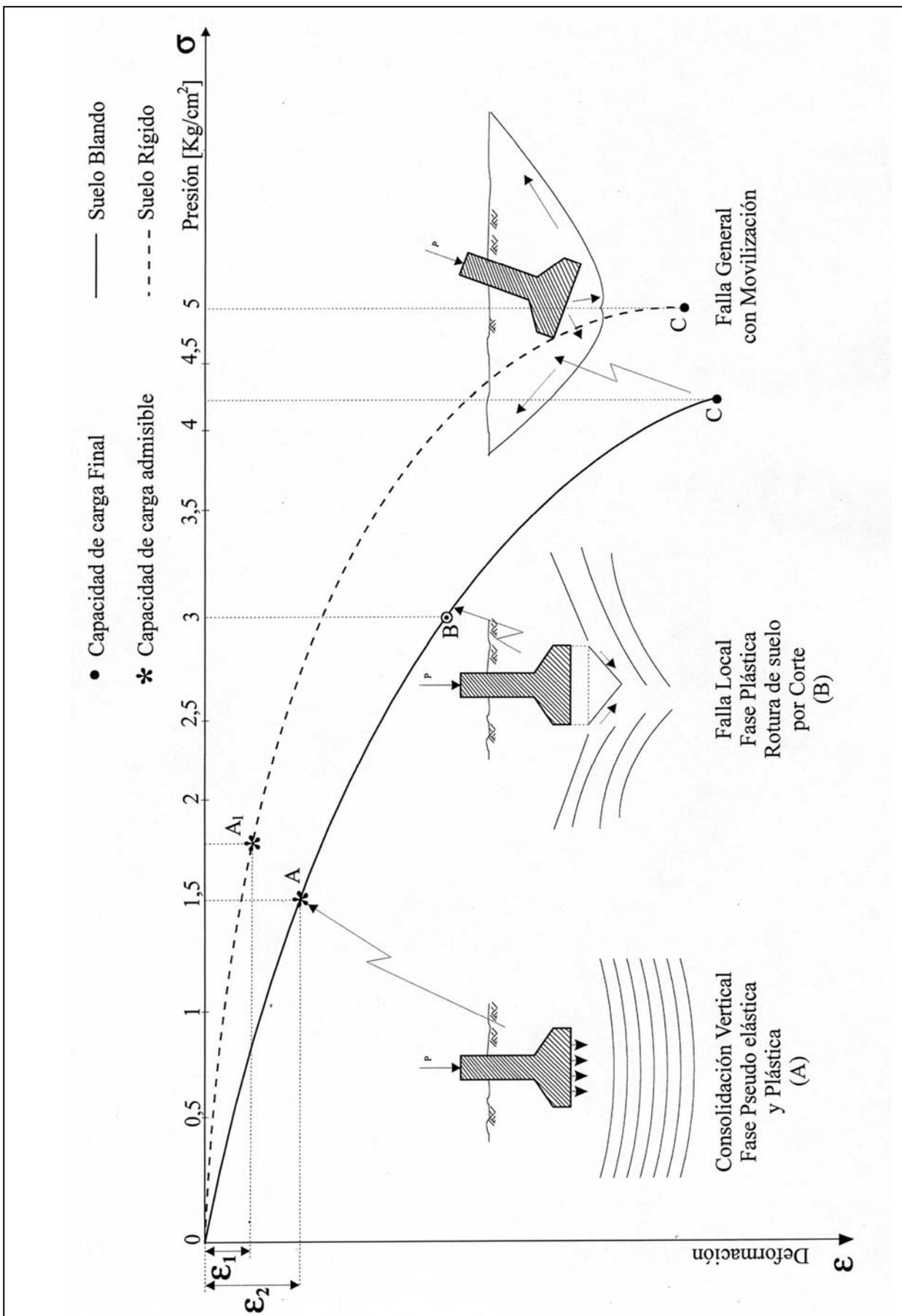
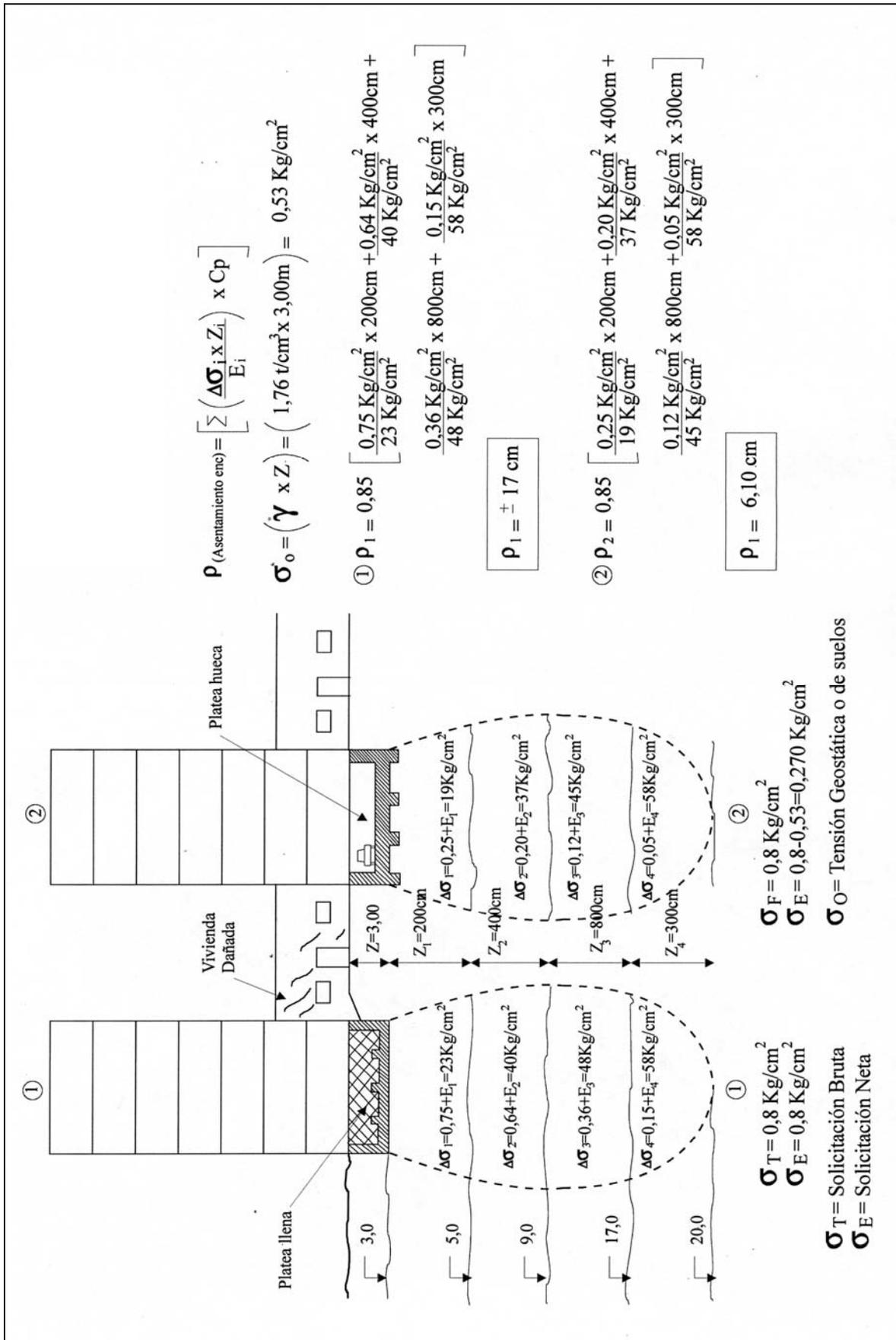


LÁMINA Nº 5



$$P_{(\text{Asentamiento enc})} = \left[\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i \times Z_i}{E_i} \right) \times C_p \right]$$

$$\sigma_o = (\gamma \times Z) = (1,76 \text{ t/cm}^3 \times 3,00\text{m}) = 0,53 \text{ Kg/cm}^2$$

① $P_1 = 0,85 \left[\frac{0,75 \text{ Kg/cm}^2 \times 200\text{cm}}{23 \text{ Kg/cm}^2} + \frac{0,64 \text{ Kg/cm}^2 \times 400\text{cm}}{40 \text{ Kg/cm}^2} + \frac{0,36 \text{ Kg/cm}^2 \times 800\text{cm}}{48 \text{ Kg/cm}^2} + \frac{0,15 \text{ Kg/cm}^2 \times 3000\text{cm}}{58 \text{ Kg/cm}^2} \right]$

$P_1 = \pm 17 \text{ cm}$

② $P_2 = 0,85 \left[\frac{0,25 \text{ Kg/cm}^2 \times 200\text{cm}}{19 \text{ Kg/cm}^2} + \frac{0,20 \text{ Kg/cm}^2 \times 400\text{cm}}{37 \text{ Kg/cm}^2} + \frac{0,12 \text{ Kg/cm}^2 \times 800\text{cm}}{45 \text{ Kg/cm}^2} + \frac{0,05 \text{ Kg/cm}^2 \times 3000\text{cm}}{58 \text{ Kg/cm}^2} \right]$

$P_2 = 6,10 \text{ cm}$

Los asentamientos por causas eventuales, posteriores a su construcción, no fueron pocos y en algunos casos implicaron costosas reparaciones, pero no trascendieron por el carácter antiguo e individual de las viviendas afectadas, solo trascendiendo los acontecidos en edificios públicos.

5. CAMBIO DE METODOLOGÍA DE ESTUDIO Y DISPOSITIVOS DE FUNDACIÓN

Los cambios se empezaron a notar a partir de la mitad de la década del 80 y fueron:

5.1. Mayor profundidad de investigación y calidad de muestreo

La profundidad promedio de investigación pasó de una media de 5,0 - 6,0 m a una media de 12,0 m, con un máximo de hasta 30,0 m para estructuras importantes. Esto permite discretizar, con una razonable precisión, las distintas calidades geomecánicas del perfil involucrado en la parte más activa de los bulbos de presiones.

En cuanto a la calidad de muestreo los cambios han sido importantes, pero todavía insuficientes por la cultura de precios locales en un mercado muy competitivo.

El cambio más importante producido es el hecho de que se trabaja con el concepto de **Asentamiento admisible**, concepto muy poco considerado hasta los años 80. Por ejemplo: antes se decía que un asentamiento de 10 a 15 cm era aceptable.

El comportamiento de las estructuras reales demostró que son suficientes 7 - 8 cm de asentamiento total, en un edificio entre medianeras adyacentes a una vivienda preexistente, para producirle asentamientos diferenciales a ésta, con severos daños. Hoy se reconoce como asentamiento admisible para esta situación un valor no superior a 5 cm.

También la realidad mostró que en edificios esbeltos, aún los construidos en torres (aislados de otras construcciones) asentamientos de más de 9 a 12 cm, pueden provocar con el tiempo basculamientos importantes con afectación severa de su funcionalidad.

5.2. Cambio en los dispositivos de fundación y metodologías constructivas

El primer impulso ante la realidad de los asentamientos generalizados de los nuevos constructores de estructuras importantes fue el empleo de pilotaje y, de hecho, varios edificios se construyeron con este dispositivo, a veces combinados con platea con sótano. Los pilotes fueron del tipo Franklin o colados "in situ".

Por las características particulares del perfil de suelos ya descripto imperantes en esta ciudad, los pilotes, en

particular los perforados, son de baja eficiencia y por lo tanto, encarecen notablemente el costo de la fundación; en particular para estructuras de moderada sollicitación (edificio entre 5 y 12 pisos) que son los más difundidos por razones comerciales y de código urbano.

Varios especialistas, entre ellos el autor, propusieron en los años 80 el empleo de **plateas flotantes o con sótano**, con su profundidad ajustada a las características del edificio o estructura para no sobrepasar el **Asentamiento Admisible** fijado para la misma.

La propuesta se basa en el conocido y simple hecho de que el **incremento de presión** sobre el suelo natural, o presión efectiva se puede reducir eliminando la Tensión Geostática por excavación; de tal manera que compensa total o parcialmente el peso de la estructura a construir.

Por la presencia de la napa cercana, esto tiene un límite de (-4,0 -6,0 m), excavar por debajo de ella es técnica y económicamente no recomendable, según se constató en casos puntuales (edificio del Banco Nación).

A pesar de esta limitación, este dispositivo de fundación tuvo y tiene un comportamiento entre bueno y excelente en cuanto al control de los asentamientos y su costo se ubica a mitad de camino entre las viejas zapatas y los pilotes, costo que fue reducido notablemente por dos hechos:

- a) Los constructores le tomaron la mano a la vieja técnica de la submuración, algo insoslayable cuando se construyen **plateas entre medianeras**.
- b) Se le fue dando un valor comercial cada vez mayor al espacio subterráneo, haciéndolo funcional como cocheras y locales comerciales.

Cuarenta nuevos edificios se han fundado con este dispositivo y solo 2 acusan problemas significativos.

Este porcentaje (5 %) contrasta notablemente con el 50 % de estructuras afectadas de los años 60 y 70.

6. CONCLUSIONES

Los asentamientos casi generalizados de las estructuras importantes, ocurridos en la ciudad de Tucumán entre los años 1960 - 1980, se produjeron por:

- a) El empleo de tensiones de trabajo elevadas sobre suelos de alta deformabilidad, antes del colapso por corte.
- b) El empleo de parámetros geomecánicos sobrevalorados por defecto en la profundidad de investigación geotécnica y la calidad de la muestra.
- c) Causas eventuales no adjudicables al proyecto como: la humectación localizada, depresión de napas, erosiones internas y sobrecargas no contempladas.

Los daños económicos provocados por estos asentamientos fueron elevados, con secuelas hasta el presente y también provocaron un cambio profundo en las Técnicas de Investigación Geotécnica y en los planteos conceptuales del problema.

El empleo de **plateas tipo flotante** o con sótano y ajustados en profundidad con las características de las es-

tructuras demostró ser eficaz para disminuir los asentamientos a **valores admisibles**.

Los problemas descriptos, confirmaron una vez más, el valor que tienen los **Estudios Geotécnicos** básicos, y la necesidad de permanente búsqueda de mejorar la calidad metodológica y conceptual de los mismos.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BONAPARTE J.F. Y BOBOVNIKOV J.

Algunos fósiles Pleistocenos de la Provincia de Tucumán y su significado Estratigráfico.
Acta Geológica LILLOANA (12) - 171 - 183 (1974).

BOWLES E. JOSEPH

Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil
Bogotá 1978

GROUX DANIEL (1980)

Mecánica de Suelos y Cimentaciones
Barcelona 1980.

JUÁREZ BADILLO EULALIO - RICO RODRÍGUEZ ALFONSO

Mecánica de Suelos Tomo III. Flujo de agua en suelos.
México 1980.

KRININE DIMITRI - JUDD WILLIAM

Principios de Geología y Geotécnica para Ingenieros
Barcelona 1972

LAMBE T. WILLIAMS Y WITMAN ROBERT

Mecánica de Suelos - I.T. de Masachusets
E.E.U.U. 1972

MON RICARDO

Características Geológicas y Geotécnicas del área urbana de Tucumán y poblaciones vecinas.
1998.

VALOY, JUAN CARLOS

Estudios Geotécnicos para fundaciones de diversas estructuras en la ciudad de San Miguel de Tucumán
(Inéditos). 1985 - 1998.



Tratamiento de frecuencias de discontinuidades determinadas por líneas de muestreo incorporando la incertidumbre estadística de los datos

Vendramini, Néstor ¹ - Niell, Arcadio ²

Resumen

El presente trabajo reúne cálculos y conclusiones de dos trabajos anteriores (Refs. {1} y {2}) publicados en 1994, y completa el tratamiento estadístico de los datos.

El trabajo citado en Ref. {1} tiene por objeto el tratamiento matemático, estadístico y gráfico de los datos referentes a orientación de planos de discontinuidades de macizos rocosos. A partir de un conjunto de observaciones de planos de discontinuidad, dicho tratamiento permite la determinación de direcciones principales (normales a las familias de planos de discontinuidad) y su representación en proyección equiareal.

Además, para cada dirección principal así determinada, representada como un polo en la esfera unidad, su variabilidad estadística (con distribución gaussiana en dos dimensiones) queda representada por la respectiva "elipse de dispersión" situada en el plano tangente a la esfera unidad en dicho polo, siendo los semiejes de la elipse las respectivas variaciones standard. Para estas definiciones se ha seguido lo propuesto en ref. {3}.

En el trabajo sobre tratamiento de mediciones realizadas por líneas de muestreo, que se cita como Ref. {2}, la parte fundamental es la titulada "Determinación de las frecuencias principales".

De esta forma se toman como datos las direcciones e inclinaciones de un cierto número de líneas de muestreo y las frecuencias de las discontinuidades observadas a lo largo de las mismas. Además, se incorporan como datos básicos, previamente conocidos, las direcciones de las normales de las familias de planos de discontinuidad, o direcciones principales. Estos últimos datos son precisamente los que se determinan como resultados en el trabajo previo.

Posteriormente, mediante un ajuste por cuadrados mínimos se determinan las frecuencias a lo largo de las normales a las familias de planos, esto es, las frecuencias principales. El resto del trabajo se ocupa de ciertos resultados adicionales que se obtienen como consecuencia del conocimiento de estas frecuencias.

En la determinación de las frecuencias principales, el respectivo cálculo tomaba a las direcciones de discontinuidad como datos determinístico, en este caso se incorpora su incertidumbre estadística a partir de los datos de orientación tomados como variables aleatorias, cuyos parámetros son conocidos como resultado del procesamiento MEP, a partir de las elipses de dispersión, que se generan con un análisis de distribución bivariada en el plano tangente.

Como consecuencia del trabajo actual, las frecuencias principales, que son los resultados del tratamiento de líneas de muestreo, quedan determinadas como promedios estadísticos con una determinada dispersión.

Entregado: 15 de Abril de 1999 ■ Aceptado: 27 de Setiembre de 1999

1. Dto. de Geología, Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales
U.N.C

2. FaMAF, U.N.C.

1. RESULTADOS ANTERIORES Y NOMENCLATURA

A continuación se resumen los resultados previos indispensables para la presentación de las nuevas conclusiones, y además se unifica y actualiza la nomenclatura empleada.

Para cada una de N familias de planos paralelos de discontinuidad se tiene la respectiva dirección normal caracterizada por su azimut α_i y su inclinación β_i ($i=1, \Lambda N$). El azimut, medido desde el Norte en sentido horario, está comprendido entre 0° y 360° . La inclinación se considera positiva hacia abajo; su valor está entre 0° y 90° .

Para un sistema de coordenadas cartesianas ortogonales, sobre la esfera unidad se tienen las relaciones (x, y, z)

$$x_i = \cos \alpha_i \cos \beta_i$$

$$y_i = \sin \alpha_i \cos \beta_i$$

$$z_i = \sin \beta_i$$

que a cada familia de planos paralelos de discontinuidad le hacen corresponder su polo, es decir la intersección de su dirección normal con la esfera unidad (se elige la intersección situada en la semiesfera inferior).

A cada polo se le asocia un sistema local de coordenadas cartesianas ortogonales (ξ, η, ζ). El plano (ξ, η) es tangente a la esfera, con el eje ξ en la dirección del meridiano η y el eje ζ en la dirección del paralelo.

En este plano está definida la elipse de dispersión, cuyos semiejes σ_M, σ_m , son las respectivas desviaciones standard, y el ángulo ω_M (medido desde el eje ξ en sentido horario) define la orientación del semieje mayor. El cálculo de todas estas cantidades se abordó en el primero de los trabajos citados (Ref. [1]).

2. CÁLCULO ESTADÍSTICO DE LAS FRECUENCIAS PRINCIPALES

Los datos (α_i, β_i) correspondientes a las direcciones principales serán ahora tratados como variables aleatorias, pero sus valores (ángulos) no pueden obtenerse directamente a partir de distribuciones de probabilidades, sino que deben deducirse de la distribución normal bivariada definida sobre el plano tangente a la esfera unidad en la posición media del polo.

De acuerdo con esto, el modelo computacional de aplicación (actualmente se realizan las últimas adecuaciones en su desarrollo) realiza K veces el cálculo de las frecuencias principales de acuerdo con un proceso de Montecarlo, siendo K un número suficientemente grande.

Cada una de estas veces, y para cada polo (i , con $i = 1, \dots, N$) se generan valores de dos variables aleatorias, (p_i, q_i) ambas con distribución normal, y las respectivas variaciones standard (σ_M, σ_m). A cada par le corresponde en el plano (ξ, η) el punto de coordenadas

$$\xi_i = p_i \cos \omega_M - q_i \sin \omega_M$$

$$\eta_i = p_i \sin \omega_M + q_i \cos \omega_M$$

Estos valores representan perturbaciones de las coordenadas del polo considerado, expresadas en las respectivas direcciones, del sistema local, es necesario transformarlas a las direcciones de los ejes principales x, y, z :

$$\Delta x_i = \xi_i \cos \alpha_i \sin \beta_i - \eta_i \sin \alpha_i$$

$$\Delta y_i = \xi_i \sin \alpha_i \sin \beta_i + \eta_i \cos \alpha_i$$

$$\Delta z_i = -\xi_i \cos \beta_i$$

Restando a continuación normalizar el vector perturbado ($x_i + \Delta x_i, y_i + \Delta y_i, z_i + \Delta z_i$), dividiendo todas las componentes por la norma, para que el vector resultante vuelva a tener norma igual a 1. Con esto, y aplicando ahora en sentido inverso las fórmulas citadas al principio, se obtienen los α_i, β_i a ser utilizados en la respectiva instancia del cálculo estadístico de las frecuencias principales. Estas se obtienen resolviendo el sistema de ecuaciones normales según el procedimiento que se describió en [2].

Para cada una de las frecuencias principales, a partir del respectivo conjunto de valores calculados, esta modelización determina, la media y la desviación standard, teniendo como salida gráfica, los estereodiagramas conformados por los análisis previos (algunos típicos se anexan Fig. 1, 2), y un histograma para la frecuencia principal de cada familia, que se organiza a partir del resultado del proceso Montecarlo. La optimización en la determinación de las frecuencias principales permite una forma ajustada del cálculo de la frecuencia en cualquier dirección (Ref. [1], cuya generalización espacial se puede mostrar como estereodiagrama (Fig.3).

FIGURA 1: DIAGRAMA DE AGRUPAMIENTOS

Grupo	Polos
1	37
2	33
3	8
Otros	18
Aislados	21
TOTAL	= 117

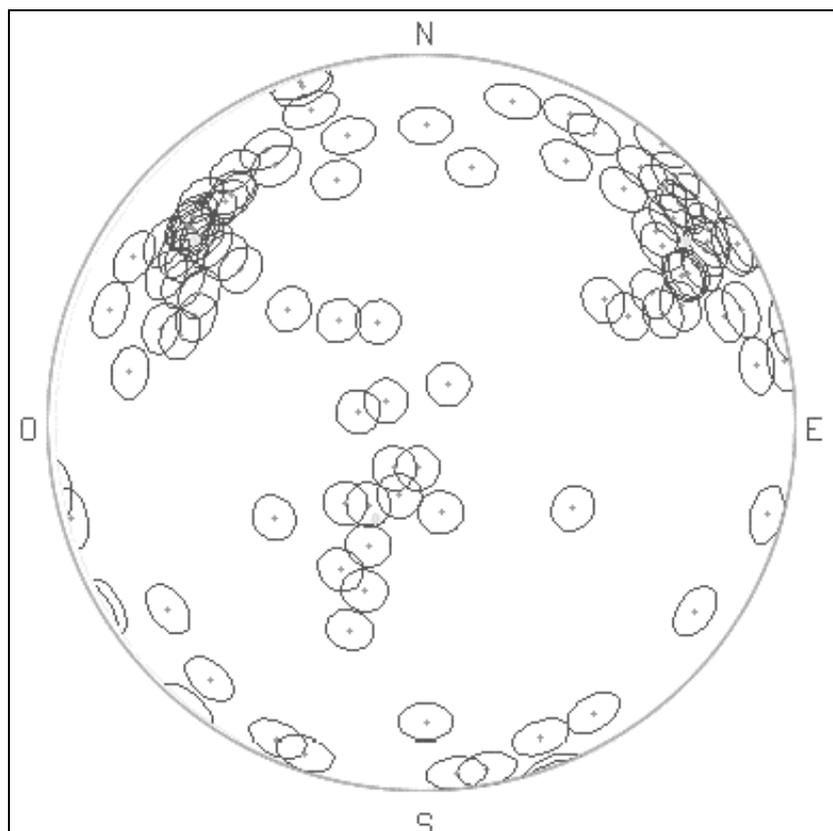


FIGURA 2: DIAGRAMA DE ESTADÍSTICA

Grupo	Polos
1	37
2	33
3	8
Otros	18
Aislados	21
TOTAL	= 117

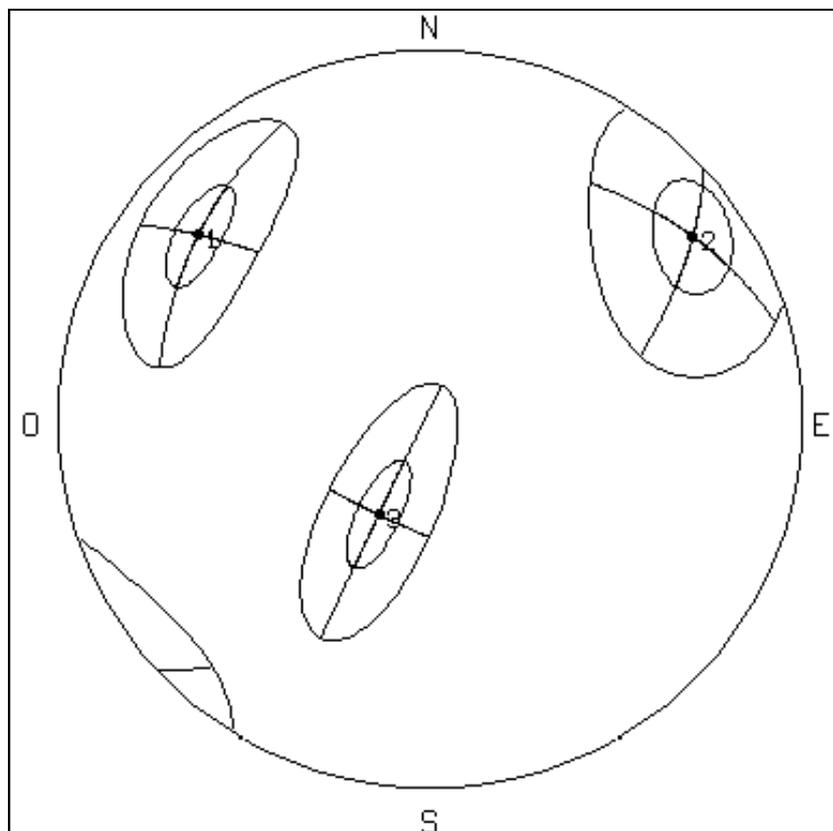
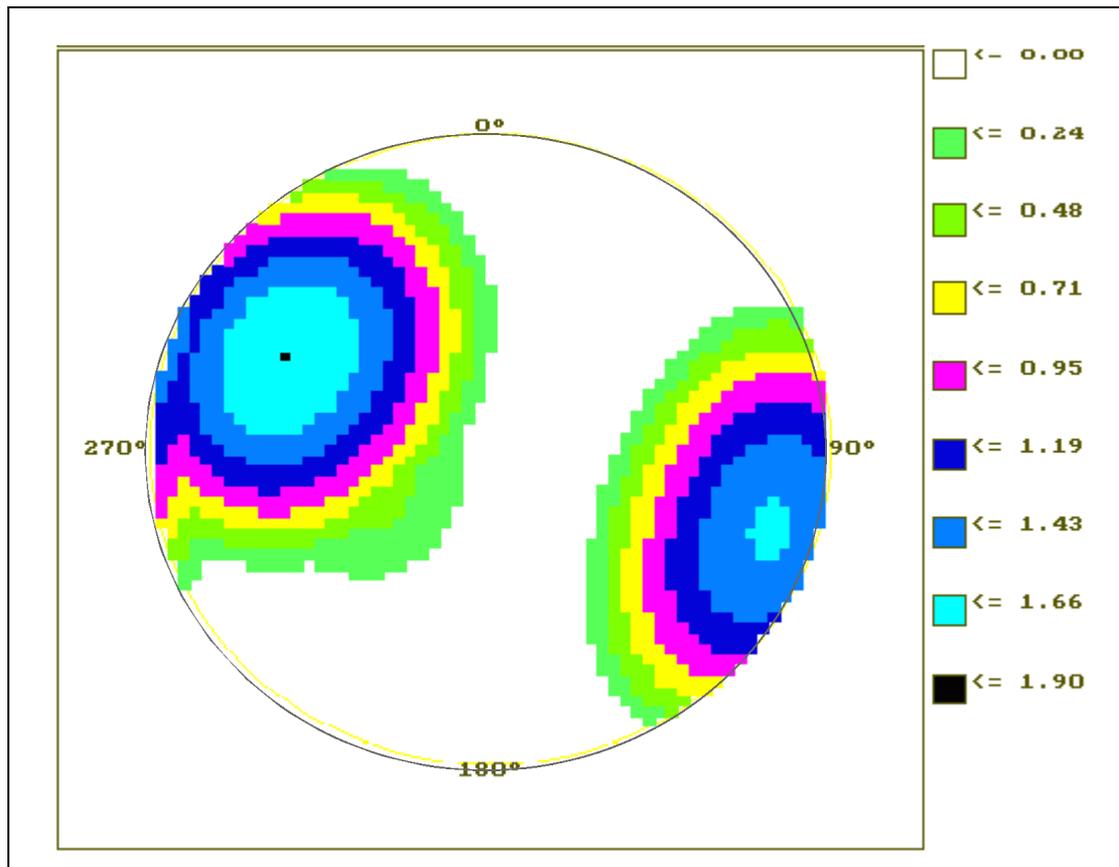


FIGURA 3: DIAGRAMA DE FRECUENCIAS



3. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

VENDRAMINI, N., Y NIELL, A.

Tratamiento de datos de orientación de discontinuidades, Modelo estructural probabilístico (MEP).
ACTAS de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería; Vol. VIII, pp. 122-134 (Buenos Aires, 1994).

VENDRAMINI, N. Y NIELL A.

Tratamiento integral de datos obtenidos mediante líneas de muestreo.
ACTAS de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería; Vol. VIII, pp. 104-117 (Buenos Aires, 1994).

GROSSMAN, N.F.

The bivariate normal distribution on the tangent plane at the mean attitude.
Proceedings of the International Symposium on Fundamentals of Rock Joints (Björkliden, 1985)

PRIEST S. & BROWN E.

T. Probabilistic stability analysis of variable rock in slope.
Trans. Inst. Min. Metall. Sect. A 92, 1-12 (1983).

ISRM

International Society for Rock Mechanics, Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests.
Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr. 15, 319-368 (1978)

HEMISPHERICAL PROJECTION METHODS IN ROCK MECHANICS.

Allen & Unwin, London (1985)

PRIEST S. D. & HUDSON J.A.

Discontinuity spacings in rock.
Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.13, 135-148. (1976).

WALLIS P. F. & KING M. S.

Discontinuity spacings in a crystalline rock.
Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 17, 63-66 (1980).

LISTADO DE EVENTOS

• **26th-30th June 2000, Cardiff, United Kingdom: 8th International Symposium on Landslides.** Organized by the BGS, co-sponsored by IAEG and ISSMGE.

Correspondent: The Secretary British Geotechnical Society, The Institution of Civil Engineers, 1 Great George Street, London SW1 P3AA, United Kingdom.

• **6th - 17th August 2000, Rio de Janeiro, Brasil: 31st International Geological Congress,** including several symposia co-sponsored by IAEG

Address: 31 IGC, Avenida Pasteur 404, Casa Brasil 2000, Urca, Rio de Janeiro RS, Brasil CEP 22.290.240

E-mail: 31igc@31igc.org; <http://www.31igc.org>

• **4, 5 y 6 de Octubre de 2000. XV Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica - XV CAMSIG**

Secretaría: Ing. Eduardo G. Silva - Av. Juan B. Justo 7120 - 1407 Capital Federal. Tel./Fax: (011) 4636-2877 / 4672-1791.

E-mail: esilva@unimoron.edu.ar

• **10th - 12th October 2000, Hannover, Germany: Engineering Geology and Environmental Planning,** an International Workshop.

Sponsored by the IAEG, co-sponsored by UNESCO and BGR.

Correspondent: Dr. Manfred Wallner, c/o Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, postfach 510153, 30631 Hannover, Germany.

E-mail: Manfred.wallner@bgr.de; <http://www.bgr.de/iaeg2000>

• **17 al 20 de Octubre de 2000, Tercer Encuentro Nacional de Unidades Ambientales del Sector Vial.** San Martín de los Andes, Neuquén.

Correspondencia: Lic. Nancy Didoné - Mayor Torres 250 - 8340 Zapala.

E-mail: dpv_sistemas@zapala.com.ar

• **19th-24th November 2000, Melbourne, Australia: GeoEng 2000,** International Conference sponsored jointly by IAEG, ISSMGE and ISRM.

Correspondent: Secretariat GeoEng 2000, ICMs Pty Ltd, 84 Queensbridge Street, Southbank, Victoria 3006, Australia.

E-mail : GeoEng2000@icms.com.au

<http://www.icms.com.au/geoeng2000>

• **30th July-2nd August 2001, Ekaterinburg, Russia: EngGeol City 2001, International Symposium on Engineering Geology and the Environment.** IAEG sponsored event.

Scientific secretary: Ms. Svetlana Lukina, Ural TISIZ Ltd, 79 Bazhov Street, Ekaterinburg, Russia 620075

E-mail: UralTIS@etel.ru

• **6ths-10th August 2001, Helsinki, Finland, International Conference "Aggregate 2001 - Environment and Economy".** Sponsored by the IAEG.

Contact: Aggregate 2001, Tampere University of Technology, Laboratory of Engineering Geology, P.O. Box 600, 33101 Tampere, Finland.

E-mail : kuulavai@cc.tut.fi or pekka.ihalainen@luy.fi

• **24th-27th August, 2001, Beijing, P.R. of China: "First International Conference on sustainable development in karst regions".** Cosponsors : IAH, IAEG, IUG, AGID.

Information: Prof. Daoxian.

E-mail: dxyuan@osmanthus.gxnu.edu.cn

• **17 al 19 de Octubre de 2001, Bahía Blanca. VII Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente y Cuarta Reunión sobre Preparación y Uso de Mapas Temáticos.**

E-mail: asagai01@criba.edu.ar

• **16th-20th September 2002, Durban, South Africa: 9th IAEG Congress.**

Correspondent: Mr. Michel Benet, 9th IAEG Congress, P.O. Box 1283, Westville, 3630 South Africa.

<http://home.geoscience.org.za/saieg/2002.htm>.

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Evaluación de impacto ambiental del camino E-57. Tramo: Villa Allende - Unquillo - La Quebrada. Provincia de Córdoba	<i>Bejerman, Norberto Jorge - Cabral, Sandra</i>	1
Hormigones con arenas de dolomías trituradas	<i>Cabrera, Oscar - Cassinelli, Gustavo - Donza, Horacio - Menéndez, Gustavo</i>	6
Evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación utilizando un modelo entidad - relación adaptado a la tecnología de los SIG	<i>Campanella, Osvaldo - Saqripanti, Guillermo - Origlia, H. Daniel - Frascchetti, Guillermo - Daniele, Marcela</i>	12
Aplicación de las dolomías como agregado en mezclas asfálticas de pavimentación	<i>Cassinelli, Gustavo - Ruiz, Miguel</i>	20
Obras de protección contra las inundaciones en las planicies aluviales de los ríos Paraguay y Paraná (sector argentino). Sus implicancias ambientales.	<i>De Francesco, Fernando O. - Colado, Ubaldo R. - Schnack, Enrique J. - Schnack, Juan A. - García Lozano, Luis C</i>	25
Aspectos hidrogeomorfológicos de la cuenca del Río Pircas, Jujuy, Argentina	<i>Dietta, Patricia M. - Mansilla, Lilyán del Valle - Oroasco, Oscar</i>	32
Utilización de cartografía geotécnica en la asignación de coeficientes de balasto para el cálculo de estructuras sometidas a momento de vuelco	<i>Elzeard, Luis - Bolinaga, Raúl</i>	38
Contaminación de freática por vertido de residuos sólidos urbanos en Villa María. Córdoba, Argentina.	<i>Fernández, Guillermo José</i>	43
Perlitas de la provincia de Salta. Nuevas aplicaciones tecnológicas	<i>Gea, S. - Noël G. Tapia A. - Suárez O.</i>	51
Uso de mapas temáticos en la confección de la carta geoambiental de Comodoro Rivadavia. Chubut, Argentina.	<i>Hirtz, Néstor - Pérez, Horacio - Griziniq, Mario - Tejedo, Alejandra - Blachakis, Andrés - Stronati, Mónica - Cavallaro, Sandra</i>	56
Hidrogeomorfología y caracterización química de la Reserva Hídrica de Finca Las Costas. Provincia de Salta	<i>Marcuzzi, Jorge - Gutiérrez, Marcelo D. - Olañeta, Marcelo R. - Peralta, Carlos M. - Núñez, Virgilio - Garrido, Daniel A. - López, Guillermo A.</i>	76
Mapa de la vegetación del ejido de la ciudad de San Carlos de Bariloche	<i>Naumann, Carlos M. - Sancholuz, Luis A.</i>	92
Base cartográfica para el partido de Escobar, provincia de Buenos Aires, Argentina. Una aplicación de la Geoinformática	<i>Olivares, Oscar R.</i>	98
Hidrogeología del área de la laguna "El Hinojo" Venado Tuerto. Provincia de Santa Fe	<i>Peisajovich, Mariela Alejandra - Fresina, Mirta E.</i>	109
La importancia de la geomorfología frente al cambio climático global en el nordeste argentino	<i>Popolizio, Eliseo</i>	123
Cuantificación de la pérdida de suelo en un sector de bardas en la Ciudad de Neuquen. Cuenca XVI.	<i>Rapacioli, Raúl - Impiccini, Agnes - Engelland, Silvia - Arroyo, Luisa</i>	128
Metodología ajustada del diagnóstico de afectación ambiental de las aguas subterráneas. Pdo de Escobar, Pcia de Buenos Aires	<i>Santa Cruz, Jorge N. - Fresina, Mirta - Silva, Adrián A. - Olivares, Oscar R.</i>	137
Krutexto: un programa para el tratamiento de datos geográficos mediante planillas electrónicas	<i>Tomás, Mónica L.</i>	147
Problemas de asentamientos en las construcciones de la ciudad de Tucumán	<i>Valoy Juan Carlos</i>	149
Tratamiento de frecuencias de discontinuidades determinadas por líneas de muestreo incorporando la incertidumbre estadística de los datos	<i>Vendramini, Néstor - Niell, Arcadio</i>	161

**TERCER ENCUENTRO NACIONAL
DE UNIDADES AMBIENTALES DEL SECTOR VIAL**

San Martín de los Andes, 17 al 20 de Octubre de 2000

E-mail: dpv_sistemas@zapala.com.ar

**VII SIMPOSIO DE GEOLOGÍA
APLICADA A LA INGENIERÍA Y AL MEDIO AMBIENTE**

Y

**CUARTA REUNIÓN SOBRE PREPARACIÓN
Y USO DE MAPAS TEMÁTICOS**

Bahía Blanca, 17 al 19 de Octubre de 2001

E-mail: asagai01@criba.edu.ar

Primera Circular	06/2000
Segunda Circular	11/2000
Recepción Resúmenes	03/2001
Recepción Trabajos	06/2001

A los fines de la impresión del presente volumen se ha recibido
apoyo económico de las siguientes empresas y asociados:

ING. JOSÉ F. SPEZIALE

LIC. sJORGE WEXLER

CIMARG S.A.

MINERA TEA SACIF

INSTITUTO DE MATERIALES Y SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN

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 Abril de 2000
en sistemas de impresión directa
de Callerio y Asociados
Córdoba - Argentina