

INDICE

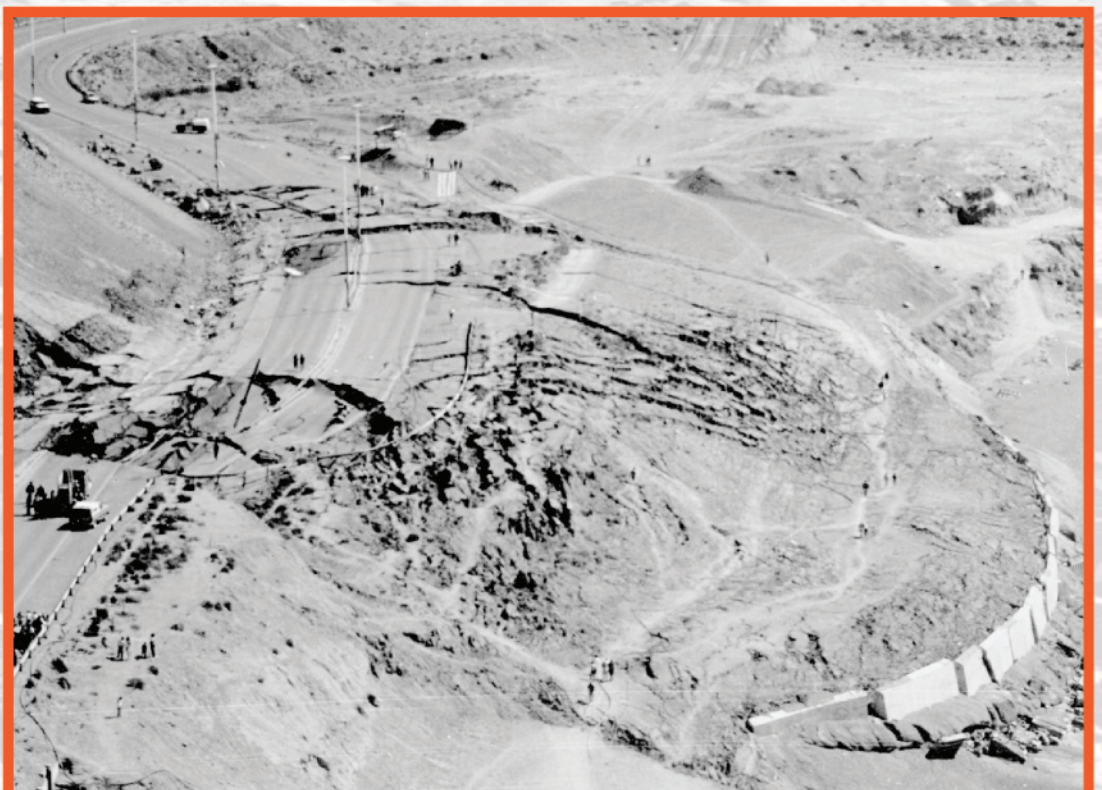
Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Arquitecturas sedimentarias de la Formación Puelches y sus respuestas al perfilaje geofísico de pozo	<i>Amato, Sergio Daniel Ponti, Norberto Antonio</i>	1
Normativa para obras viales frente al impacto ambiental. Una propuesta alternativa	<i>Bejerman, Norberto Jorge Cabral, Sandra</i>	9
Modificaciones morfológicas de la costa occidental de Génova derivadas de la construcción del nuevo puerto de contenedores. Liguria - Italia	<i>Brandolini, P. - Canepa, G. Fedolino, M. - Nicchia, P. - Ramella, A. Terranova, R.</i>	20
Mapas temáticos de la ciudad de Bahía Blanca y problemas edilicios asociados	<i>Caló, Jorge - Fernández, Elba Marcos, Ángel - Aldacour, Héctor</i>	30
Deslizamientos en una franja costera de la ciudad de Comodoro Rivadavia. Chubut, Argentina	<i>Hirtz, Néstor Blachaquis, Andrés</i>	41
Caracterización del deterioro potencial en rocas carbonáticas ornamentales. Córdoba, Argentina	<i>Karlsson, Alicia - Ayala, Rosa Romero, Fernando</i>	56
Análisis de arenas mediante procesamiento de imágenes digitales	<i>Minkoff, Darío R. - Pérez, Daniel E. Perillo, Gerardo M. E.</i>	64
Sitios de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. Consideraciones sobre la implementación y estabilidad de rellenos de seguridad	<i>Muñoz, Luis - Torrán, Eduardo</i>	74
Estudio hidrogeológico y de calidad del agua en la cuenca del río Salí. Provincia de Tucumán	<i>Nicolli, Hugo B. - García, Jorge W. Tineo, Alfredo</i>	82
Ordenamiento territorial de la reserva hídrica de Finca las Costas en base a sus características geoambientales	<i>Núñez, Virgilio - Marcuzzi, Jorge J. Torrejón, David E. Bejerman, Norberto J.</i>	101
Evaluación de la perturbación del acuífero freático en el Arroyo Conchitas. Provincia de Buenos Aires	<i>Silva, Adrián - Olivares, Oscar Fresina, Mirta</i>	115
Geohidrología del abanico aluvial de la Quebrada de Incahuasi. Salta, Argentina	<i>Soler, Ramiro Daniel</i>	121
Estructura andina de la cubierta meso-cenozoica al norte del Lago Viedma. Santa Cruz, Argentina	<i>Spikermann, Juan - Massabie, Armando Medina, Francisco - Rosello, Eduardo Rimoldi, Horacio</i>	129

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 15 ■ 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

Una vez más la Asociación tiene el agrado de ponerse en contacto con ustedes mediante un nuevo número de su Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente. Esperamos que los lectores sepan valorar este esfuerzo editorial desarrollado apenas superados los veinticinco años de la creación societaria, lo que permite apreciar la evolución que ha tenido nuestra publicación oficial.

Ello fue posible gracias al esfuerzo de quienes enviaron sus trabajos y del grupo de profesionales que tuvieron a su cargo la revisión del material recibido. Esta conjunción permite a los asociados contar con un órgano de difusión de sus trabajos así como generar una Revista que sirva tanto como material obligado de consulta así como aportar a la comunidad mediante el contenido seleccionado para cada entrega.

El desarrollo que estos últimos años ha tenido la temática ambiental nos ha motivado a incorporar dicha especialidad por estar cada vez más desarrollada entre nuestros miembros y en la sociedad toda, de modo que la

divulgación de la misma genera artículos que permitirán a los asociados ponerse al día en sus conocimientos

Así como esta temática, la revista habrá de incorporar estudios realizados sobre deslizamientos por ser este rubro cada vez más común frente a las solicitaciones más importantes a que se ven sometidas las cimentaciones de las grandes estructuras provocando un acrecentamiento de masas rocosas en condiciones de movilización.

Así como esto, la Asociación tendrá debidamente en cuenta toda temática que pueda ser de interés en su momento, con el fin de mantener actualizados los conocimientos de los asociados, a la vez que nos interesa recibir comentarios de los artículos publicados a los fines de generar, dentro de la Revista, la sección discusiones.

Cabe, por último, destacar con gratitud la valiosa colaboración de nuestros asociados, quienes con su dedicación nos fuerzan a ser cada vez más celosos guardianes del patrimonio institucional que significa esta ya jerarquizada Revista.

El Director

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

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

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

- La versión original, en dos (2) ejemplares, se enviará en papel blanco tamaño A4 (21 x 29,7 cm) y en disquetes de 3,5" editados en **Microsoft Word para Windows, DOS o Macintosh; Wordperfect para Windows, DOS o Macintosh**, indicando que versión se utilizó.
- Los trabajos deberán tener una extensión máxima de 20 carillas.
- El título del artículo debe ser conciso, informativo e indicativo del contenido del mismo y escrito sin utilizar abreviaturas; impreso en letra Times New Roman punto 12 mayúscula, negrita y centrado, sin subrayar.
- La dirección postal y electrónica del autor al que se deberá dirigir la correspondencia seguirá a continuación del nombre, separado por una interlínea. Dicho autor deberá ser identificado con un superíndice.
- Se deberá incluir el resumen del trabajo como primera sección del mismo.
- Todo el texto deberá estar escrito en letra Times New Roman punto 12 a un espacio de interlínea, sin sangrías (ya sea mediante tabulador o espacios) y sin doble espacios entre párrafos. Se conservarán, no obstante, los destacados que el autor considere convenientes, así como los correspondientes a determinados términos científicos o expresiones latinas o extranjeras.
- Cuando una abreviatura aparezca en el texto por primera vez, deberá ser aclarada en forma completa entre paréntesis. No se deben utilizar notas al pie.
- Las expresiones matemáticas deberán identificarse, evitando ambigüedades. Las ecuaciones deberán numerarse consecutivamente, colocándose el número correspondiente entre paréntesis y a la derecha de cada ecuación. La secuencia de paréntesis deberá ser la usual en Matemática:)}}).
- Se incluirán como figuras todas las ilustraciones, mapas, fotografías, etc., presentes en el texto, las que llevarán numeración arábiga correlativa por orden de aparición. Las mismas se ajustarán al tamaño de caja. En el texto se citarán como (Fig.), o (Figs.) en plural.
- En los ejemplares impresos que se remitan para ser sometidos al proceso de arbitraje, se deberá indicar la posición de las figuras en el texto e incluirlas por separado a continuación del mismo. Se deberán limitar, como máximo, a una caja de 15 x 23 cm, debiendo tener en cuenta el espacio ocupado por el epígrafe. No se aceptarán plegables. Las figuras no se deben incluir como parte del archivo de texto. Se deben remitir en un archivo separado formato TIF, DWG o EPS.
- Las tablas deben ser remitidas en páginas separadas, indicando su ubicación dentro del texto.
- En el caso de mapas, los mismos incluirán las coordenadas geográficas, escala gráfica y norte. Deberán tener referencias adecuadas a los símbolos, rastras, etc. utilizados. Las fotografías, incluidas como figuras, deberán ser pancromáticas, de buena resolución y contraste. No se aceptarán fotografías en color. Los originales deben ser enviados con la versión final del trabajo. Todas las figuras llevarán su correspondiente leyenda, inmediatamente después de la misma. Se usará letra punto 12, a un interlineado. La figura y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos. Se recomienda que las leyendas sean cortas y concisas.
- La cita de otros trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: Caminos (1975). En caso de ser más de dos autores se usará et al. (en itálica, no subrayado ni negrita). Cuando se cite más de un trabajo del mismo autor se separarán por una coma, ejemplo: Caminos (1956, 1978). En las citas totalmente entre paréntesis no se usará coma para separar el autor del año (Caminos 1956); en caso de ubicar varios autores dentro del paréntesis se separarán entre ellos por un punto y coma. Si se citan varios trabajos del mismo autor y del mismo año se agregarán a continuación del año, letras, de acuerdo al orden de aparición en el texto.
- Los trabajos citados en el texto serán incluidos bajo el título de TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO. Los mismos deberán estar ordenados alfabéticamente.
- Los artículos en publicaciones periódicas se citarán:
Carranza Torres, C.M., 1991. Cálculo analítico de redes de filtración. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería Volumen VI: 250-267.
- Los artículos en textos:
Mateos Ruiz, R.M. y M. Ferrer Gijón, 1994. Methodology for landslides hazard map 1:1 0,000 in the area of Monachil (Granada, Spain). En R. Oliveira, L.F. Rodrigues, A.G. Coelho & A.P. Cunha (eds.) 7th International Congress International Association of Engineering Geology, Volume III: 2059-2064, Rotterdam.
- Los libros de textos:
Dearman, W.R., 1991. Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann Ltd, 387 pp. Oxford.
- En el caso que los autores incluyan mapas y/o gráficos con un tamaño mayor al indicado en el punto anterior, que requieran ser plegables para el tamaño de la revista, los costos derivados de su impresión correrán por cuenta de él o los autores.

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



Arquitecturas sedimentarias de la Formación Puelches y sus respuestas al perfilaje geofísico de pozo

Amato, Sergio Daniel ¹ - Ponti, Norberto Antonio ²

Resumen

Se describen en primer término las tres principales configuraciones arquitectónicas tipo definidas oportunamente en las secciones acuíferas de la Formación Puelches, ellas son las de Acuífero Unitario, Acuífero Intercalado y Acuífero Múltiple, obtenidas a partir del análisis sedimentológico detallado de varias perforaciones de exploración realizadas en la provincia de Buenos Aires por distintos organismos.

Se realiza luego un análisis comparativo entre dichos arreglos de depósito y sus respuestas al perfilaje geofísico de pozo, tratando de establecer la posible correspondencia entre el comportamiento de las curvas geofísicas obtenidas en cada sondeo y las configuraciones de los depósitos sedimentarios mayormente encontrados. El objetivo principal es hallar curvas patrones para cada tipo de arreglo establecido, lo que puede permitir el uso de una metodología sencilla y rápida para el conocimiento general de la conformación del acuífero en cada perforación, permitiendo incluso luego del análisis de varios sondeos conjuntos, un conocimiento areal y volumétrico de mayor detalle de la misma unidad.

1. INTRODUCCIÓN

La idea de utilizar al perfilaje de pozo como herramienta en la definición de los cuerpos sedimentarios se inicia metodológicamente con *Pirson (1977)*, quien asocia las facies sedimentarias y los ambientes deposicionales con formas características de las curvas eléctricas de pozo, estableciendo y utilizando por primera vez el término de "electrofacies" para estas configuraciones. Con anterioridad, en la década de los años cincuenta la curva de Potencial Espontáneo (SP) había sido utilizada para definir en forma

preliminar la posible morfología de depósitos de interés atravesados por una gran cantidad de perforaciones exploratorias incluidas en el reconocimiento del antiguo delta del Mississippi.

El avance en el conocimiento de la conformación de los depósitos sedimentarios en superficie, así como de sus probables cambios laterales a través de la utilización de las distintas herramientas del perfilaje geofísico, ha permitido una interpretación cada vez mas ajustada de los paleoambientes sedimentarios en subsuelo.

El perfilaje múltiple de pozos permite obtener características físicas de las rocas y sedimentos atravesados por la perforación, lo que facilita el conocimiento de la litología del subsuelo y de las condiciones hidrogeológicas.

Las técnicas utilizadas se clasifican en radiactivas y eléctricas. Dentro de las primeras se consideraron los resultados del perfilaje gamma natural, debido a que esta

Entregado: 24 de Julio de 2000 ■ Aceptado: 05 de Setiembre de 2000

1. Personal Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (C.I.C.).
Lugar de Trabajo: Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. (I.N.A.). Subsecretaría de Recursos Hídricos.
2. Investigador Instituto Fernando Volponi, Universidad Nacional de San Juan (U.N.S.J.)
Tel. 05411-44800295 e-mail: pntsas@ina.gov.ar.

testificación mide la radiación gamma o actividad ligada al terreno natural, siendo una técnica sencilla al no necesitar que el pozo se complete con agua o lodo y tampoco es inconveniente la presencia de entubamiento de cualquier tipo, motivo por el cual es de uso más general que otros radiactivos, presentándose sus resultados conjuntamente con los eléctricos SP y de Resistividades.

Los sedimentos y las rocas sedimentarias poseen radiaciones naturales debido a elementos inestables como aquellos provenientes de las series torio-radio-potasio o uranio radio. La determinación de esta radiación se efectúa mediante un detector de centelleo con acople de tubo fotomultiplicador. La interpretación de los registros resultantes es cualitativa. La presencia de carbono 14 (C14) y potasio 40 (K40) en las arcillas hace aumentar la actividad de estas en forma considerable con lo que se logra una buena definición de los niveles litológicos.

Con la aparición del registro continuo en la elaboración de la curva del Gamma Natural (GN) especialmente, se ha logrado establecer una relación casi continua y directa entre la conformación de su traza y la litología presente, con escasa influencia de las características del fluido que pueda estar presente en el espacio poral. Este aspecto tiene, en cambio, participación en el registro del SP e importancia decisiva en la respuesta observada en las Curvas Resistivas de corto y largo espaciamiento (Normal Corta y Normal Larga), con las que se determina la resistividad de las formaciones que atraviesa el sondeo, siendo ésta función en este caso, no solo del tipo de sedimento o roca sino también de la porosidad de las mismas, de la salinidad del agua que contienen y de la interacción entre el fluido de formación y las características de la inyección utilizada, no resultando plenamente apto el análisis de las curvas resistivas para el reconocimiento de facies litológicas o la determinación del tipo de depósito sedimentario atravesado

a partir de las mismas.

Por otro lado en los años ochenta Allen y Miall introducen el término de Arquitectura Sedimentaria para definir el arreglo externo de depósitos sedimentarios en afloramientos rocosos, lo que permitió la determinación del orden de jerarquía de límites entre capas y cuerpos sedimentarios, así como la estructura interna de cada subdepósito establecido y su ciclicidad, factores que influyen concurrentemente en las propiedades petrofísicas e hidráulicas de los depósitos sedimentarios, considerados en su conjunto como elemento portador y transmisor de fluidos.

El presente trabajo pretende introducir la utilización de la respuesta geofísica directa del perfilaje GN y del SP en la definición preliminar de las arquitecturas sedimentarias tipo de la Formación Puelches, así como establecer una herramienta metodológica aplicable a otras regiones en la caracterización morfológica de unidades sedimentarias altamente acuíferas detectadas en las perforaciones exploratorias.

2. APLICACIÓN DE ARQUITECTURAS SEDIMENTARIAS TIPO A SECCIONES ACUÍFERAS

Con el objetivo de realizar un aporte al mejor conocimiento de los cuerpos sedimentarios acuíferos de una sección hidrogeológica considerada, así como para lograr una más exacta cuantificación de los posibles volúmenes de rocas reservorios involucrados, se ha creído conveniente extender la aplicación de esta forma de análisis al estudio de acuíferos, habiéndose identificado oportunamente cuatro Arquitecturas Sedimentarias Tipo separadas en una serie de Grupos, según origen y arreglo externo, *Amato S.D.(1998 a)*.

Definiéndose las siguientes:

Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
Gravoso	Arenoso	Areno-limoso	Limo-arenoso
Tipo Gr	Tipo Ar	Tipo Alm	Tipo Lar

A su vez y sin considerar el Grupo a que puedan pertenecer de acuerdo al paleoambiente que involucren, pueden subdividirse según la conformación del depósito o arquitectura externa en los siguientes arreglos:

- Acuífero U: de Arquitectura Unitaria o *Acuífero Unitario*
- Acuífero M: de Arquitectura Múltiple o *Acuífero Múltiple*

- Acuífero I: de Arquitectura Intercalada o *Acuífero Intercalado*

Unitario:

Conformado por el depósito producido por un solo ciclo sedimentario aislado, caracterizado por una litología predominante, con uno o varios arreglos o arquitecturas internas. Sus límites superior e inferior con otras secciones hidrogeológicas pueden ser transicionales, netos o erosivos y pueden denotar una tendencia granulométrica definida, se identifican por el cambio litológico que presentan con respecto a las unidades sub y suprayacentes.

Lateralmente pueden sufrir cambios faciales en cortas distancias, su espesor difícilmente supere los 10 m. Se los indica luego de la identificación del Tipo de acuífero con la letra mayúscula U separada por un guión. Ejemplos:

Gr - U (Gravoso - Unitario)

Ar - U (Arenoso - Unitario)

Múltiple:

Conformado por varios depósitos sedimentarios superpuestos con características semejantes y pertenecientes a más de un ciclo sedimentario, producidos por la repetición continua de procesos y eventos en el tiempo. Con uno o varios arreglos o arquitecturas internas por ciclo y con una tendencia granulométrica definida o difusa, que puede repetirse de igual forma para cada depósito superpuesto. Sus límites superior e inferior pueden ser transicionales, netos o erosivos hacia litologías con comportamiento hidrogeológico generalmente distinto.

Lateralmente pueden ser variables en espesor ocupando gran extensión especialmente en sentido del flujo que les dio origen. Espesores entre 30 m. y 60 m. son comunes en estos depósitos multicapa. Se los denomina al igual que los anteriores con la denominación del Tipo de acuífero seguido luego de un guión por la letra mayúscula M.

Ejemplos:

Ar - M (Arenoso - Múltiple)

Lar - M (Limo-arenoso - Múltiple)

Intercalado:

Conformado por varios depósitos sedimentarios aislados con características semejantes y pertenecientes a eventos sedimentarios que poseen cierta ciclicidad, generándose como producto de condiciones ambientales similares que se reinstalan cada cierto periodo de tiempo, dando como resultado la interestratificación de los mismos con depósitos sedimentarios de otro origen o incluidos en un sub-ambiente diferente al que pertenece el acuífero identificado.

Sus contactos son netos o erosivos con litologías que generalmente presentan un comportamiento hidrogeológico diferente al del Acuífero Intercalado. En otros casos ambas secciones que se alternan tienen con algunas diferencias, comportamiento de capa acuífera, con lo cual puede hablarse de Acuíferos Intercalados.

Los espesores de cada capa si bien no son muy potentes, pueden ser muy variables, aproximadamente entre 3 y 10 m al igual que su alcance areal. Se lo denomina con la sigla del Tipo correspondiente, seguido luego de un guión por la letra mayúscula I.

Ejemplos:

Gr - I (Gravoso Intercalado)

Alm - I (Areno-limoso Intercalado)

3. DISEÑOS DE ARQUITECTURAS SEDIMENTARIAS DE LA FORMACIÓN PUELCHES Y SU RESPUESTA GEOFÍSICA

La región nordeste de la provincia de Buenos Aires presenta en su Sección Epiparaniana definida por *Sala J.M. (1975)* y *Hernández M. A., et al (1975)*, dos subunidades acuíferas muy vinculadas entre sí, desarrolladas en los Sedimentos Pampeanos y en la Formación Puelches, las que presentan casi exclusivamente Arquitecturas iniciales de *Tipo Lar* y *Tipo Ar* respectivamente.

La Formación Puelches, *Santa Cruz J.N. (1972)*, de considerable extensión regional en el ámbito de las provincias de Chaco, Santa Fe y Córdoba, se desarrolla en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires, desde el este en la costa del Sistema del Plata hasta las localidades de Rojas, Junín y Bragado por el oeste, mientras que hacia el sur fue descrita en Saladillo y General Belgrano, yace por debajo de los mencionados Sedimentos Pampeanos y su base se halla en contacto algo erosivo con la Formación Paraná. Se señalan como depósitos silicoclásticos de edad pliocena superior - pleistoceno inferior, mayoritariamente cuarzosos, de red fluvial, tipo anastomosado de gran escala, con predominancia de material arenoso mediano a fino y color amarillento pálido a dorado. Correspondientes a depósitos de corrientes encauzadas amplias con depósitos de barras laterales de gran tamaño y relleno de canal principal o secundario, gran desarrollo y continuidad areal, espesores que pueden superan los 30 metros, con tendencia granodecreciente, comenzando en la base con arenas gruesas con participación de clastos tamaño grava fina y sábulos hasta niveles de arena fina-muy fina en el techo, culminando en algunas oportunidades en depósitos de arcillas residuales.

En el caso de esta unidad, el estudio estadístico de la Media de muestras provenientes de catorce perforaciones de exploración realizadas en el Gran Buenos Aires, *Amato S.D. (1998 b)* ha determinado que las mismas varían entre Phi 0,582 y Phi 2,979. El 50,11 % de las muestras varía entre Phi 1 y Phi 2 correspondiéndose con granulometría de arena mediana. Un 43,33 % de las muestras analizadas varía entre Phi 2 y Phi 3 rango de las arenas finas y el 6,66 % restante queda ubicado en el tamaño de arena gruesa, Phi entre 0 y 1, pudiendo presentar incluso algunos niveles pelíticos en la sección superior o intercalados.

Como hemos mencionado, entre las herramientas de uso generalizado que mejor representan la configuración

y la litología silicoclástica altamente cuarzosa de los subambientes de la Formación Puelches se encuentran el registro del GN y del SP, con cuyos resultados de campo se ha intentado establecer una relación válida entre dichas curvas y el arreglo de los cuerpos sedimentarios presentes, así como establecer en forma preliminar la interpretación paleoambiental de los mismos dentro del cuerpo sedimentario y esqueleto del acuífero de interés en cada sondeo analizado.

A tal efecto se han establecido en los perfilajes de pozo analizados las denominadas "línea de base de las arcillas" (LBA) y "línea de máxima granulometría del depósito sedimentario" (LMG) que cortan las máximas y mínimas deflexiones para el caso de la curva GN, pertenecientes a cada segmento del depósito sedimentario identificado como Formación Puelches, obteniéndose un rango de variación de valores de cuentas por segundo (CPS) en cada extremo considerado. Se debe considerar que estas líneas y sus valores correspondientes son de carácter relativo, fueron determinadas para la presente unidad formacional, cuya composición litológica y condiciones de yacencia se consideran relativamente homogéneas en el ámbito nororiental de la provincia de Buenos Aires y luego del análisis de varios pozos perfilados, debiéndose establecer en otros casos el rango de variación de los valores de deflexión de ambas líneas consideradas, teniendo en cuenta que el comportamiento de las mismas depende de la naturaleza mineralógica y textural de la unidad en estudio y de su espesor y profundidad.

La identificación de las deflexiones máximas y mínimas de la curva SP y especialmente de la curva GN tienen relación directa con el inicio y la finalización de los sucesivos ciclos de sedimentación que en una gran proporción de ejemplos pueden identificarse en esta formación y que dan como resultado final distintos tipos de arreglos sedimentarios a considerar. La Formación Puelches desde el punto de vista de su Arquitectura Sedimentaria, responde al Tipo Arenoso fluvial, Tipo II o Ar f; donde el término Ar hace referencia a su textura dominante de carácter arenoso y la letra f a su Grupo de origen, de carácter fluvial.

A partir de esta clasificación inicial y de acuerdo al análisis estadístico de muestras sedimentológicas, se han podido establecer para la misma unidad, tres Tipos externos básicos generales, definidos en la clasificación citada anteriormente e identificables ante el perfilaje GN y ante su presentación conjunta con el perfilaje SP. Ellas son:

Arquitectura Tipo Ar f - U (Arenoso fluvial - Unitario)

Se correspondería con depósitos sedimentarios, relacionados a un canal fluvial principal en área de llanura, con dominio del transporte tractivo de granos y alta migración en el tiempo, lo que le otorga espesores importantes, gran

desarrollo areal y una tendencia granulométrica poco definida, sin interrupciones mayores en la depositación; generando acuíferos continuos de gran espesor y excelente rendimiento. Pueden superar los 10 metros de espesor.

La respuesta al perfilaje múltiple de pozo para esta unidad, en áreas de depositación como la expuesta, produce configuraciones de curvas de registro continuo y según patrón de referencia, con valores de tipo constante en todo el espesor involucrado, en la mayoría de los casos el registro de potencial espontáneo ronda valores entre -15 y -20 mv (milivoltios).

Con mayor precisión en cuanto a la definición del tipo litológico involucrado debe considerarse a la curva representativa del gamma natural, la cual presenta valores en este caso que generalmente pueden variar escasamente entre 4 y 9 CPS. Estableciéndose una tendencia a obtener una sola "línea representativa de base de arcillas" (LBA) y otra única "línea correspondiente a la de mayor granulometría" (LMG), según los puntos de máxima y mínima deflexiones de la curva del gamma natural existente en este tipo de depósito. Ambos perfilajes considerados, dan origen a "electrofacies" de tipo *Cilíndrica Lisa*.

Dicha respuesta de las curvas en área de canal principal, se explica debido a la existencia de secuencias con base y techo generalmente netos, involucrando rellenos con base moderada a fuertemente erosiva y culminaciones de sedimentos finos directamente sobre los sedimentos psamíticos debido a rápido proceso de abandono de canal.

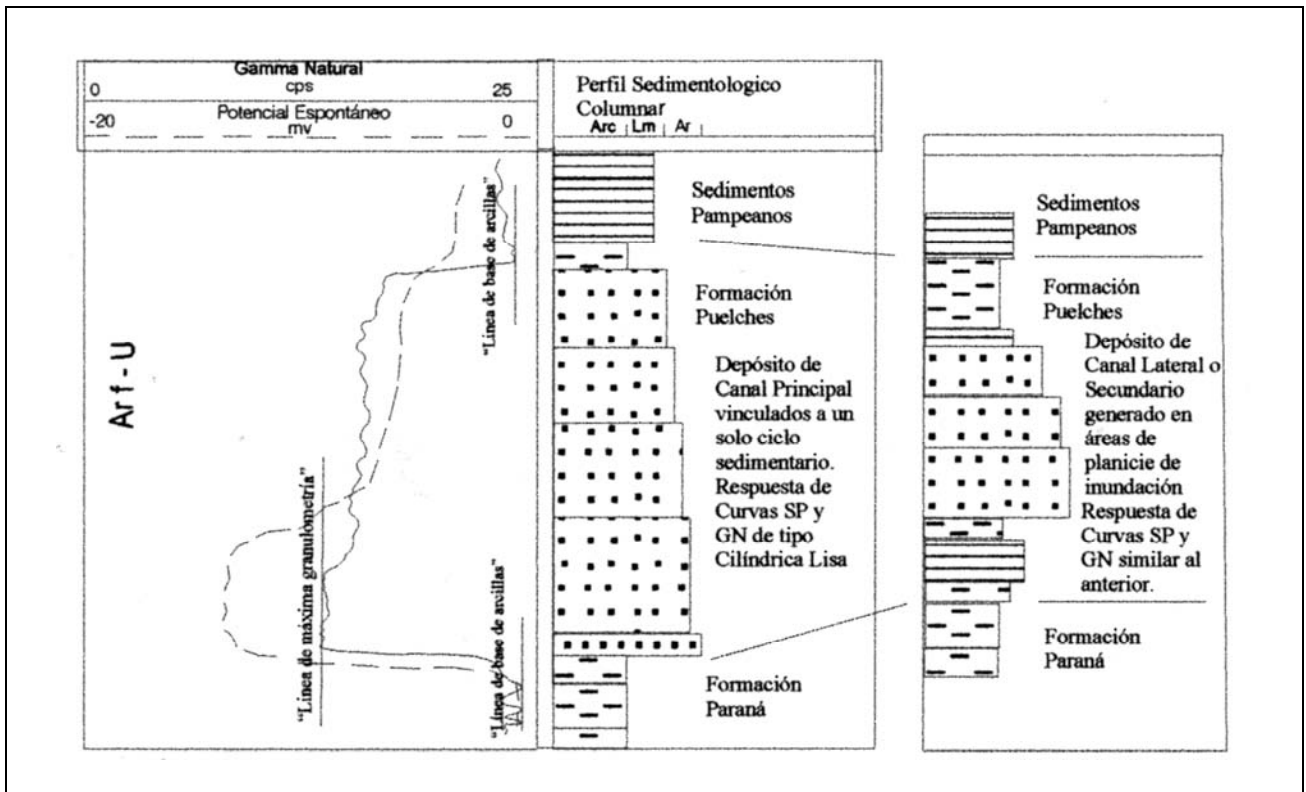
En algunos casos el Acuífero Puelches con Arquitectura Tipo Ar f - U puede estar representado por depósitos sedimentarios vinculados a canales laterales o secundarios, desarrollados en áreas del dominio de la planicie de inundación, en estos casos la sección acuífera arenosa, se halla reducida en su espesor y limitada por abundante sedimentación pelítica siendo la respuesta al perfilaje de menor espesor y algo menos constante. Ver figura 1

Arquitectura Tipo Ar f - I (Arenoso fluvial - Intercalado)

Se producen debido a la alternancia de depósitos arenosos generados por corrientes tractivas y capas de sedimentos pelíticos generados por procesos de decantación en ambiente de muy baja energía. En general estas capas acuíferas intercaladas presentan espesores inferiores a los 5 metros y su comportamiento desde el punto de vista hidrogeológico es generalmente bueno debido a la comunicación lateral que presentan las secciones arenosas intercaladas.

La respuesta de las curvas del perfilaje múltiple de pozo, referidas al potencial espontáneo si bien no alcanza a definir con precisión cada uno de los cuerpos arenosos involucrados, presenta un aspecto algo más accidentado que en el caso anterior, como respuesta a la alternancia de

FIGURA 1: CONFIGURACIÓN TIPO DE LA FORMACIÓN PUELCHES CON ARQUITECTURA DE ACUÍFERO UNITARIO, ÁREA DE CANAL PRINCIPAL Y SECUNDARIO.



litologías que se presentan en este tipo de arquitectura sedimentaria. En el caso de la curva del perfilaje del gamma natural, el resultado muestra aceptable correlación con la intercalación de litologías que presentan, dando lugar a segmentos arenosos de escasa respuesta y con deflexiones de "curvas de máxima granulometría" (LMG) entre 4 y 12 CPS con intercalaciones de picos o segmentos generalmente de menor espesor con valores de deflexiones de "línea de base de arcillas" (LBA), entre 15 y 20 CPS, referidos a litologías finas con participación de matriz limo-arcillosa. Estableciéndose en la mayoría de estos casos una cantidad de pares de LMG y LBA similar a la cantidad de ciclos sucesivos de depositación. La configuración final de las electrofacies que se produce en este sub-ambiente tiene carácter de tipo *Campana Aserrada*, generalmente discontinua, dado por la intercalación de bancos pelíticos arcillosos en toda la formación. Para el caso en que los sucesivos ciclos arenosos intercalados conserven prácticamente su granulometría basal, la configuración de la curva GN de esperar es de tipo *Cilíndrica Aserrada*. Ver figura 2

Arquitectura Tipo Ar f - M (Arenoso fluvial - Múltiple)

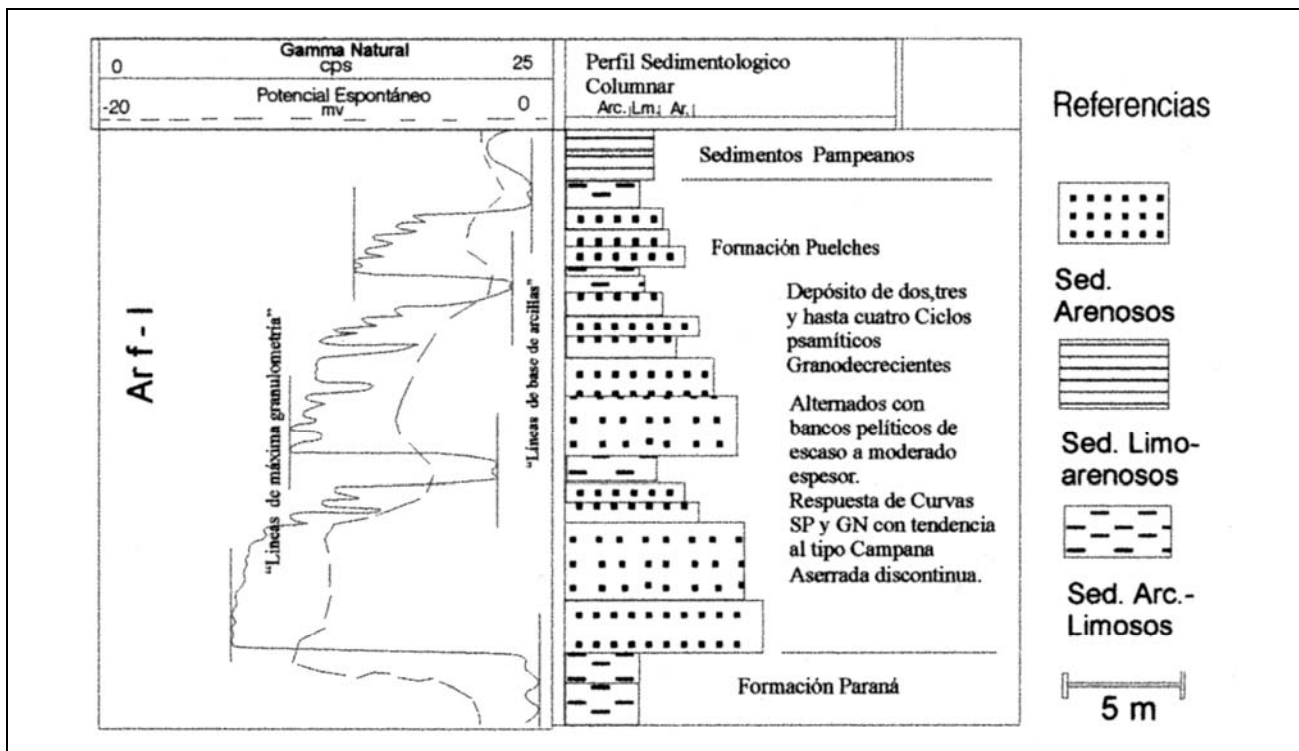
A menudo perfiles columnares de esta unidad que aparentemente se presentan como un gran ciclo

granodecreciente, ante un análisis sedimentológico mas detallado señalan un arreglo externo de hasta cuatro ciclos granodecrecientes superpuestos sin intercalación de pelitas de espesor considerable, dicha situación ha sido descrita en numerosas localidades de la provincia de Buenos Aires, como Ezeiza, La Plata, Florencio Varela y San Isidro. Cada nuevo ciclo se inicia con un nivel energético superior, cuya base erosiva se genera sobre sedimentos mas finos pertenecientes a la sección superior del ciclo anterior, generándose Arquitecturas de Acuífero Múltiple o de ciclos superpuestos que se inician generalmente con arenas gruesas o medianas y concluyen en arenas finas-muy finas.

En este caso, cada ciclo individualizado podría correlacionarse a un bedset en el sentido expresado por Van Wagoner *et al* (1987), con espesores entre 2 metros y 4 metros y vinculado a la profundidad que tendrían los canales en cada ciclo sedimentario.

Si bien el arreglo de cada ciclo, al igual que la secuencia general, es de tendencia granodecreciente hacia el techo, la base general de la formación contiene generalmente los sedimentos más gruesos de toda la columna, en algunos casos el ciclo sedimentario puede culminar con la depositación de sedimentos pelíticos finos que no fueron eliminados por el poder erosivo del ciclo siguiente, lo que daría origen en ese caso a las ya consideradas Arquitecturas Tipo Ar f - I.

FIGURA 2: CONFIGURACIÓN TIPO DE LA FORMACIÓN PUELCHES CON ARQUITECTURA DE ACUÍFERO INTERCALADO



Por otra parte la superposición de arreglos granodecrecientes con eliminación por erosión de las secciones arenosas finas y pelíticas cuspidales de cada ciclo podría dar lugar a un arreglo final similar a la de una Arquitectura Tipo Ar f - U (de tipo unitaria).

Igual que en el caso anterior, la curva de potencial espontáneo, si bien no señala con definición los límites de cada ciclo íntimamente superpuesto, indica una tendencia granodecreciente de toda la columna, factible de establecer de base a techo, con valores de -15 a -7 mv respectivamente.

Por su parte el registro de gamma natural, con mayor grado de definición litológica que el registro del potencial espontáneo, presenta una menor probabilidad que en el caso anterior de definir los límites de cada uno de los tres o cuatro ciclos granodecrecientes que pueden presentarse, esto se debe a la ausencia de las intercalaciones pelíticas de importancia, que sí se presentan cuando el acuífero posee arquitectura de tipo Ar f - I.

En estos casos puede establecerse más de una "línea de máxima granulometría" (LMG) con valor relativo para la primera línea basal de mínima deflexión entre 5 y 8 CPS, hasta llegar a la superior cuspidal con valores de deflexión de hasta 14 CPS, es decir que se podrán indicar posiblemente varias líneas de máxima granulometría, pero en la mayoría de los casos las mismas no se encuentran

acompañadas por la individualización de una cantidad semejante de deflexiones de "líneas de base de arcillas" (LBA), debido a una menor o nula participación de sedimentos finos limo-arcillosos intercalados en el sedimento arenoso a excepción generalmente de su sección cuspidal.

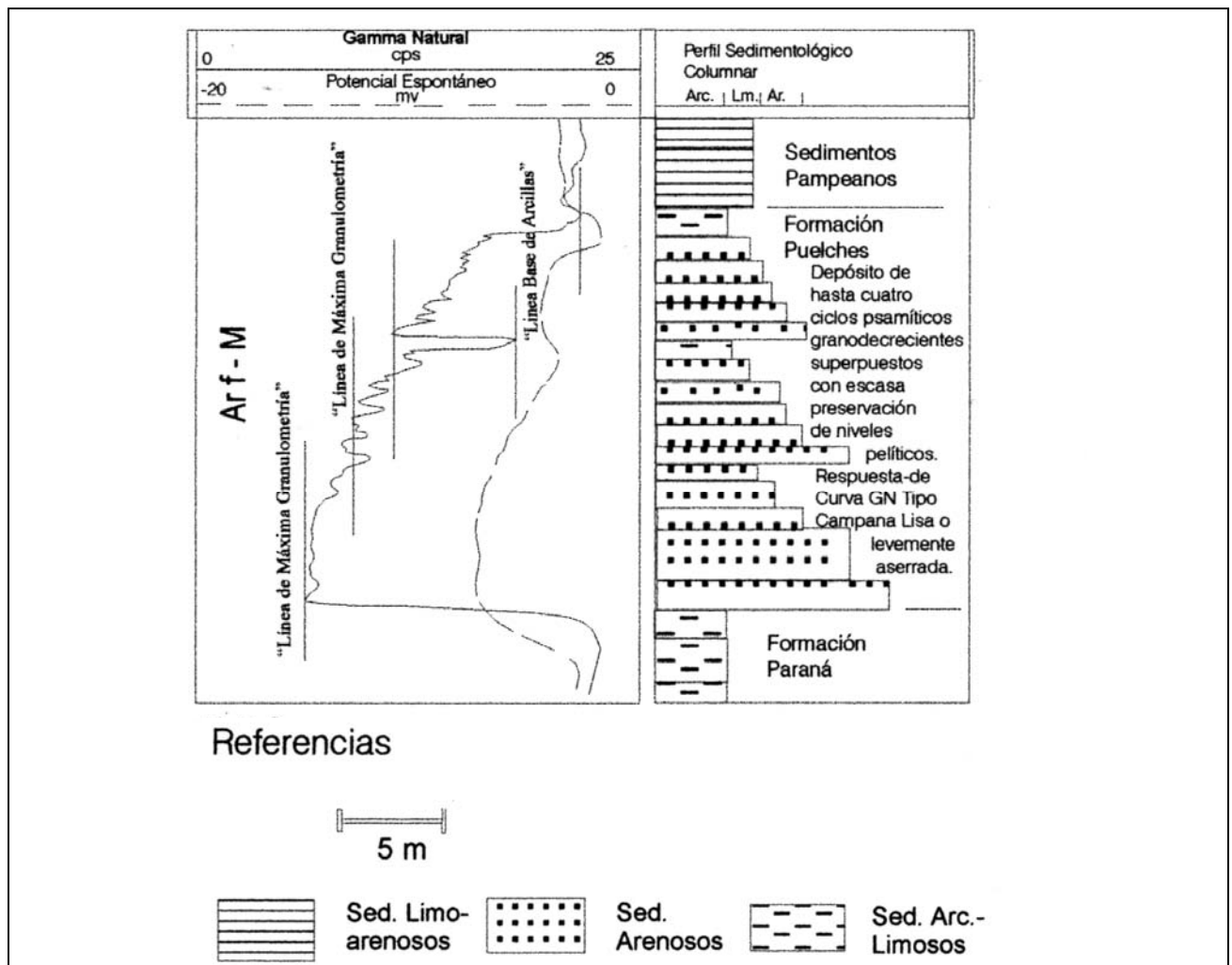
En caso de no existir prácticamente elementos pelíticos entre los ciclos sedimentarios superpuestos las electrofacies se presentan con forma de *Campana Lisa*, o presentarse de tipo *Campana levemente Aserrada*, en caso de que los mismos culminen con escaso material fino no erosionado por el ciclo siguiente superior. Ver figura 3

4. CONCLUSIONES

- Luego del análisis integral de catorce sondeos exploratorios de la Formación Puelches y de más de ochenta perforaciones descriptas por diferentes organismos y empresas que tuvieron como objetivo dicha unidad acuífera, podemos aportar que si bien cualquier sistematización que pretenda caracterizar todos los casos particulares de arreglos sedimentarios acuíferos posibles y su respuesta geofísica sería incompleta, puede establecerse que en términos generales si existe una correlación aceptable entre ambas metodologías.

El análisis estadístico realizado sobre muestras sedimentológicas pertenecientes a perforaciones exploratorias al Acuífero Puelches en diversos puntos de la

FIGURA 3: CONFIGURACIÓN TIPO DE LA FORMACIÓN CON ARQUITECTURA DE ACUÍFERO MÚLTIPLE



provincia de Buenos Aires, nos señalan que hay una buena correlación entre la configuración de depósito, su arreglo externo o Arquitectura Sedimentaria Tipo y su respuesta inmediata obtenida mediante el perfilaje múltiple de pozo y especialmente en el caso del registro del gamma natural.

- Dichas configuraciones Arquitectónicas pueden agruparse en tres modelos base generales descriptos, los que tienen a su vez, correspondencia con las denominadas "electrofacies" o "radiofacies" halladas en los ejemplos analizados y bajo las formas mencionadas.
- Mientras que las Arquitecturas Tipo establecidas necesitan para su definición un detallado análisis granulométrico de sedimentos y en algunos casos la obtención de testigos-corona, la respuesta geofísica es casi inmediata y puede correlacionarse en gran medida con las primeras, permitiendo establecer a priori una idea clara sobre la conformación del acuífero en cada sondeo, así como realizar a partir del perfilaje geofísico conjunto, por ejemplo en una batería de

bombeo, un análisis espacial del acuífero mediante el estudio de sus "radio o electrosecuencias", contribuyendo a establecer su conformación más probable, obteniéndose valores de parámetros volumétricos más ajustados que pueden ser utilizados en una cuantificación más precisa del acuífero, incluso a tener en cuenta en su modelación matemática.

- La utilización de las Arquitecturas Sedimentarias Tipo en la clasificación y descripción morfológica de las secciones acuíferas encontradas en la Formación Puelches asociado a la definición de las "radio o electrofacies" que producen dichos arreglos deposicionales puede constituir una metodología de estudio en todo el ámbito de desarrollo geográfico de esta unidad o servir como metodología expeditiva en el reconocimiento preliminar de unidades poco conocidas como son en la actualidad las secciones acuíferas pertenecientes a la Formación Paraná, en la provincia de Buenos Aires o de otras en el resto del país.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ALLEN, J.R.L., 1978.

Studies in fluvial sedimentation: an exploratory quantitative model for the architecture of avulsión controlled alluvial suites.

Sediment Geol., 21: 129-147.

AMATO, S.D. 1998 (a).

Clasificación de Acuíferos Mediante el Uso de Arquitecturas Sedimentarias Tipo en la Provincia de Buenos Aires. República Argentina.

Cuarto Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. (ALHSUD). Montevideo. Uruguay.

AMATO, S.D. 1998(b).

Informe Sedimentológico sobre la Formación Puelches en el ámbito de la provincia de Buenos Aires.

Informe Inédito, conclusiones preliminares. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente I.N.A.

HERNANDEZ, M.A., AUGE M.P. Y J.CECI, 1975.

Geohidrología de acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires.

VI Congreso Geológico Argentino Tomo II: 479-500. Buenos Aires.

MIALL, A.D. 1985.

Architectural Elements Analysis: A new Method of Facies Analysis Applied to fluvial deposits.

En Recognition of Fluvial Depositional Systems and their resource potential. Chapter 3. Society of economic paleontologists and mineralogists SEPM Short Course N19.

PIRSON, S.J. 1977.

Geologic well log analysis. second edition.

Gulf Publishing Co. Houston.

SALA, J.M. 1975.

Recursos Hídricos. Especial mención de las aguas subterráneas.

Relatorio de la Provincia de Buenos Aires .

Congreso Geológico Argentino: 169-193 Buenos Aires.

SANTA CRUZ J.N., 1972.

Estudio Sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires.

Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XXVII N°1: 1- 62.

VAN WAGONER J.C., MITCHUM R.M., POSAMENTIER H.W. Y VAIL P.R. 1987.

Seismic Stratigraphy interpretation using Sequence Stratigraphy. Part II.

En Atlas of Seismic Stratigraphy. American Association Petrology Geology. Studies in Geology N°27: 11-14.



Normativa para obras viales frente al impacto ambiental

Una propuesta alternativa

Bejerman, Norberto Jorge - Cabral, Sandra

Resumen

Sobre la base de los contenidos planteados como Medidas de Mitigación del Impacto Ambiental de la Obra Vial del Módulo Ambiental del Manual Operativo del Programa Caminos Provinciales (Préstamo BIRF 4093 - AR), el cual hace suyo el contenido del Manual de Evaluación y Gestión Ambientales de Obras Viales (MEGAOV) de la Dirección Nacional de Vialidad (1993), se desarrolló una propuesta de modificación a los fines de implementar, a modo de Pliego General de Especificaciones Técnicas de Impacto Ambiental para Obras Viales, una herramienta que permita enmarcar ambientalmente las consecuencias de las diversas acciones ejecutadas con relación al proyecto de una obra vial.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito del impacto ambiental vinculado a las obras viales, es de uso habitual el *Manual de Evaluación y Gestión Ambientales de Obras Viales (MEGAOV) de la Dirección Nacional de Vialidad (1993)*. El mismo fue adoptado, con leves modificaciones, por el Programa Caminos Provinciales (Préstamo BIRF 4093 - AR) bajo el nombre de Módulo Ambiental para Obras Viales del manual Operativo del mencionado Programa.

Desde la implementación de dicho Programa, el punto 2 de la Sección III del mencionado módulo (Medidas de mitigación del impacto ambiental de la obra vial) ha sido utilizado como Pliego General de Especificaciones Técnicas de Impacto Ambiental para Obras Viales. Ahora bien, simultáneamente con su utilización se ha llevado a cabo la revisión de los contenidos con el objeto de generar una propuesta superadora atendiendo a los criterios desarrollados por los autores en lo referido a la

mitigación de los impactos producidos sobre el medio ambiente por las diversas acciones desarrolladas durante la ejecución de una obra vial. Además se incorporaron medidas de mitigación vinculadas con aspectos que no fueron considerados oportunamente. Merecen destacarse como aspectos sustanciales de esta propuesta:

- a) La incorporación de temas no considerados en el mencionado Manual, por ejemplo gestión de los residuos.
- b) La modificación del apartado 3.3. Marco Legal General.
- c) El reemplazo del apartado 3.4. Penalidades, por otro denominado "Régimen de Infracciones".

En todos los casos el objetivo ha sido facilitar, por parte del contratista y de la inspección de obra, la implementación de las medidas de mitigación pertinentes para, de tal modo, poder, al menos, preservar el medio ambiente del área de ejecución de la obra.

En el Anexo I se incluyen aquellas partes del Pliego tal como se utilizan en Córdoba y que han sido modificadas a los fines de su eventual utilización en otras jurisdicciones.

Entregado: 30 de Junio de 2000 ■ Aceptado: 11 de Setiembre de 2000

Unidad Ambiental - Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba
Av. Figueroa Alcorta 445 - 5000 Córdoba
e-mail: jbejerman@infovia.com.ar

**PLIEGO GENERAL DE ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS DE IMPACTO AMBIENTAL
PARA OBRAS VIALES**

1. Medidas de mitigación del impacto ambiental de la obra vial

1.1. Introducción

Todas las especificaciones técnicas que aquí se detallan deberán ser consideradas por los Contratistas de las obras viales, sin desconocer las recomendaciones específicas planteadas como resultado de los estudios de impacto ambiental llevados a cabo con relación al proyecto a ejecutar.

El Contratista deberá producir el menor impacto ambiental perjudicial, durante la construcción, sobre los suelos, cursos de agua, calidad del aire, organismos, comunidades indígenas, otros asentamientos humanos y medio ambiente, en general.

Los daños a terceros causados por incumplimiento de estas normas serán de responsabilidad del Contratista, quien deberá resarcir los costos que resulten de dicho incumplimiento.

El Contratista deberá divulgar el presente pliego a sus trabajadores, a través de los medios que considere adecuados.

1.2. Normas generales de desempeño de personal

1.2.1. Aspectos relativos a la Flora y Fauna

- a) Se prohíbe estrictamente al personal de la obra la portación y uso de armas de fuego en el área de trabajo, excepto al personal de vigilancia expresamente autorizado para ello.
- b) Quedan prohibidas las actividades de caza en las áreas aledañas a la zona de construcción, así como la compra o trueque de animales silvestres (vivos, embalsamados, pieles y otros subproductos), cualquiera sea su objetivo.
- c) Se limitará en áreas silvestres, y se prohibirá en jurisdicción de Áreas Naturales Protegidas, la presencia de animales domésticos.
- d) Queda prohibida, por parte de los trabajadores, la pesca en ríos, quebradas, lagunas y cualquier cuerpo de agua, por medio de explosivos o redes. Esta podrá sólo ser ejecutada con anzuelos y solo para autoconsumo, en la medida que no viole las disposiciones legales vigentes.
- e) Se prohíbe la quema, que en caso de ser llevada a cabo hará pasible a quien la ejecute de las sanciones previstas en la normativa del tema.

1.2.2. Aspectos relativos al Control de Malezas y Vegetales en Zona de Camino

- a) Se deberá restringir el uso de herbicidas, de modo tal de no afectar los cultivos existentes en la zona aledaña al camino ni las especies vegetales presentes en banquinas y taludes que resulten beneficiosas a los fines de la obra y su operación. Queda prohibido el uso de productos químicos que no estén incluidos en el listado mencionado en...*
- b) Toda maleza y plaga vegetal, tras su corte, deberá ser distribuida en los préstamos quedando prohibida su acumulación de modo tal que no modifiquen el drenaje ni el paisaje. Queda prohibido el uso del fuego, según lo establecido en...*

1.2.3. Aspectos Relativos a la Calidad y el Uso del Agua

- a) Se evitará la captación de aguas en fuentes susceptibles de secarse, o que presenten conflictos con su uso por parte de las comunidades locales.
- b) Por ningún motivo la Contratista podrá efectuar tareas de limpieza de sus vehículos o maquinaria en cursos de agua o quebradas, ni arrojar allí residuo alguno.

1.3. Normas para la empresa contratista y/o concesionaria

La Empresa deberá cumplir con las siguientes normas durante la construcción, además de ser responsable del cumplimiento de las anteriores.

1.3.1. Aspectos relativos a la Vegetación y a la Fauna

- a) El corte de vegetación debe hacerse con sierras de mano y no con topadoras, para evitar daños en las zonas aledañas y a otra vegetación cercana.
- b) Para los encofrados de obras de drenaje y otras obras de arte no se podrá utilizar madera proveniente de la tala de las especies arbóreas existentes en la zona. La misma deberá ser obtenida en los establecimientos comerciales dedicados a tal fin. En el caso que la misma sea insuficiente, se buscará reciclar el material ya utilizado y si fuera justificado se comprará madera ya aserrada.

La madera a utilizar deberá estar en buen estado para garantizar la ejecución de la obra, por cuanto su falla puede provocar la contaminación del suelo y/o de cursos de agua por vertido de los morteros empleados.

- c) Si los trabajos se realizan en zonas donde existe peligro potencial de incendio de la vegetación circundante, se deberá:

* Se debe mencionar el número de ley, nacional y/o provincial, que corresponda.

- Adoptar las medidas necesarias para evitar que los trabajadores enciendan fuego.
 - Dotar a todos los equipos e instalaciones de elementos adecuados para que en el caso de presencia de fuego el mismo pueda ser extinguido.
 - Se deberán asignar los roles a cumplir, por parte del personal, para el caso de ocurrencia de un incendio.
- d) En el caso de sectores con instrumentos legales que los constituyan como Áreas Naturales Protegidas se deberá respetar el marco jurídico y reglamentario propio de la jurisdicción y trabajar en conjunto con la entidad responsable.

Aspectos relativos a la Extracción de Árboles

- a) La tala o extracción de árboles deberá ser impedida, salvo que esté prevista en el proyecto y haya sido autorizada por la Unidad Ambiental.

La Inspección de Obra, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental, autorizará, o no, la extracción de los árboles que a criterio del Contratista interfieran con la ejecución de las tareas a desarrollar. Dicha situación deberá ser informada a la Unidad Ambiental. Se deberá agotar la instancia de ejecutar la poda de formación de los ejemplares arbóreos que pudieran producir problemas en la circulación, a los fines de inhibir su extracción.

- b) Se deberá restringir a la mínima superficie en la que se necesite llevar a cabo.
- c) Se deberán tomar las precauciones de modo tal que la acción no produzca daños a terceros y/o a bienes.
- d) Se deberá señalar el camino al momento de desarrollar las tareas.

1.3.2. Aspectos relativos a la Gestión de los Residuos

- a) Se definen como Residuos a todos aquellos materiales desechados en los procesos y operaciones vinculados con las obras viales, sean generados en el obrador, en las plantas de la obra no deberá dejar Pasivos Ambientales, para lo cual se deberán implementar las medidas de mitigación correspondientes a cada caso. La Inspección de Obra elaborará de asfaltos y hormigones, cuanto a lo largo de la zona de camino y zona de obra.
- b) La construcción, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental tendrá a cargo el control de la mencionada implementación.
- c) Todos los Residuos serán clasificados como asimilables a domiciliarios (o de baja peligrosidad) y no asimilables a domiciliarios (o de peligrosidad considerable).

Asimismo serán controlados en su ciclo de vida, desde la generación hasta su tratamiento y/o disposición final, incluyendo su almacenamiento a acopio transitorio o definitivo, según corresponda, en áreas bajo vigilancia y control, preferentemente en la zona del obrador.

- d) En el caso de los residuos clasificados como asimilables a domiciliarios, se podrá optar por su traslado a vertederos controlados instalados en la zona y habilitados por la Autoridad Ambiental de la Provincia. En su defecto, se dispondrán en un relleno sanitario instalado a ese efecto en el obrador, siguiendo los criterios mínimos de selección del sitio y operación del relleno.
- e) En el caso que dentro del obrador se ubique un relleno sanitario manual, el vertedero deberá estar separado físicamente para lo cual se puede hacer imprescindible la colocación de barreras de muy baja permeabilidad en base y taludes de las fosas, la colocación de barreras móviles para impedir la voladura de livianos, etc.
- f) Para aquellos residuos clasificados como no asimilables a domiciliarios se seguirán criterios concordantes con la legislación de Residuos Peligrosos. En particular lo referente a combustibles, lubricantes, compuestos asfálticos y materiales o suelos contaminados con este tipo de sustancias.
- g) El transporte de los residuos peligrosos así como su tratamiento y disposición final deberá llevarse a cabo según lo establecido en las normas legales que regulan dicha actividad. Su incumplimiento lo hará pasible de las sanciones previstas en la Ley...* y la legislación nacional aplicable.
- h) Para el caso que se encuentren residuos patógenos el Contratista o la Inspección de Obra deberá informar a las autoridades sanitarias de la zona respecto del material encontrado a los fines que las mismas actúen en el marco de la legislación vigente.
- i) La selección del sitio y la definición de características de proyecto del Vertedero de Residuos deberá seguir criterios de análisis y caracterización territorial, prestando especial atención a aspectos vinculados con la migración de lixiviados (permeabilidad del sustrato y profundidad del nivel freático), relieve, régimen de temperaturas, precipitaciones y vientos, distancia a vías de circulación de aguas superficiales, distancia al borde urbano, distancia a usos del suelo incompatibles con la operación del vertedero, etc.

* Se debe mencionar el número de ley, nacional y/o provincial, que corresponda.

- j) Queda prohibido el uso del fuego, según lo establecido en la Ley...*

1.3.3. Aspectos relativos a la Protección de las Aguas

- a) Para evitar la interrupción de los drenajes, se colocarán las alcantarillas simultáneamente con la nivelación de la ruta y la construcción de terraplenes. Nunca se postergará esto para después de la construcción de las rutas.
- b) Cuando exista la necesidad de desviar un curso de agua o construir un paso de agua, y no se requiera su uso con posterioridad; se deberá restaurar el curso de agua al estado en que se encontraba previo a la ejecución de las mencionadas tareas.
- c) Los drenajes deben conducirse respetando su curso natural.
- d) El Contratista tomará las medidas necesarias para garantizar que los excedentes de cemento, limos, arcillas o concreto fresco que pudieran persistir tras su utilización sean retirados del sector para evitar la eventual contaminación de lechos o cursos de agua. Se los deberá trasladar al lugar seleccionado para la disposición final de los residuos sólidos.
- e) Los residuos de poda y/o tala no deben llegar a las corrientes de agua ni deberán ser quemados, bajo ninguna circunstancia. En función del volumen que signifique, se definirá el sitio donde deberán ser transportados. Dicha decisión estará a cargo de la Inspección de Obra, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental.
- f) 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, como ríos, esteros, embalses o canales, sean éstos naturales o artificiales. El procedimiento de eliminación deberá cumplimentar lo establecido en el punto 1.3.2. del presente Pliego.
- g) Debe evitarse que las aguas de lavado o enjuague de hormigoneras sean vertidas a lechos o cursos de agua.

1.3.4. Aspectos relativos a la Protección de Sitios y Monumentos del Patrimonio Natural y Cultural

Cuando durante la explotación de canteras se encuentre material arqueológico y/o paleontológico se dispondrá la suspensión inmediata de excavaciones que pudieran afectar dichos yacimientos. Se dejará personal de custodia con el fin de evitar posibles saqueos y se procederá a dar aviso de inmediato a los organismos pertinentes, quienes evaluarán la situación y determinarán sobre cuándo y cómo continuar con las excavaciones.

1.3.5. Aspectos relativos a las Áreas Naturales Protegidas

(ANP)

En aquellos sectores con instrumentos legales que las constituyan como Áreas Naturales Protegidas (ANP's), de cualquier jurisdicción (nacional, provincial, municipal o comunal) o dominio (público o privado), además de las normas anteriores se tendrá en cuenta lo siguiente:

- a) Antes de iniciar las actividades de proyecto se deberá tomar contacto con la entidad responsable de la administración y manejo del ANP con el fin de establecer criterios comunes para las características de planificación, diseño, construcción y operación de la zona de camino, conforme a la normativa vigente para la misma.
- b) Se extremarán las medidas de vigilancia en lo atinente a caza, pesca, tráfico de especies animales y vegetales; para lo cual se deberá contemplar, llegado el caso, el funcionamiento de retenes madereros y ambientales durante las 24 horas.
- c) Se deberán colocar vallas y cartelera informativa a los fines de anunciar la existencia del A.N.P.; invitar a respetar las especies o sitios de interés que ella protege; recomendar el cumplimiento de la legislación o reglamentación del ANP e invitar a no arrojar basuras, no usar las bocinas, no realizar actividades de caza o pesca si en los reglamentos del ANP están establecidas como actividades prohibidas.
- d) Se deberá definir un límite a la velocidad máxima de circulación en estas zonas; que será menor en las horas de la noche por la posibilidad del atropellamiento de fauna.
- e) Se deberá reducir al máximo la zona de desbosque y destronque. Dichas tareas, así como las de limpieza y raleo de vegetación, deben ser ejecutadas bajo la supervisión de la Inspección de Obra y del personal a cargo de la administración del ANP.
- f) Se deberá reducir al máximo la cantidad de plantas asfálticas debido a que son altamente contaminantes.
- g) La extracción de áridos deberá ser ejecutada acorde lo planteado en el Reglamento para la explotación de canteras de áridos y remoción de suelos en jurisdicción de la Administración de Parques Nacionales (Resolución 128/97).
- h) Se deberá, en el caso que existan corredores de fauna, ejecutar y/o conservar las obras de arte (por ejemplo puentes, alcantarillas) que permitan su preservación.
- i) Se deberán preservar aquellos sitios que por su ubicación puedan ser utilizados como miradores.

* Se debe mencionar el número de ley, nacional y/o provincial, que corresponda.

- j) Se deberá respetar el marco jurídico y reglamentario propio de la jurisdicción donde se efectúa la intervención.

1.3.6. Aspectos relativos al Obrador

- a) El sitio de emplazamiento deberá ser seleccionado de modo tal que no modifique notoriamente la dinámica socioeconómica de la zona. Cuando las rutas atraviesan áreas ambientales sensibles, se evitará ubicarlos en dichas zonas.
- b) Se deberá ubicar de forma tal que no modifique la visibilidad ni signifique una intrusión visual importante.
- c) 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 paisajístico, cultural o histórico.
- d) Se evitará que esté situado en las adyacencias 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.
- e) Dentro del obrador deberán estar diferenciados los sectores destinados al personal (sanitarios, dormitorios, comedor) de los destinados a tareas técnicas (oficina, laboratorio), a vehículos y maquinarias (zona de guarda, reparaciones, lavado, engrase, etc.), a la planta asfáltica, a la planta de hormigón, a la planta de trituración y a los acopios.
- f) En el caso de los sectores destinados al personal y a las tareas técnicas, los mismos deberán contar con equipos de calefacción y refrigeración que aseguren una temperatura adecuada para la época del año que corresponda.
- g) 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 su limpieza o 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 la recolección de aceites y lubricantes para su posterior traslado a sitios autorizados por la normativa vigente.
- h) 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.
- i) Todos los obradores deberán contar con las instalaciones sanitarias adecuadas (Inodoro, ducha, lavabo y vestidores) para higiene personal, incluyendo la evacuación de los líquidos cloacales (cámara séptica y pozo absorbente o pozo negro). Se deberán cumplir las Normas y los Reglamentos Sanitarios vigentes.
- j) No se arrojarán residuos 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.
- k) No se permitirá el acceso de personas y/o animales al sitio de emplazamiento del relleno sanitario manual.
- l) Los residuos resultantes deberán ser tratados de acuerdo a lo establecido en el apartado 1.3.2 del presente Pliego, o según lo que establezca la Inspección de Obra, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental.
- m) En el caso de los residuos asimilables a domiciliarios, en un volumen equivalente a una población no mayor a 250 habitantes, se los podrá disponer en un relleno sanitario manual, debiéndose cubrir los mismos con una capa de material suelto de 15 cm de espesor con una frecuencia no mayor a 15 (quince) días. En el caso que los vientos sean constantes, se deberán colocar barreras móviles de alambre sobre bastidores de caño que deberán ser fijados al suelo. Esto impedirá la voladura de livianos.
- n) Para el caso que el Contratista considere la posibilidad de disponer los residuos asimilables a domiciliarios en un vertedero controlado cercano, los costos de manipuleo y transporte que pudieran ocasionarse quedan a cargo exclusivo del Contratista. Asimismo deberá presentar a la Inspección de Obra documentación respaldatoria, emitida por quien corresponda, autorizando el vertido.
- o) En el caso de las zonas del obrador donde se manipulen combustibles, lubricantes y/o compuestos asfálticos se deberá, previo a la fase de abandono, proceder al muestreo de suelos a los fines de determinar los niveles de contaminación de los mismos con el objeto de establecer las medidas de remediación que correspondieren.
- p) El muestreo de los suelos estará a cargo del Contratista bajo la supervisión de la Inspección de Obra, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental. Las muestras tomadas deberán ser remitidas a laboratorio a los fines de la ejecución de los ensayos que permitan determinar las sustancias presentes y su concentración de modo tal que se pueda

tipificar adecuadamente la categoría de residuo en la que se debe considerar el material analizado de acuerdo a lo establecido en la legislación aplicable. Bajo ninguna circunstancia se autorizará la remoción de suelo previo a los citados estudios.

- q) En el caso que los resultados de los ensayos indiquen que se está en presencia de residuos peligrosos, se deberá operar de acuerdo a lo que indica la normativa del tema e informar a la Autoridad Ambiental.
- r) Los obradores contendrán equipos de extinción de incendios y de primeros auxilios.
- s) Se deberá dotar al personal de equipo de seguridad industrial.
- t) Los obradores deberán cumplir con la normativa sobre seguridad e higiene laboral.
- u) Se deberá señalar adecuadamente su acceso, teniendo en cuenta el movimiento de vehículos y peatones.
- v) Con anterioridad a la emisión del acta de recepción de la obra la zona deberá ser recuperada ambientalmente y restaurada a su estado preoperacional. Esta recuperación debe contar con la aprobación de la Inspección de Obra.
- w) Una vez finalizada la obra el Contratista deberá dismantelar el obrador y remediar todo daño ambiental que haya producido (por ejemplo contaminación de suelos), de modo tal que el predio quede sin ningún pasivo ambiental. Con anterioridad a la emisión del acta de recepción de la obra la Inspección de Obra, con el apoyo de la Unidad Ambiental, arbitrará los medios para el eficaz control de tal situación.
- x) Los residuos resultantes deberán ser tratados de acuerdo a lo establecido en el apartado 1.3.2 del presente Pliego, o según lo que establezca la Inspección de Obra, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental.

1.3.7. Aspectos relativos a la Maquinaria y Equipo

Las siguientes medidas tienen por objeto prevenir el deterioro ambiental, evitando la contaminación de aguas, suelos y atmósfera.

- a) El equipo móvil, incluyendo maquinaria pesada, deberá estar en buen estado mecánico y de carburación, de tal manera que se queme el mínimo necesario de combustible a los fines de reducir las emisiones a la atmósfera.
- b) Se deberán prevenir los escapes de combustibles o lubricantes que puedan afectar los suelos o cursos, temporarios o permanentes, de agua. Si se llegara a producir, se deberán emplear las técnicas de remediación pertinentes a la situación e informar a la Inspección de

Obra en su carácter de representante de la Unidad Ambiental.

- c) En el caso que el vertido se produzca en un curso de agua, se deberá notificar, además de la Inspección de Obra, a la autoridad de aplicación considerando el peligro potencial que significa dicha situación para la población.
- d) En el caso del aprovisionamiento y el mantenimiento del equipo móvil y maquinaria, incluyendo lavado y cambio de aceites, el mismo se deberá llevar a cabo en el sector del obrador destinado a vehículos y maquinarias (zona de lavado, engrase, etc.). Los residuos generados, cuando se trate de aquellos asemeables a domiciliarios, deberán ser trasladados al relleno sanitario.

En el caso de los aceites, se los deberá almacenar en bidones o tambores para su ulterior traslado al sitio donde se los trate. La empresa contratista deberá cumplimentar con la normativa vigente en lo referido al transporte y recepción de los mismos.

Si por algún motivo estas tareas se llevaran a cabo fuera del obrador, se deberán tomar los recaudos para evitar cualquier tipo de contaminación. Para el caso que se produzca, se deberá informar a la Inspección de Obra y remediar dicha situación. La Inspección de Obra verificará que la remediación haya sido ejecutada, dejando constancia de ello por escrito.

El incumplimiento dará lugar a la aplicación del Régimen de Infracciones incluido en el Pliego General de Especificaciones Técnicas de Impacto Ambiental para Obras Viales.

1.3.8. Aspectos relativos a la Extracción de Materiales

- a) La extracción de materiales deberá ser llevada a cabo en zonas seleccionadas tras una evaluación de alternativas. La explotación será sometida a aprobación por la Inspección de Obra, en su carácter de Representante de la Unidad Ambiental, que deberá recibir por parte de la Contratista el plan de explotación e información del plan de recuperación del sitio.
- b) En el caso de remoción de suelo orgánico de zona de préstamo, se lo deberá apilar y cubrir con plástico con el fin de resguardarlo para su utilización en futuras restauraciones.
- c) Cuando la calidad del material lo permita, se aprovecharán los materiales de los cortes para realizar rellenos o como fuente de materiales constructivos, con el fin de minimizar la necesidad de explotar otras fuentes y disminuir los costos ambientales y económicos.
- d) Los desechos de los cortes no podrán ser dispuestos a media ladera, ni arrojados a los cursos de agua. Se los

deberá disponer de modo tal que no produzcan modificaciones en el drenaje, en la calidad paisajística u otros problemas ambientales.

- e) Está prohibida la explotación de yacimientos en zonas forestadas.

Préstamos y Canteras

- a) Se deberá fijar la localización de los pozos, en general, a no menos de 200 m del eje y fuera de la vista del camino, excepto cuando se demuestre su imposibilidad. En tal caso, la Unidad Ambiental deberá aprobar la localización previo al inicio de la explotación.
- b) Los suelos orgánicos existentes en la capa superior de los yacimientos deberán ser conservados y depositados para posterior recubrimiento de las excavaciones y favorecer el rebrote de la vegetación.
- c) Todas las excavaciones deberán contar con drenaje adecuado que impida la acumulación de agua, excepto por pedido expreso y documentado de autoridad competente o propietarios de los predios.
- d) Una vez terminados los trabajos, las excavaciones del préstamo deberán adecuarse a la topografía circundante para facilitar el arraigo de la vegetación, evitar riesgos o inconvenientes para personas o animales y asegurar el escurrimiento de las aguas del área circundante hacia los drenajes naturales del camino.
- e) Los fondos de los pozos deberán tener pendientes adecuadas para asegurar el escurrimiento de las aguas de forma tal de no modificar el drenaje del terreno.
- f) La ubicación de seleccionadoras de áridos, zarandeadoras, etc. Deberá contar con la aprobación de la Inspección de Obra, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental. Se deberá asegurar una reducida emisión de ruido, humos, gases y residuos o partículas.
- g) Cuando estén próximas a áreas urbanas, las tareas deberán realizarse en horario diurno. Los estándares de emisión y los horarios de funcionamiento serán convenidos con el área ambiental y la inspección de acuerdo al tipo de equipo y localización.
- h) Sólo se podrán utilizar materiales de canteras que tengan declaración de Impacto Ambiental según el Título Decimotercero, Sección Segunda del Código de Minería denominado "De la Protección Ambiental para la Actividad Minera" instituido por la Ley nacional N° 24.585, otorgado para canteras por la Autoridad Minera Provincial, reglamentado por Resolución 025/98.

1.3.9. Aspectos relativos a los Escombros

- a) Los escombros producidos por cualquier acción vinculada con la ejecución de la obra no podrá permanecer en el sitio donde se los produjo por un período mayor a 48 horas.
- b) La disposición final de los escombros deberá ser informada a la Inspección de Obra, quien en su carácter de representante de la Unidad Ambiental aprobará, o no, el sitio propuesto atendiendo a los eventuales inconvenientes que podrían producir dichos materiales sobre el drenaje, la dinámica paisajística de la zona, etc.

1.3.10. Aspectos relativos al Uso de Explosivos

- a) El uso de los materiales explosivos se restringirá únicamente a las labores propias de la construcción que lo requiera. Su ubicación tendrá en cuenta las normas de seguridad que permitan garantizar que no se pongan en peligro las vidas humanas y el medio ambiente, así como infraestructura, equipamiento y vivienda existentes, por riesgo de accidentes. Los aspectos vinculados a la seguridad del almacenamiento deberán ajustarse a la normativa vigente.
- b) Se procurará almacenar el mínimo posible de explosivo que permita realizar razonablemente las obras de construcción, según el cronograma establecido para su uso.
- c) En áreas silvestres se deberá ajustar el cronograma de voladuras con el fin de afectar lo menos posible los períodos más sensibles de la fauna (nidificación, migración, etc.) y las temporadas de mayor oferta turística.

1.3.11. Aspectos relativos a las Plantas de Producción de Materiales

- a) Deberán asegurar una reducida emisión de ruido, humos, gases y residuos o partículas.
- b) Cuando estén próximas a áreas urbanas, las tareas de producción y construcción deberán realizarse en horario diurno. Los estándares de emisión y los horarios de funcionamiento serán convenidos con el área ambiental y la inspección de acuerdo al tipo de equipo y localización.

1.3.12. Aspectos relativos a las Plantas de Hormigón

- a) La ubicación de las plantas de hormigón deberá ser aprobada por la Inspección de Obra en su carácter de Representante de la Unidad Ambiental.
- b) Deberán asegurar una reducida emisión de ruido, humos, gases y residuos o partículas.
- c) Cuando estén próximas a áreas urbanas, las tareas de

producción deberán realizarse en horario diurno. Los estándares de emisión y los horarios de funcionamiento serán convenidos con el área ambiental y la inspección de acuerdo al tipo de equipo y localización.

1.3.13. Aspectos relativos a las Plantas Asfálticas

Teniendo en cuenta que la elaboración de mezclas asfálticas, cuya producción implica la combinación de agregados secos en caliente mezclados con cemento asfáltico, puede originar un deterioro de la calidad del aire por emisión de partículas y humos así como la contaminación del suelo se deberán considerar los siguientes puntos:

- a) A los fines de localizar adecuadamente la planta se deberán considerar aspectos tales como dirección de escurrimiento superficial del agua, dirección predominante del viento, proximidad de mano de obra, etcétera. Asimismo no tendrá que ejercer una modificación relevante de la calidad visual de la zona, ni una intrusión visual significativa, ni una fuente potencial de accidentes por causa del ingreso/egreso de vehículos.
- b) En el caso de estar ubicada en la cercanía de núcleos poblados, de cualquier magnitud, las tareas se deberán realizar en horario diurno con una emisión sonora que no supere los niveles tolerados por el oído humano.
- c) Que los áridos ingresen lo suficientemente limpios de modo tal que al movilizar el material no se produzca un movimiento de partículas que sea perjudicial al medio en el que se sitúa la planta.
- d) En el caso que por acción de los vientos se produzca un excesivo movimiento de material del acopio que afecte núcleos poblados de cualquier magnitud o emprendimientos de cualquier tipo, se deberá implementar, mediante el uso de postes y lona, la delimitación de dicho sector.
- e) Se deberán utilizar plantas asfálticas con tecnología acorde a los requerimientos de polución controlada, mediante el uso de colectores de polvo.
- f) Se deberán usar, donde sea técnicamente factible, quemadores a gas. En el caso de utilizar quemadores de petróleo, será necesario usar la calidad de combustible apropiado a los fines de disminuir la contaminación atmosférica por emisión excesiva.
- g) En las plantas de tambor secador mezclador, la llama debe estar protegida para evitar el quemado del asfalto. Si sale humo azul es señal que dicho material se está quemando, lo que deberá ser corregido.
- h) Se deberá ejercer un control estricto de la producción. Debe recordarse que uno de los requisitos esenciales para obtener una mezcla asfáltica caliente de alta calidad es la continuidad operativa de la planta

Por ello es beneficioso contar con tolvas compensadoras o de almacenamiento, conectadas a las plantas por sistemas de transporte, porque se minimizan las paradas y puestas en marcha de la planta.

- i) La prueba del funcionamiento de los equipos empleados para la ejecución de los mismos (picos del camión regador) deberá ser realizada en los lugares indicados por la Inspección de Obras, con el fin de no contaminar cursos de agua y/o suelo, o producir deterioro de la vegetación existente. Todo daño ambiental producido como consecuencia de la citada prueba deberá ser remediado por el Contratista, de modo tal que el predio quede sin ningún pasivo ambiental. Con tal fin se deberá proceder al muestreo de suelos durante la fase de abandono a los fines de verificar, mediante los correspondientes ensayos, la concentración de sustancias contaminantes.
- j) Una vez retirada la planta del lugar de emplazamiento, se deberá remediar todo daño ambiental que se haya producido (por ejemplo contaminación de suelos), de modo tal que el predio quede sin ningún pasivo ambiental.

1.3.14. Aspectos relativos a los Caminos Auxiliares

- a) La construcción de caminos auxiliares no deberá ejercer modificaciones definitivas sobre el drenaje, el paisaje, el uso del suelo y el entorno, en general.
- b) Se deberá mantener el camino auxiliar constantemente regado a los fines que no se levante polvo al momento de paso de vehículos.
- c) Se deberá dar cumplimiento a las pautas ambientales planteadas en el presente Pliego.
- d) En la fase de abandono el contratista deberá restituir el sector utilizado a las condiciones que tenía previo a su uso como camino auxiliar.

1.3.15. Aspectos relativos a las Terminaciones y presentación final de la obra

- a) Se verificará que la zona de camino quede libre de residuos.
- b) El cumplimiento de los Aspectos incluidos en el presente Pliego son condicionantes para la recepción Provisional de la Obra.

1.3.16. Obligaciones de la Empresa en relación con el Personal

Ante la posibilidad de ocurrencia de epidemias de enfermedades infecto-contagiosas, así como de aquellas que se producen por ingestión de aguas y alimentos contaminados, se deberán cumplir las siguientes normas sanitarias:

- a) Para ingresar a trabajar en la compañía constructora,

los potenciales trabajadores deberán someterse a un examen médico.

- b) Se tendrá especial cuidado en hervir las aguas para el uso humano y para el lavado de alimentos que se consumen crudos, con agua igualmente hervida cuando éstos se preparen en los obradores.

2. Normas de seguridad ambiental

2.1. Aspectos relativos al Manejo y Transporte de Materiales Contaminantes y Peligrosos

El manejo y transporte de materiales contaminantes y peligrosos debe cumplir con los términos definidos por la Ley N° 24051 y su reglamentación.

2.2. Aspectos de Seguridad relativos a la Suspensión Temporal por Períodos Prolongados

En los casos que por motivos de cualquier índole se suspenda la ejecución de la obra por un tiempo prolongado, se deberá asegurar que dicha situación no impida el normal escurrimiento del agua de las precipitaciones ni provoque daños ambientales respecto a la seguridad de personas, animales y bienes.

2.3. Aspectos relativos al Transporte durante la Construcción

- a) Se deberá asegurar que ningún material caiga de los vehículos durante el paso por calles o caminos públicos, particularmente en zonas pobladas.
- b) Se podrán delimitar las áreas de trabajo para minimizar polvo y la compactación con la consecuente pérdida de vegetación.
- c) Los circuitos deberán estar convenientemente señalizados y se deben evitar los daños a caminos públicos, vehículos y/o peatones.

3. Mecanismos de fiscalización y control de obra

3.1. Autoridad de aplicación

La responsabilidad del cumplimiento del Pliego General de Especificaciones Técnicas de Impacto Ambiental para Obras Viales, para obras no concesionadas, será de la D.P.V. a través de su inspección de obra.

La inspección de obra, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental, deberá verificar el cumplimiento del plan de mitigación de impactos ambientales establecidas en el Pliego Particular de Especificaciones Técnicas para Impacto Ambiental así como actuar en toda aquella circunstancia no prevista en el mencionado Pliego y que pudiera producir el deterioro del medio ambiente.

En el caso de realizarse instalaciones o acciones de obra en terrenos de jurisdicción nacional, provincial,

municipal o comunal, los Contratistas deberán ajustarse a la legislación de la jurisdicción de la que se trate.

3.2. El rol de la unidad ambiental

Es función de la Unidad Ambiental de la D.P.V. supervisar el cumplimiento de las condiciones establecidas en los Pliegos de Especificaciones Técnicas, en la legislación Nacional, Provincial, Municipal, Comunal y en el Programa de Vigilancia Ambiental.

Deberá también asesorar, atender sugerencias y pedidos de información de los Contratistas, sobre cualquier aspecto o acción de la obra referido a los aspectos ambientales del área de ejecución de la obra.

Las observaciones que realice la Unidad Ambiental a las acciones desarrolladas por el Contratista serán canalizadas a través de la Inspección de Obra, que deberá incluirlas en las ordenes de servicio que habitualmente realiza, llegando de esta manera a conocimiento de los Contratistas.

3.3. Marco legal general

La incorporación del marco legal tiene como objetivo que el contratista incorpore en el proyecto la consideración de la normativa existente en materia ambiental cualquiera sea el ámbito temporal o espacial de ejecución de una obra vial.

Los contratistas tienen como base para el desarrollo de sus actividades el conjunto de condiciones establecidas en el pliego, las reglamentaciones de la DPV y las normas nacionales provinciales y municipales aplicables que tienen en cuenta los aspectos ambientales que se vean afectados por la obra vial.

La trascendencia de la temática ambiental es cada vez mayor en el desarrollo de las actividades humanas en los distintos países y por tanto el cumplimiento de las normas que regulan las actividades como las que regulan los problemas ambientales y su impacto.

A partir de la reforma constitucional de 1994, debe tomarse especialmente en cuenta la incorporación del Artículo 41 en la Constitución que establece el derecho de todos los habitantes a gozar del derecho a un ambiente sano y opera importantes cambios en la percepción y protección de la problemática desde el mismo texto del artículo.

La legislación ambiental nacional cuenta con numerosas leyes relativas al ambiente como la ley 22421 de fauna, la ley 22428 de fomento de suelos, la ley 24051 sobre residuos peligrosos y un conjunto de leyes relativas a diversas temáticas como agua, aire, ruidos, flora, fauna, residuos, entre otras.

Este marco normativo debe considerarse al evaluar los posibles impactos de un proyecto hasta tanto se

dicten las normas que establezcan los presupuestos mínimos de calidad ambiental a nivel nacional (obligación establecida por el Artículo 41 de la Constitución Nacional).

En cada provincia deberán respetarse las leyes provinciales ambientales y de acuerdo a la ubicación del proyecto incluir las normas municipales existentes en materia ambiental, constituyendo en la evaluación de impacto ambiental los aspectos legales un ítem más a evaluar con posibilidades de explicitar en los pliegos las normas más importantes que deban respetarse en cada lugar.

3.4. Régimen de infracciones

El incumplimiento de las condiciones y reglamentaciones, mencionadas en el punto anterior, será penalizado por la D.P.V.

El inspector notificará al Contratista todos los defectos de los que el mismo tenga conocimiento, antes de finalizado el Período de Responsabilidad por Defectos, que se inicia en la fecha de Terminación, debiendo comunicar dicha situación a la Unidad Ambiental de la D.P.V.. El Período de Responsabilidad por Defectos se extenderá si los Defectos persisten, hasta el final del último Período de Corrección de Defectos.

Si el Contratista no ha corregido el Defecto dentro del Período especificado en la notificación del inspector, el mismo en conjunto con la Unidad Ambiental estimará el costo de la corrección del Defecto que deberá ser pagado por el Contratista llegando dicho importe hasta el 0,5% diario del presupuesto de obra; a la vez que deberá proceder al empleo de las técnicas de remediación pertinentes al daño ambiental producido. El Inspector podrá, si lo estima necesario, hacer corregir el Defecto por otra vía, también con cargo al Contratista.

ANEXO I

Artículos del Pliego como se los plantea en Córdoba

Se incluyen aquí aquellos artículos con el texto que se utiliza en los pliegos de la Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba y que han sido modificados expresamente con la intención de generalizar el uso del Pliego en diferentes provincias.

1.2.2. Aspectos relativos al Control de Malezas y Vegetales en Zona de Camino

- a) Se deberá restringir el uso de herbicidas, de modo tal de no afectar los cultivos existentes en la zona aledaña al camino ni las especies vegetales presentes en banquinas y taludes que resulten beneficiosas a los fines de la obra y su operación. Queda prohibido el uso de productos químicos que no estén incluidos en el listado mencionado en la Ley de Agroquímicos de la Provincia de Córdoba (Ley N° 6629).

- b) Toda maleza y plaga vegetal, tras su corte, deberá ser distribuida en los préstamos quedando prohibida su acumulación de modo tal que no modifiquen el drenaje ni el paisaje. Queda prohibido el uso del fuego, según lo establecido en la Ley N° 8751.

1.3.2. Aspectos relativos a la Gestión de los Residuos

- a) Se definen como Residuos a todos aquellos materiales desechados en los procesos y operaciones vinculados con las obras viales, sean generados en el obrador, en las plantas de elaboración de asfaltos y hormigones, cuanto a lo largo de la zona de camino y zona de obra.
- b) La construcción de la obra no deberá dejar Pasivos Ambientales, para lo cual se deberán implementar las medidas de mitigación correspondientes a cada caso. La Inspección de Obra, en su carácter de representante de la Unidad Ambiental tendrá a cargo el control de la mencionada implementación.
- c) Todos los Residuos serán clasificados como asimilables a domiciliarios (o de baja peligrosidad) y no asimilables a domiciliarios (o de peligrosidad considerable). Asimismo serán controlados en su ciclo de vida, desde la generación hasta su tratamiento y/o disposición final, incluyendo su almacenamiento a acopio transitorio o definitivo, según corresponda, en áreas bajo vigilancia y control, preferentemente en la zona del obrador.
- d) En el caso de los residuos clasificados como asimilables a domiciliarios, se podrá optar por su traslado a vertederos controlados instalados en la zona y habilitados por la Autoridad Ambiental de la Provincia. En su defecto, se dispondrán en un relleno sanitario instalado a ese efecto en el obrador, siguiendo los criterios mínimos de selección del sitio y operación del relleno.
- e) En el caso que dentro del obrador se ubique un relleno sanitario manual, el vertedero deberá estar separado físicamente para lo cual se puede hacer imprescindible la colocación de barreras de muy baja permeabilidad en base y taludes de las fosas, la colocación de barreras móviles para impedir la voladura de livianos, etc.
- f) Para aquellos residuos clasificados como no asimilables a domiciliarios se seguirán criterios concordantes con la legislación de Residuos Peligrosos. En particular lo referente a combustibles, lubricantes, compuestos asfálticos y materiales o suelos contaminados con este tipo de sustancias.
- g) El transporte de los residuos peligrosos así como su tratamiento y disposición final deberá llevarse a cabo según lo establecido en las normas legales que

regulan dicha actividad. Su incumplimiento lo hará pasible de las sanciones previstas en la Ley N° 7343, sus modificatorias y la legislación nacional aplicable.

- h) Para el caso que se encuentren residuos patógenos el Contratista o la Inspección de Obra deberá informar a las autoridades sanitarias de la zona respecto del material encontrado a los fines que las mismas actúen en el marco de la legislación vigente.
- i) La selección del sitio y la definición de características de proyecto del Vertedero de Residuos deberá seguir criterios de análisis y caracterización territorial, prestando especial atención a aspectos vinculados con la migración de lixiviados (permeabilidad del sustrato y profundidad del nivel freático), relieve, régimen de temperaturas, precipitaciones y vientos, distancia a vías de circulación de aguas superficiales, distancia al borde urbano, distancia a usos del suelo incompatibles con la operación del vertedero, etc.
- j) Queda prohibido el uso del fuego, según lo establecido en la Ley N° 8751.

3.3. Marco legal general

Los Contratistas deberán respetar además de las condiciones establecidas en el pliego, las reglamentaciones de la D.P.V. y la legislación nacional, provincial, municipal y/o comunal que corresponda, y que estén referidas a aspectos ambientales que sean afectados por la obra vial.

Constituyen este Pliego y pasan a formar parte del contrato de ejecución entre otros los siguientes documentos:

Leyes Nacionales

Ley N° 24051	De Residuos Peligrosos.
Ley N° 22421	De Conservación de Fauna.
Ley N° 22428	De Fomento de Conservación de Suelos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD. 1993

Manual de Evaluación y Gestión Ambientales de Obras Viales.

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.

Leyes Provinciales

Ley N° 6064	De Áreas Naturales de la Provincia.
Ley N° 6628	De Adhesión a la Ley Nacional de Fomento de Conservación de Suelos.
Ley N° 6629	De Agroquímicos.
Ley N° 7343	De Preservación, Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente.
Leyes N° 8300, 8779 y 8789	Modificatorias de la Ley N° 7343.
Ley N° 8529	De Áridos.
Ley N° 8751	De Incendios

Decretos

Decreto N° 3290/90	Reglamentario de la Evaluación de Impacto Ambiental.
Decreto N° 3786/94	Reglamentario de la Ley de Agroquímicos.

Resoluciones

Resoluciones N° 164/89, N° 16/91 y N° 30/92 del M.O.S.P sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo.

Y demás leyes vigentes en la Provincia de Córdoba.

AGRADECIMIENTOS

A la Abogada Marta Juliá, del Centro de Investigaciones Jurídicas y Sociales de la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Córdoba, por el asesoramiento en la redacción de lo referido al marco legal y al Ingeniero Alberto A. Marcuzzi, de la Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba, por sus comentarios técnicos.



Modificaciones morfológicas de la costa occidental de Génova derivadas de la construcción del nuevo puerto de contenedores Liguria - Italia*

Brandolini, P. ¹ - Canepa, G. ² - Fedolino, M. ² - Nicchia, P. ¹ - Ramella, A. ³ - Terranova, R. ⁴

Resumen

El presente estudio tiene por objeto la zona del nuevo puerto de contenedores de Génova, construido a poniente de la ciudad a lo largo de un tramo de costa de 5 km de longitud, entre colina y montaña, carente de zonas planas, por lo cual ha sido necesario crear grandes espacios en la zona marítima utilizando para ello una considerable cantidad de relleno con materiales de diversa naturaleza, alcanzando un avance en el mar de 1600 m por término medio y una batimétrica de 25 m. Las obras se apoyan en un lecho de sedimentos arcillosos, fangosos y arenoso del Cuaternario, que a su vez reposan sobre un substrato rocoso constituido por ofiolitas metamórficas y esquistos calcareos del Jurásico.

Tras un estudio geológico y geomorfológico de la zona costera, que ha comparado las condiciones preexistentes que constan en la documentación cartográfica y fotográfica, y examinados los resultados de los numerosos sondeos llevados a cabo en mar y tierra por parte de la Autoridad Portuaria, fue posible efectuar un análisis de las condiciones geo-ambientales derivadas de la implantación de esta gran obra.

Los estudios han evidenciado las variaciones morfológicas y dinámicas que se han ido produciendo en el curso de los 30 últimos años relacionadas con la marcha de la construcción, que han dado lugar a modificaciones de la deriva costera neta, orientada de occidente a oriente, con el consiguiente avanzar o retroceder de las playas restantes y las subidas y bajadas por erosión del fondo.

Los resultados de los estudios hechos en la costa emergida y en la submarina han demostrado su utilidad, tanto para la gestión actual de la zona portuaria como para la hipótesis de ampliación del puerto de contenedores hacia poniente.

Entregado: 24 de Noviembre de 2000 • Aceptado: 26 de Diciembre de 2000

1. DISAM, Sección histórico-geográfica, Universidad de los Estudios de Génova, e-mail: brando@unige.it
2. Autoridad del Puerto de Génova
3. Provincia de Génova
4. DIP.TE.RIS, Departamento para el Estudio del Territorio y de sus Recursos, Universidad de los Estudios de Génova
e-mail: brando@unige.it

* Estudio financiado en el Programma "Estudio geomorfológico de las costas rocosas", Fondi Ateneo, Universidad de Génova (Resp. Prof. Remo Terranova).

FOTO 1: PANORÁMICA DESDE EL NORTE



FOTO 2: PANORÁMICA DESDE EL ESTE



1. CARACTERES GENERALES DEL ÁREA Y DEL NUEVO PUERTO DE CONTENEDORES

La nueva zona del puerto de Génova destinada a los contenedores se encuentra situada a lo largo de la costa entre las localidades de Pegli y de Voltri, al oeste de la zona del Puerto Viejo, del puerto de Sampierdarena, del Aeropuerto y del puerto petrolífero del Multedo (Fig. 1).

Este tramo del litoral, que se extiende en línea recta a lo largo de 5 km, se caracteriza por una estrecha llanura fluvial-costera bordeada por pequeñas playas, localizadas al pie de los relieves montañosos pertenecientes a la cadena alpina de la Liguria centro-occidental, constituidos por ofiolitas y esquistos calcareos (Rovereto, 1939; Brandolini, Ramella y Terranova, 1994).

A partir de 1970, con el fin de satisfacer la demanda de nuevas zonas portuarias a destinar al desembarque y a la movimentación de contenedores, se empezó a construir una amplia nivelación del mar, con rellenos que se han hecho utilizando detritos inertes de diverso origen en el fondo comprendido entre la línea de la orilla y la batimétrica de 15 m (Cabona y Terranova, 1992; Terranova, 1996).

La superficie total afectada por las intervenciones para las obras del puerto asciende a 3.718.750 m², mientras la superficie marina afectada por los rellenos artificiales supone 1.500.000 m². El volumen de los detritos de diversa procedencia utilizados para el relleno en el mar asciende a 15.000.000 m³.

Los terraplenes del puerto se han consolidado utilizando dos técnicas diferentes: "Tamping" y "Precarga".

La primera solución ha afectado a una superficie de casi 320.000 m², formados por rellenos recientes (marinos y de tierra). Esta técnica se basa en la consolidación dinámica debida a la caída de un martillo pilón que pesa 10-15 t desde una altura de 10 m. Los cráteres causados por el impacto del martillo con el terreno se han ido rellenando con material lapídeo de pequeño tamaño para formar así las columnas que han consolidado el terreno por sustitución.

La segunda solución, "la precarga", está basada en la técnica de la consolidación del terreno con una carga similar a la de ejercicio. Los tiempos de permanencia de los materiales de precarga resultan de casi 4 meses.

Ambas soluciones han dado buenos resultados, elevando el módulo de deformación del terreno a valores próximos a 150 kg/m², valor que permite proceder a las sucesivas obras de pavimentación.

Se ha construido un dique externo de 2200 m de longitud, apoyada en el fondo a una profundidad de 25 m, situada a una distancia de 1375 m de la línea de costa, que presenta en el mar abierto una pared vertical de 30 m, proyectado para resistir a olas con una altura de hasta 7,80 m,

con longitud de ola hasta 197 m, suponiendo una reflexión total.

El muelle operativo, interno respecto al dique externo, tiene una longitud de 1400 m, que permite atracar diversos barcos al mismo tiempo, dotado de grandes grúas que se mueven en raíles, con profundidad de fondo de 15,5 m.

Para proteger la zona portuaria, además del dique externo, se han hecho otras obras en los lados oriental y occidental.

En el lado oriental se ha construido un gran dique rompeolas que surge a la extremidad del dique externo, orientado hacia tierra, formado por dos tramos, el primero de los cuales tiene 1000 m de longitud y se ha construido con módulos celulares de hormigón que tienen una altura de 15 m, el segundo con una longitud de 800 m se ha construido con tetrápodos de hormigón con un peso de 40 t.

En el lado occidental se ha construido un dique rompeolas de 1.100 m de longitud, formado por bloques de hormigón de 40 t, para proteger un amplio terraplén pegado a la línea de la costa en el cual se encuentran las estructuras de acceso de vehículos al puerto; para proteger la zona marina de entrada de los barcos al puerto se ha construido un muelle, de 600 m de longitud, compuesto por bloques celulares prefabricados con 15 m de altura.

Objetivo de este estudio es el análisis de las transformaciones costeras derivadas de la construcción de la nueva zona portuaria, con especial referencia a las variaciones de la línea del litoral, del fondo y de la deriva litoral.

2. CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

El área examinada está totalmente constituida por afloramientos de unidades ofiolíticas metamórficas, representadas por metabasitas, metagabbros, serpentinitas y lherzolitas, y de unidades de esquistos representadas por esquistos calcareos, esquistos micaceos y esquistos cuarzosos, ambas de la época jurásica, que forman juntos el Grupo de Voltri de los Alpes lígures (Rovereto, 1939; Limoncelli y Marini, 1969; Servizio Geologico Italiano, 1969; Capponi, 1990; Comune di Genova, 1996).

Por encima de estas unidades yacen pequeños afloramientos de brechas y conglomerados oligocénicos y de arcillas pliocénicas (Fig. 2).

Estas unidades geológicas en gran parte se han estudiado con los numerosos sondeos efectuados durante la marcha de los trabajos en la zona de mar enfrente del tramo costero examinado, cubiertos de depósitos marinos recientes y actuales, compuestos principalmente por arenas y gravas y con menor frecuencia de limos y arcillas, con espesores máximos cercanos a 20 m (Fig. 3).

FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

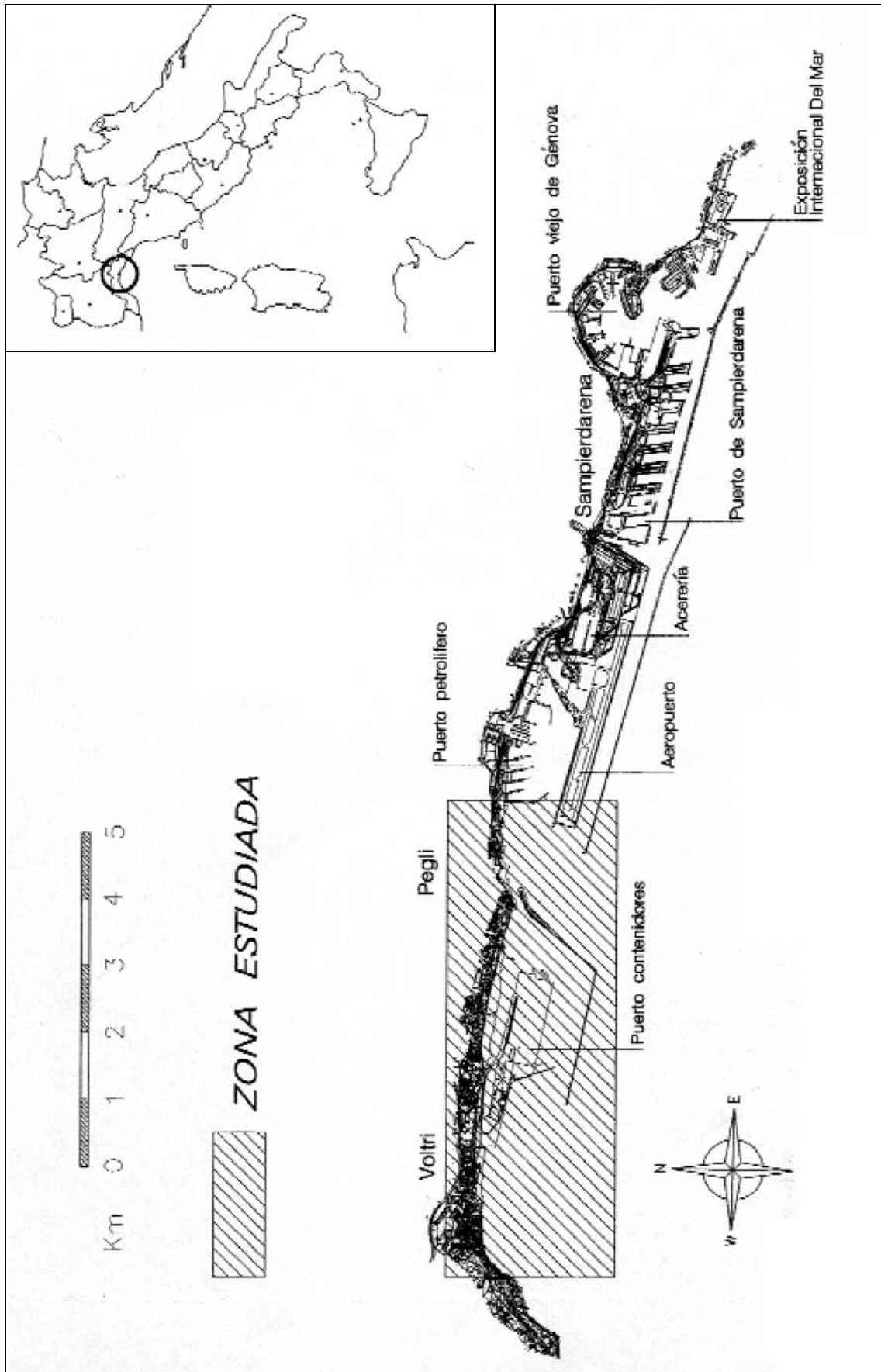


FIGURA 2: ESQUEMA GEOLÓGICO

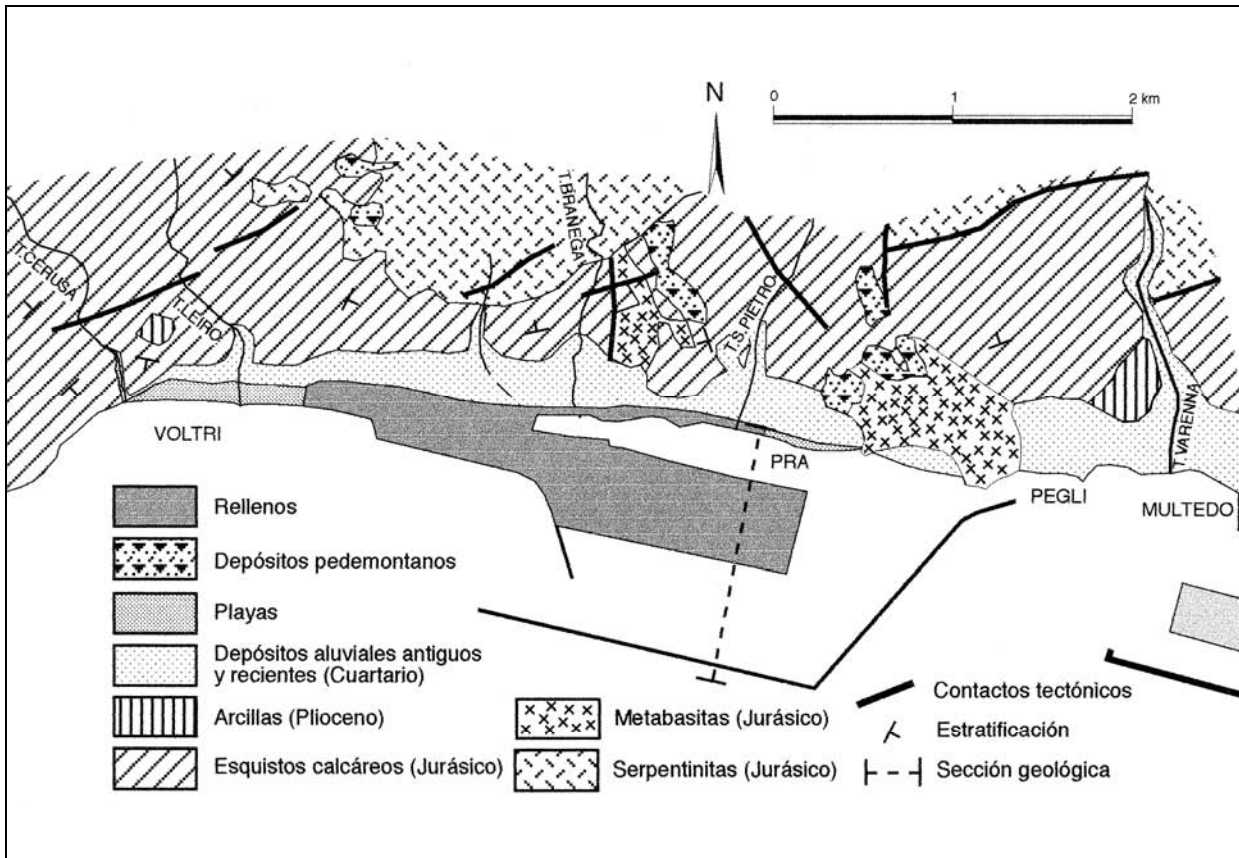
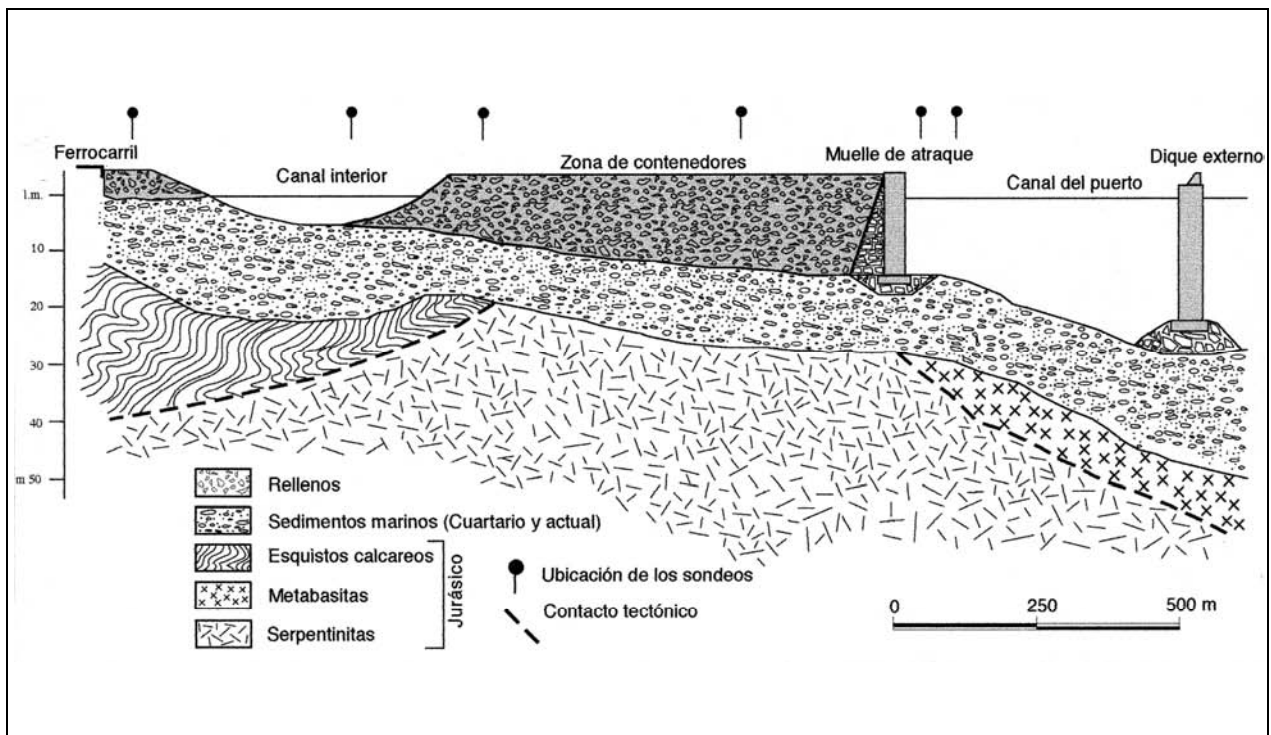


FIGURA 3: SECCIÓN GEOLÓGICA TRANSVERSAL



Depósitos cuaternarios, con un espesor máximo de 15 m, forman la estrecha llanura fluvial-costera que presenta anchuras variables de 100 m a 1000 m y están constituidos por las aportaciones sedimentarias de numerosos torrentes, que drenan pequeñas cuencas hidrográficas de 10-30 km², como por ejemplo los torrentes Cerusa, Leiro, Branega, San Pietro y Varenna (*Carobene y Firpo, 1994*).

Antes de empezar los trabajos de construcción de esta nueva área portuaria, todo este litoral estaba bordeado por una amplia playa formada por arenas, gravas y guijarros de rocas ofiolíticas y sedimentarias. Actualmente los tramos que quedan de esta playa, ya muy limitados, se encuentran solamente al oeste en la zona enfrente de la población de Voltri y al este en la desembocadura del torrente Varenna (*Brandolini, Ramella y Terranova, 1994, 1996*).

Las condiciones meteomarinas de la zona en estudio se caracterizan por un sector de travesía comprendido entre 115° y 235° N, en el campo del cual el sector dominante se debe al viento de lebeche, procedente de SO, comprendido entre 195° y 225° N, el cual es responsable de la deriva litoral prevaeciente de oeste hacia este, siendo bastante más débil la acción del viento de siroco, procedente de SE (Fig. 4).

3. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS

En este estudio los mapas topográficos y batimétricos, en escala 1:5000 y para algunas zonas en mayor detalle, levantados en 1994, se han comparado con mapas similares levantados en 1964 y 1984.

La comparación de estos muestra las variaciones de la marcha de la línea del litoral y de las batimetrías del fondo, de los cuales emergen los cambios de la morfología submarina y de los procesos dinámicos de la costa, en relación con el subseguirse temporal de las intervenciones desde 1970 a hoy y la específica tipología de las mismas (Figs. 4 y 5).

En especial, mediante los perfiles A-A y B-B hechos sobre la base de la fig. 4, se han podido identificar los tramos de playa emergida y de playa sumergida que se encuentran en condiciones de avanzar o retroceder (Fig.6).

La sección geológica de la fig. 3, formada mediante las secuencias estratigráficas obtenidas con el examen de los materiales litoideos de algunos de los numerosos sondeos efectuados en la zona examinada, pone de relieve la aparición en el substrato rocoso de algunas unidades geológicas y las relaciones entre las obras construidas (terraplén, muelle de atraque de los barcos y dique externo) y los sedimentos marinos que se apoyan en el substrato rocoso.

El mapa de la dinámica de la costa (Fig. 4) y el mapa

de las variaciones del fondo (Fig. 5) indican, entre Voltri y Pegli, las variaciones derivadas de la construcción del nuevo puerto de contenedores y la interacción con la deriva litoral dominante de oeste a este, que se pueden observar en lo referente a playa emergida y sumergida.

a) Playa emergida

- el tramo de playa comprendido entre la desembocadura del torrente Gerusa y la desembocadura del torrente San Giuliano está en fase de continua expansión, con anchos variables entre 40 m en el sector occidental y 140 m en el sector oriental;
- el tramo de costa que se extiende entre la desembocadura del torrente Branega y la desembocadura del torrente San Michele, correspondiente al canal de calma comprendido entre el relleno de la zona portuaria y la costa, está en fase de construcción artificial a continuación de la descarga de materiales inertes, con amplitudes oscilantes entre 70 m y 150 m;
- en el tramo de costa comprendido entre la desembocadura del torrente San Michele y la del torrente Sacchi están en marcha fenómenos de erosión, por lo cual la línea de la costa ha retrocedido hasta un máximo de 60 m;
- el tramo de costa comprendido entre la desembocadura del torrente Sacchi y hasta casi 250 m de la desembocadura del torrente Varenna se encuentra en condiciones de estabilidad;
- en el tramo de costa comprendido entre 250 m al oeste de la desembocadura del torrente Varenna y el muelle que delimita la terminal petrolífera de Mulledo la playa ha avanzado 50/70 m.

b) Playa sumergida

- los procesos de erosión en el fondo aparecen a partir de la costa rocosa de esquistos calcareos de Crevari, en la extremidad occidental de la zona considerada, hasta el lado occidental de la desembocadura del torrente Cerusa;
- procesos de acumulación están presentes entre la desembocadura del torrente Cerusa y la base del muelle rompeolas del puerto de contenedores, hasta la batimétrica de 5m;
- procesos de erosión se están produciendo en la zona comprendida entre la batimétrica de los 5 m y la de los 30 m, que se extiende entre la desembocadura del torrente Cerusa y la del torrente San Giuliano;
- parece estable la zona comprendida entre las batimétricas de los 10 m y de los 15 m que se extiende entre la desembocadura del torrente San Giuliano y el

FIGURA 4: MAPA DE LA VARIACIÓN DEL FONDO

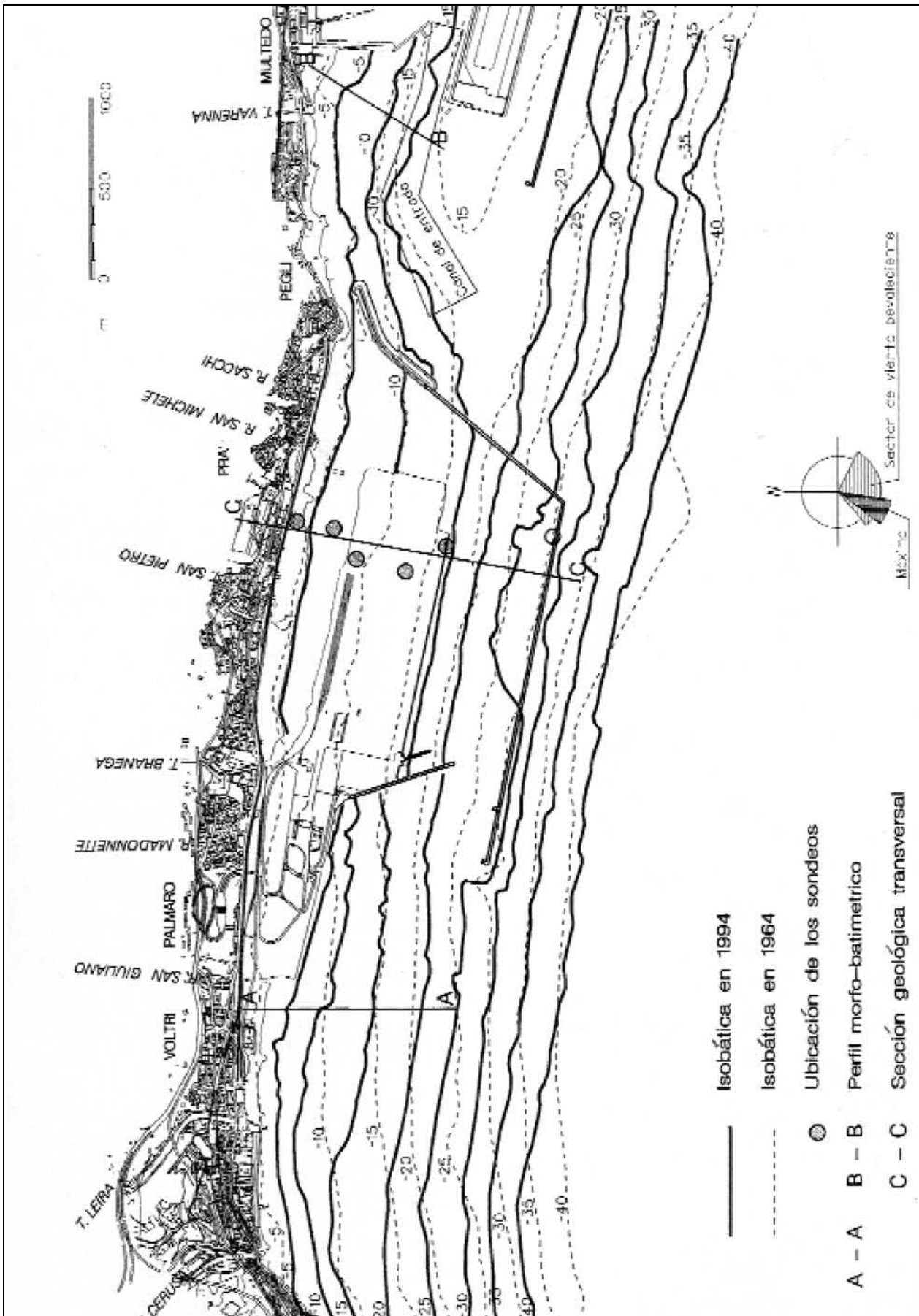


FIGURA 5: MAPA DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA

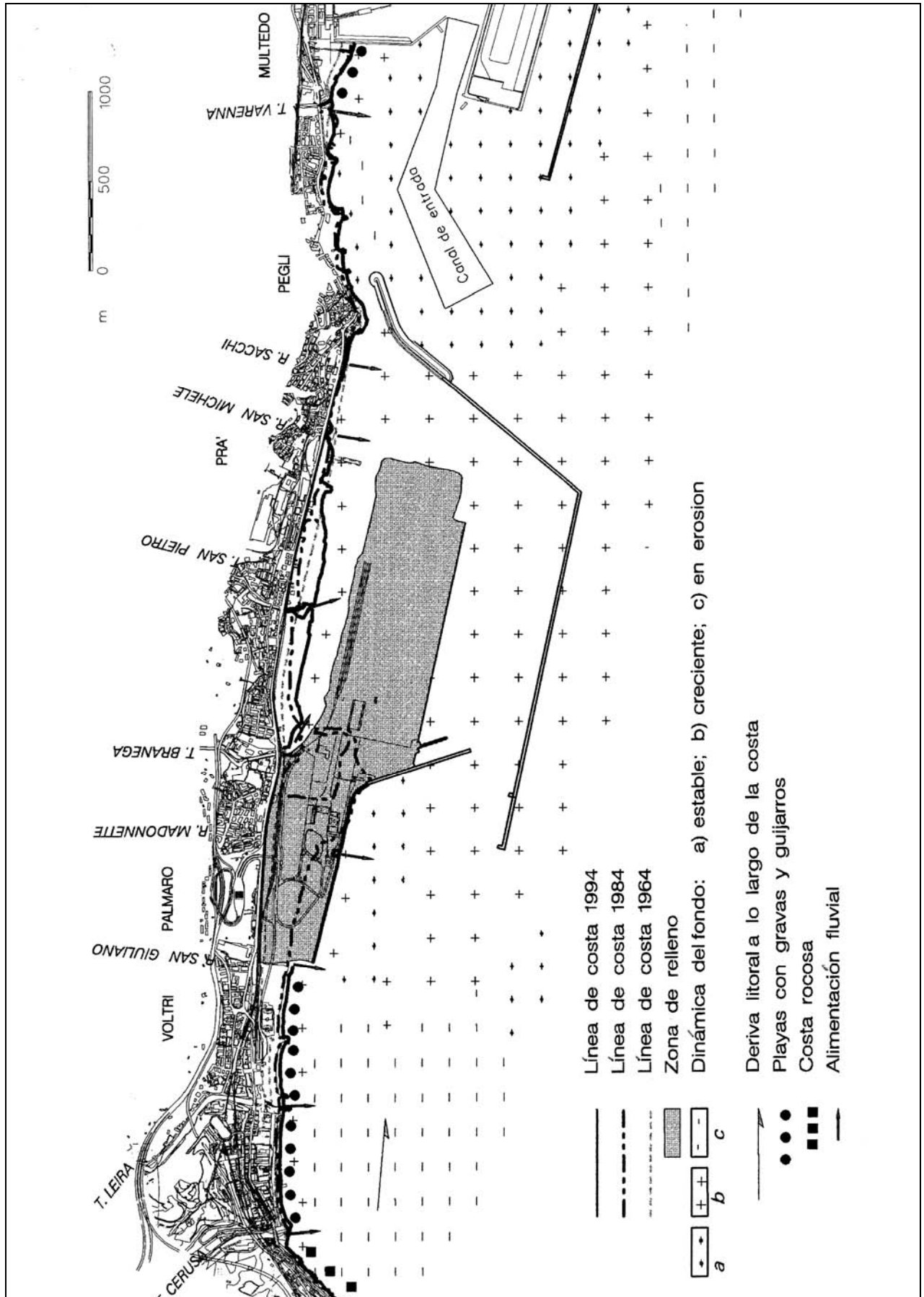
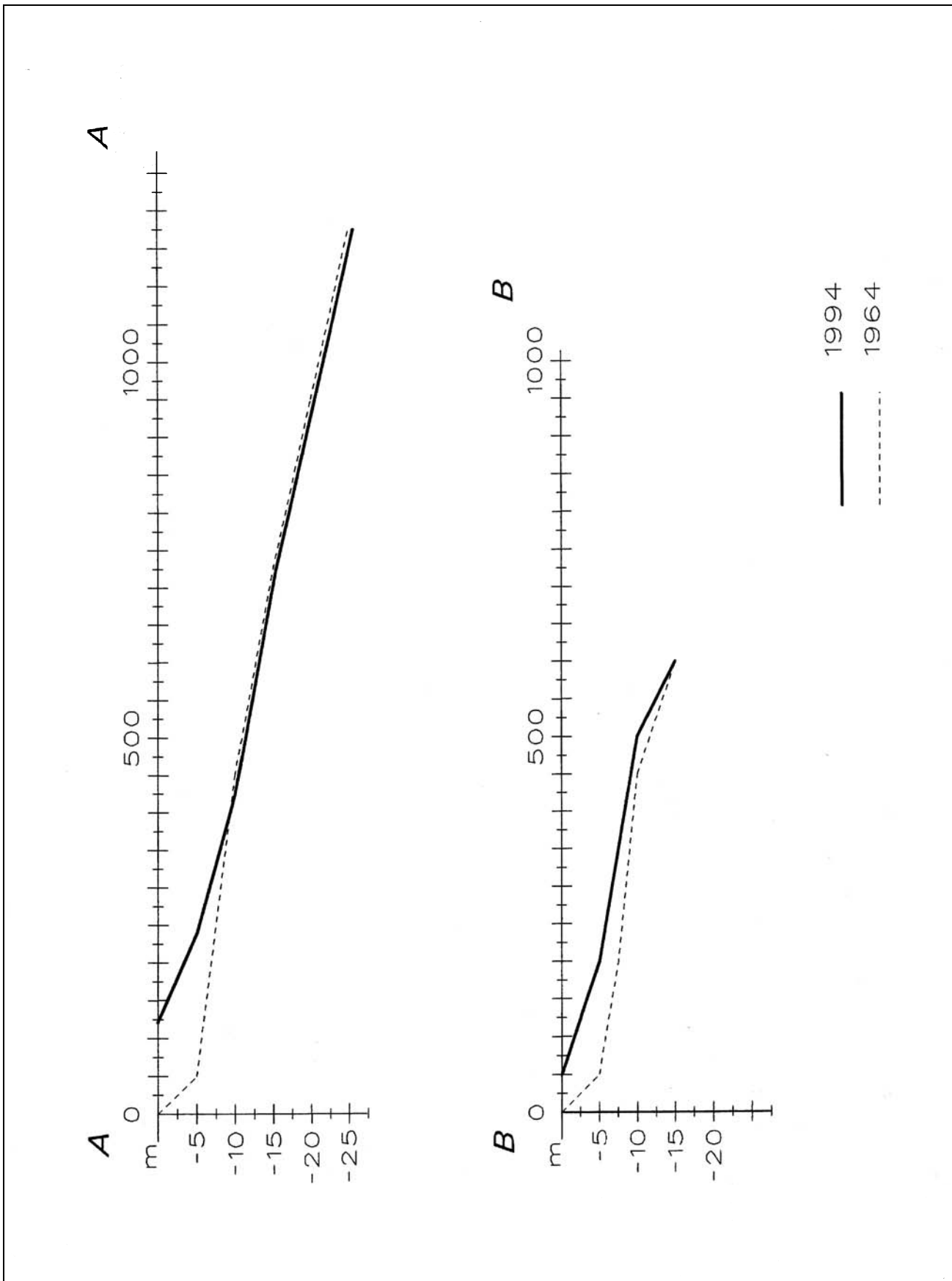


FIGURA 6: PERFIL MORFO-BATIMÉTRICO



muelle rompeolas que delimita la entrada del puerto;

- un área en aumento se extiende en el interior de la zona portuaria y fuera del dique externo hasta una profundidad de 40m;
- una zona estable aparece entre la escollera rompeolas oriental del puerto de contenedores y la terminal petrolífera de Multedo, con excepción de una zona de acumulación presente delante de la desembocadura del torrente Varena, hasta la batimétrica de 10 m y de una pequeña zona de erosión entre las batimétricas de 5 m y de 10 m, frente a la población de Pegli.

4. CONCLUSIONES

Los estudios efectuados han evidenciado las variaciones morfológicas y dinámicas relacionadas con la marcha de la construcción del nuevo puerto de contenedores,

que han tenido lugar en los 30 últimos años.

En consideración de los resultados conseguidos con esta campaña de estudio, se espera una continuación y extensión de los estudios geomorfológicos, también con el apoyo de apropiados levantamientos geofísicos y de otros sondeos continuos que permitan evaluar otras posibilidades de expansión de la zona portuaria hacia oeste, sometiendo a control periódico la dinámica de la costa a lo largo del litoral comprendido entre la población de Pegli y la costa rocosa de Crevari.

5. AGRADECIMIENTOS

A las Autoridades y Personal técnicos del Puerto de Génova: Ing. F. Capocaccia, Secretario General; Dott. D. Cabona, Responsable del Archivo histórico; G. Di Luca, R. Lucagrossi, E. Ravenna y F. Scala de la oficina técnica y F. Rebuffa, operadora CAD.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

COMUNE DI GENOVA, 1996.

Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova.
SystemCart, s.r.l., Roma.

BRANDOLINI, P., RAMELLA, A. Y TERRANOVA R., 1994.

Geomorphological features and recent evolution of Polcevera River plain (Liguria NW, Italy): relationship with human presence - Caratteristiche geomorfologiche ed evoluzione recente della piana del T. Polcevera: rapporti con gli interventi antropici.
Il Quaternario - Italian Journal of Quaternary Sciences, 7(1): 403-408.

BRANDOLINI, P., RAMELLA, A. Y TERRANOVA R., 1996.

Evoluzione geomorfologico-ambientale della fascia costiera tra Genova e Voltri a seguito degli interventi antropici.
Atti XXVI Congresso Geografico Italiano, 4-9 maggio 1992, Genova, Istituto Enciclopedia Italiana: 658-673, Roma.

CABONA, D. Y TERRANOVA R., 1992.

Le aree portuali nell'evoluzione della costa tra Genova e Voltri.
XXVI Congresso Geografico Italiano, 4-9 maggio 1992, Genova.

CAPPONI G., 1990.

Carta geologico-strutturale del settore centro-meridionale del Gruppo di Voltri.
Firenze.

CAROBENE, L. Y FIRPO M., 1994.

Una palespiaggia tra Voltri e Palmaro (Genova): evidenze sedimentologiche e morfologiche.
Il Quaternario - Italian Journal of Quaternary Sciences, 7(1):123-128.

LIMONCELLI, B. Y MARINI M., 1969.

Indagine sulle risorse paesaggistiche e sulle aree verdi della fascia costiera ligure. Ricerca geomorfologica.
Ist. Arch. Tecn. Urb. Università, C.N.R., Genova.

SERVIZIO GEOLOGICO ITALIANO, 1969.

Carta Geologica Italiana, Foglio Genova, Roma.

ROVERETO G., 1939.

Liguria Geologica.
Mem. Soc. Geol. It., 2, Roma.

TERRANOVA R., 1996.

La Baia del Mandraccio per l'Esposizione colombiana 1992: la più grande trasformazione morfológica e ambiental para el recupero del puerto antiguo de Genova en el XX siglo.
Atti XXVI Congresso Geografico Italiano, 4-9 maggio 1992, Genova, Istituto Enciclopedia Italiana, Roma.



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

Caló, Jorge ¹ - Fernández, Elba ² - Marcos, Angel ³ - Aldacour, Héctor ⁴

Resumen

En diversos sectores de la ciudad de Bahía Blanca se han detectado problemas (grietas y fisuras) en las construcciones edilicias y en obras de infraestructura, que están asociados a distintas unidades geoambientales que conforman el área y que han sido mapeadas mediante el sistema de información geográfica IDRISI32.

Este trabajo analiza los inconvenientes mencionados a partir de distintos mapas temáticos, determinando una tipología edilicia y observando el comportamiento de la misma en los distintos sectores, para establecer las patologías que se presentan únicamente por asentamiento diferencial de las fundaciones. Finalmente, con la información brindada por los mapas temáticos de unidades geoambientales, por el de distribución de tipologías edilicias, y considerando las áreas detectadas con patologías en viviendas, se obtiene un mapa derivado de unidades integradas. Teniendo en cuenta la expansión hacia la periferia que ha sufrido la ciudad a partir de su centro urbano inicial, conjuntamente con el gran desarrollo industrial de los últimos años, el mapa de unidades integradas se ofrece como un elemento complementario para ser utilizado en un planeamiento urbano, tendiente a evitar los problemas edilicios y de obras de infraestructura mencionados.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Bahía Blanca se encuentra en el sur de la Provincia de Buenos Aires, en la costa norte de la bahía homónima (Fig.1). Se ubica entre los 38°44' de latitud sur y 62°16' de longitud oeste. A 7 kilómetros al sur de la ciudad y sobre el llamado canal principal está el puerto de aguas profundas de Ingeniero White, que tiene una variada actividad y que dio lugar al desarrollo industrial, celearo, químico y petroquímico del sector.

En 1828 con la construcción de un fuerte con bastiones denominado Fortaleza Protectora Argentina se

fundó la ciudad de Bahía Blanca, en terrenos lindantes con la ahora llamada plaza Rivadavia, centro geográfico de la estructura actual de la ciudad. El sitio fue elegido por las condiciones ambientales favorables que presentaba, destacándose entre ellas la calidad de los suelos y el abastecimiento de agua a partir de los arroyos Napostá Grande y Maldonado, como así también la protección militar dada por las barreras naturales proporcionadas por los barrancos de la peniplanicie hacia el norte y los mencionados arroyos. Se construyó aproximadamente en la cota de 20 metros entre los arroyos y el mar, el que se constituiría en su línea de comunicación natural.

Alrededor de esta fortaleza se inicia la expansión de la ciudad como consecuencia del aumento de población, debido a las corrientes de inmigración, que hacia 1856 se dieron en todo el país. Además, hacia 1880 se realizan las primeras obras del Ferrocarril Sud y del puerto de

Entregado: 02 de Noviembre de 2000 ■ Aceptado: 04 de Diciembre de 2000

Dpto. de Geología, UNS. San Juan 670, 8000 Bahía Blanca.

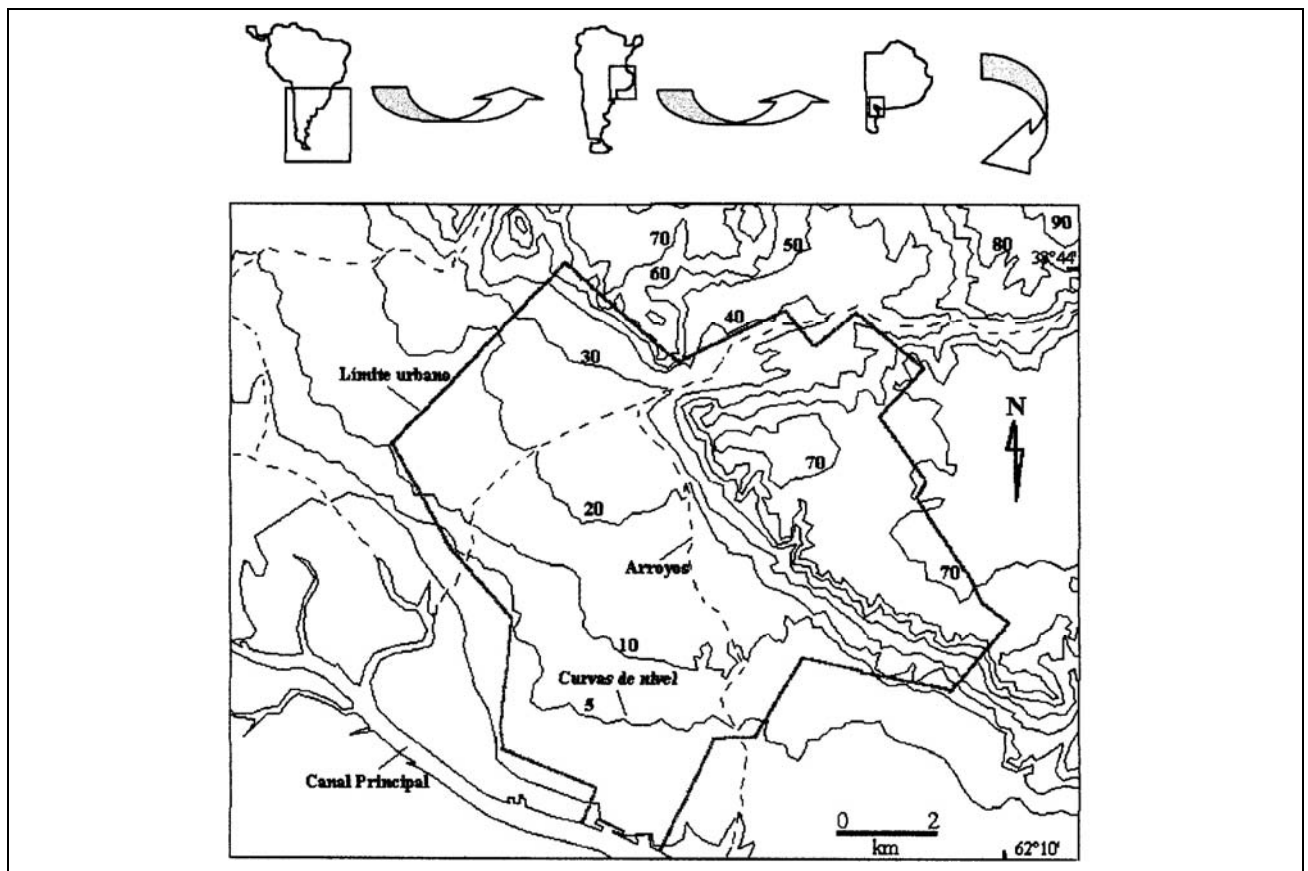
e-mail: 1. calo@criba.edu.ar
2. efernan@criba.edu.ar
3. amarcos@criba.edu.ar
4. aldacour@criba.edu.ar

Ingeniero White. Con ello se generaron las primeras fronteras en la expansión como también los elementos nucleadores habitacionales. Así se comienza a poblar la zona de la estación del ferrocarril, hacia el NE del núcleo fundacional con la instalación de depósitos y galpones y como consecuencia las viviendas de los trabajadores. Alrededor del puerto se establece el núcleo de población de la localidad de Ingeniero White.

Al continuar la expansión aceleradamente y no disponerse de una planificación urbana, estas primigenias

barreras fueron superadas en forma caótica. Se comienzan a utilizar tierras aledañas no siempre favorables para la edificación. Se construye sobre la zona con fuertes gradientes del aluvio-coluvio, la zona de la ribera del arroyo Napostá Grande, inundables con las crecidas, las áreas bajas e inundables por las mareas en Ingeniero White. La planicie debido a la escasez de vías de comunicación, exposición al viento predominante del N y NW y el tipo de suelo con tosca no fue utilizada por entonces. En la década de 1950 se genera un gran desarrollo de la edificación en altura, principalmente circundando la Plaza Rivadavia.

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

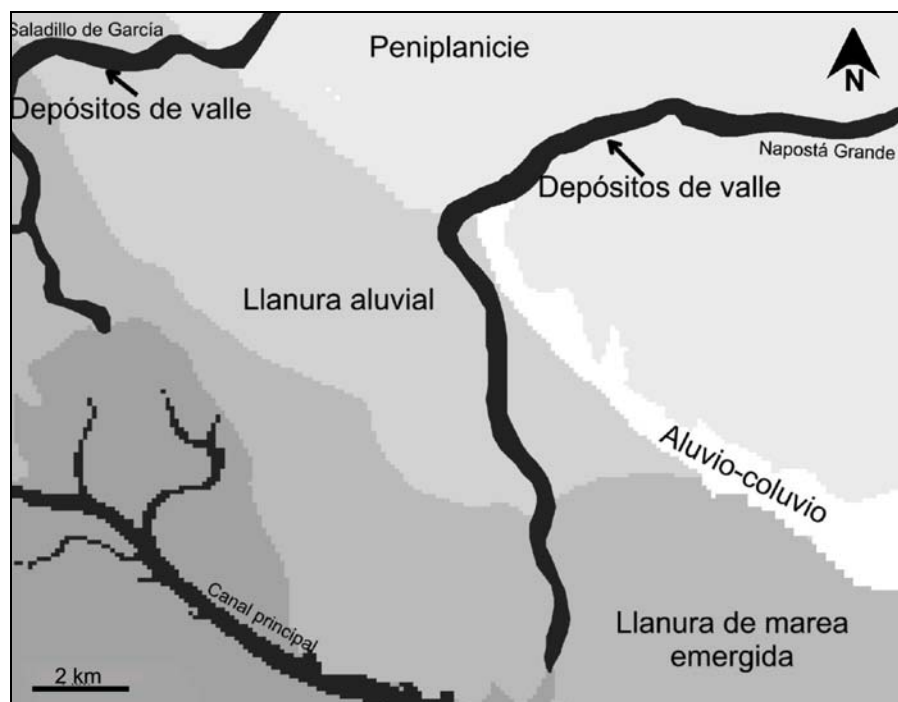


Últimamente, el desarrollo del polo petroquímico e industrial de la ciudad, produce un nuevo aumento de velocidad de crecimiento de la población, y en consecuencia una rápida expansión en la construcción de viviendas, aunque en este caso preferentemente lo hace hacia el sector NO, N y NE, en zonas alejadas del centro urbano, siguiendo los nuevos ejes de vías de comunicación, como ser el camino de circunvalación y otras vías rápidas de acceso al centro de la ciudad. En este caso se realizaron loteos programados de las tierras y se construyeron así viviendas de tipo uniformes y en monobloques. Además se edificaron barrios de calidad residencial con parques y jardines, algunos de ellos adoptando la modalidad de barrios cerrados.

Considerando la expansión actual de la ciudad

desde el centro urbano hacia la periferia y la patología edilicia (grietas, principalmente, y fisuras, relacionadas a hundimientos de las fundaciones) que se han detectado en las construcciones habitacionales en diversos sectores, y que está asociada a distintas unidades geoambientales, el presente trabajo se ha realizado para determinar finalmente las causales de los inconvenientes registrados, a los efectos de ofrecer un elemento más que pueda ser usado para un planeamiento urbano acorde, tendiente a evitar estos problemas edilicios y de obras de infraestructura. Se analiza la problemática existente a partir de diferentes mapas temáticos, se define una tipología edilicia y se observa el comportamiento de las mismas en las distintas unidades geoambientales.

FIGURA 2: MAPA DE UNIDADES GEOAMBIENTALES



2. METODOLOGÍA UTILIZADA

Para la realización de este estudio, se hace uso de información preexistente tales como mapas temáticos de diferentes propósitos (Caló *et al.*, 1993; 1996; 1997a.;1997b; 1999) y cartas topográficas del IGM (1:50.000) de la ciudad de Bahía Blanca, Base Aeronaval Comandante Espora, Punta Alta, Estación Vitícola y Estación Corti. La información utilizada se corroboró mediante observaciones y tareas de campo. Se emplea particularmente el mapa de unidades geoambientales (Caló *et al.*, 1999) que brinda información geomorfológica y estratigráfica ya relacionada entre sí.

A partir de la bibliografía y relevamientos en el terreno, abarcativos a todas las unidades geoambientales ya determinadas en el mapa anteriormente citado, se estableció una tipología edilicia teniendo en consideración fundamentalmente la relación entre la estructura y el suelo. Al mismo tiempo se realiza una identificación de las patologías que presentan los edificios, mediante el relevamiento del tipo de grietas y fisuras, con disposición, orientación, ángulo, espaciamiento y apertura de las mismas y su relación con el estado de la cimentación (Revisita Vivienda, 2000).

Finalmente, mediante el Sistema de Información Geográfica IDRISI32 (Clarks Lab, 1999) fueron digitalizados y procesados los datos preexistentes y aquellos recogidos en campo. La interacción de toda la información conduce a la confección de mapas temáticos de tipología

y de distribución edilicia, y el de unidades integradas del terreno. Todos se realizaron a igual escala para permitir la superposición de los mismos y así generar mapas derivados útiles para la planificación urbana racional.

3. ANTECEDENTES

Entre los antecedentes de mapas temáticos, a los efectos de este trabajo, se utiliza la carta de unidades geoambientales, que establece la relación entre las características geomorfológicas y las formaciones sedimentarias presentes en el área de la ciudad de Bahía Blanca (Caló *et al.*, 1999). En el mismo se definen las siguientes unidades (Fig. 2):

La Peniplanicie, extendida hacia el norte desde la cota de 60 metros hasta escasamente los 100 metros y constituida por limos loessoides con depósitos de calcreto correspondientes a la Fm. Pampiano.

Hacia el sur y oeste y desde los 60 metros de altura hasta aproximadamente la cota de 10 metros se desarrolla la Llanura aluvial, formada por la coalescencia de conos aluviales y constituida por sedimentos arenosos, limosos, gravas cuarcíticas y en parte tosca recementada, correspondientes a la Fm. Bahía Blanca aluvial.

En tanto que hacia el este entre las cotas de los 70-80 metros y los 10 metros se ubica el Aluvio-coluvio, donde los canales o torrenteras de escurrimiento de las aguas provenientes de la planicie superior se encuentran rellenos

con arenas sueltas finas con matriz arcillosa, con abundantes clastos de toscas de variado tamaño en la sección inferior y que pasan hacia arriba a arenas y limos con rodados de tosca recentados y tosca neógena. Estos sedimentos, que se encuentran cubiertos por depósitos eólicos limosos y arenosos, pertenecen a la Fm. Bahía Blanca coluvial.

En el área sur, desde la cota de los 10 metros hacia el litoral, se localiza la Llanura de marea emergida y que se corresponde con la Fm. Maldonado, donde los depósitos son de arena muy fina y arcillas con porcentajes variables de smectitas, limos arenosos y limos arcillosos de albuferas y lagunas costeras.

Los depósitos de valle están conformados por los sedimentos de origen fluvial depositados en los valles labrados por el arroyo Napostá Grande y el Saladillo de García, que corresponden a la Fm. Luján y que son principalmente

arenas muy finas que pasa hacia arriba a limos arenosos o arcillosos.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de la evaluación de la información, de los antecedentes y de las tareas de reconocimiento en campo, se presentan los resultados en cuanto a tipología edilicia, distribución de la misma y patologías detectadas. Como resultado final de la interacción de los distintos mapas temáticos se obtiene un mapa derivado de unidades integradas de la relación edilicia con el terreno.

Definición de la Tipología Edilicia

El inventario realizado a partir de la bibliografía existente y de las observaciones de campo, permitió definir las siguientes tipologías edilicias adaptadas a los fines del trabajo (Tabla 1).

TABLA 1: DEFINICIÓN DE LA TIPOLOGÍA EDILICIA Y SIMBOLOGÍA ADOPTADA

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

Distribución de las Distintas Tipologías Edilicias

La configuración actual de la estructura de la ciudad (Fig. 3) presenta una distribución de las tipología edilicias, a partir del centro geográfico de la ciudad de Bahía

Blanca, constituyéndose un área central, un área periférica a la misma y un área externa hacia donde se expande la ciudad. La distribución de la tipología edilicia asociada al mapa de unidades geoambientales se constituye en el mapa temático (Fig. 4 y Tabla 2).

TABLA 2: DISTRIBUCIÓN DE LA TIPOLOGÍA EDILICIA ASOCIADA AL MAPA DE UNIDADES GEOAMBIENTALES

Unidad Geoambiental	Tipología Edilicia	Área de Distribución
Peniplanicie	BV y M; VUF; IL	Externa
Llanura aluvial	EA; VUF; BV y M; IL	Central y periférica
Aluvio-coluvio	VUF; BV y M; IL; DA	Periférica y externa
Llanura de marea emergida	VUF; BV y M; IL; DA; IQPQ	Externa

FIGURA 3: ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS EDILICIAS

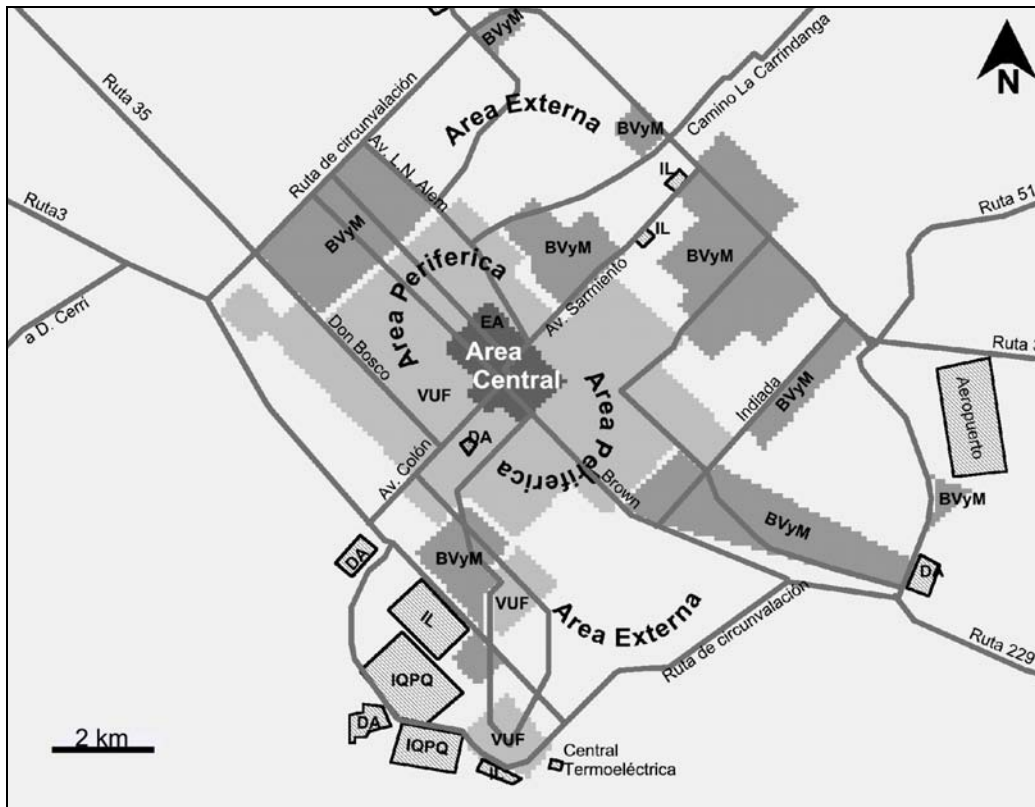


FIGURA 4: DISTRIBUCIÓN DE LA TIPOLOGÍA EDILICIA ASOCIADA A LAS UNIDADES GEOAMBIENTALES

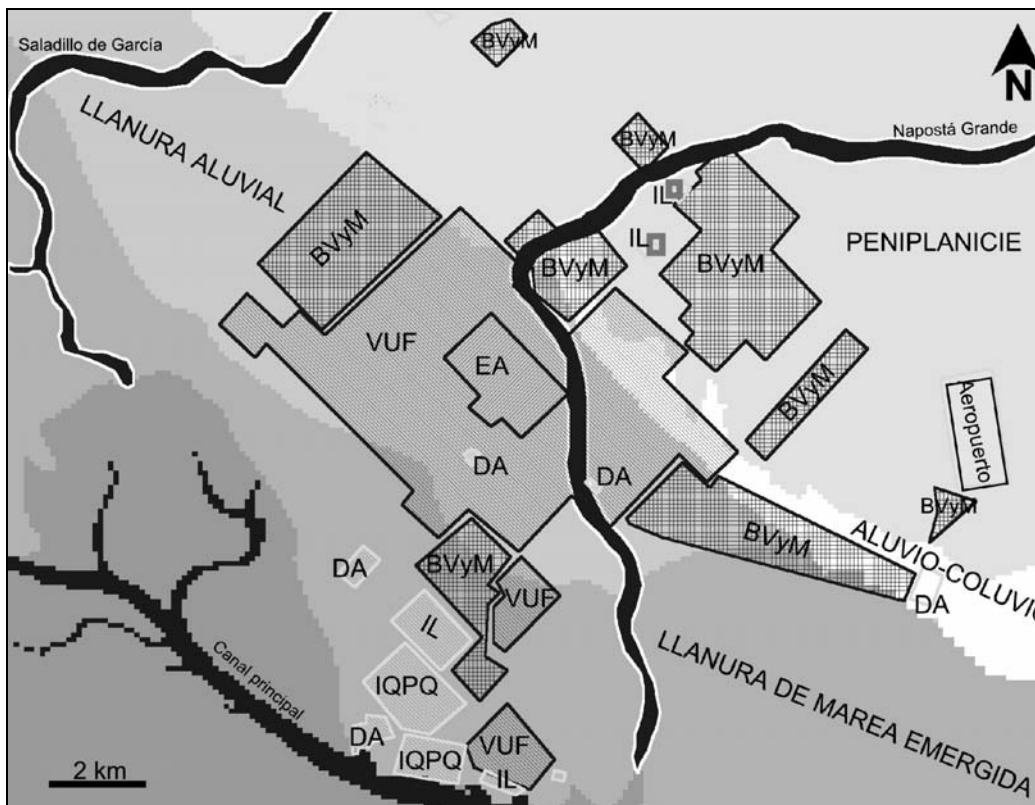


FIGURA 5: GRIETAS Y FISURA EN LAS PAREDES DE VIVIENDAS EN ING. WHITE, SOBRE LA LLANURA EMERGIDA



FIGURA 6: HUNDIMIENTO DEL PISO DE LA ESCUELA N° 57 UBICADA SOBRE EL ALUVIO-COLUVIO



TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES INTEGRADAS

Unidad Integrada	Unidad Geoambiental	Tipología Edilicia	Patologías edilicias
1	Peniplanicie	BV y M	No han sido detectadas
2	Peniplanicie	VUF	No han sido detectadas
3	Peniplanicie	IL	No han sido detectadas
4	Peniplanicie	Aeropuerto	No han sido detectadas
5	Aluvio-coluvio	BV y M	Grietas, fisuras y hundimiento
6	Aluvio-coluvio	VUF	Grietas, fisuras y hundimiento
7	Aluvio-coluvio	BV y M	Grietas, fisuras y hundimiento
8	Aluvio-coluvio	DA	No han sido detectadas
9	Aluvio	BV y M	No han sido detectadas
10	Aluvio	BUF	No han sido detectadas
11	Aluvio	EA	No han sido detectadas
12	Aluvio	DA	No han sido detectadas
13	Llanura de marea emergida	VUF	Grietas, fisuras y hundimiento
14	Llanura de marea emergida	BV y M	No han sido detectadas
15	Llanura de marea emergida	IL	No han sido detectadas
16	Llanura de marea emergida	IQ PQ	No han sido detectadas
17	Llanura de marea emergida	DA	No han sido detectadas
18	Llanura de marea emergida	Usina Termoeléctrica	No han sido detectadas

Patologías Edilicias

Los relevamientos de campo y la información pre-existente (Caló *et al*, 1995, 1996), ha permitido determinar que entre la patología más frecuente que presentan las obras en el área de estudio se encuentran grietas y fisuras en paredes y techos. Las grietas atraviesan toda la estructura de la pared y las fisuras solo se manifiestan de un lado de la misma. En ambos casos el agua se introduce en ellas generando otros inconvenientes (Fig. 5).

Otra patología es consecuencia de movimientos diferenciales de los cimientos que producen deformaciones en las aberturas y también lleva a la formación de agrietamientos en paredes y techos (Fig. 6), que responden a esquemas típicos (Revista Vivienda, 2000).

Unidades Integradas

Mediante el procesamiento de los diversos mapas temáticos confeccionados, usando el sistema de información geográfica IDRISI32, se obtienen 18 unidades integradas, cuyas características se describen en la Tabla 3.

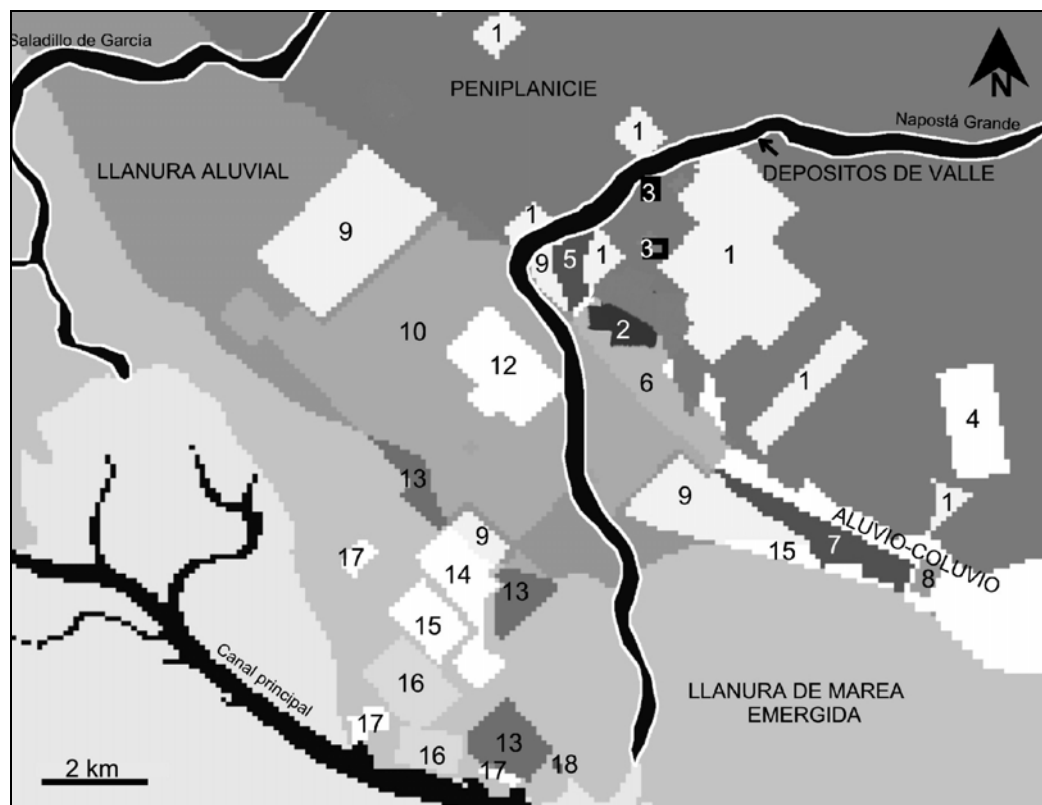
Estas unidades responden a la interacción del mapa temático de las unidades geoambientales con el de distribución de las tipologías edilicias y se las asocia a las patologías detectadas (Fig. 7). Así se tiene una disposición

de las distintas construcciones habitacionales e industriales en el suelo, definido a partir de las formaciones geológicas superficiales que responden a características geotécnicas particulares (Caló *et al*, 1998), y a la geomorfología del área de estudio.

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir de la información bibliográfica existente (Alonso Velasco, 1975), y mediante las observaciones de campo se ha realizado un inventario que permitió definir una tipología edilicia de la ciudad adecuada a los fines de esta investigación, teniendo en cuenta el tipo y tamaño de la obra, actividad de la misma y distribución areal (Tabla 1). De esta forma se han simplificado las caracterizaciones de las construcciones habitacionales e industriales, por cuanto el resultado final del peso de la obra en relación a la superficie ocupada es el mismo. Los depósitos de materiales de construcción, metalurgia etc., si bien acopian materiales pesados, generalmente abarcan grandes superficies con un resultado equivalente al que podría tener eventualmente una manzana de viviendas unifamiliares bajas o edificios en altura según la densidad de estas actividades. En este caso serán diferenciadas por la actividad que desarrollan y por la distribución en el área de estudio, ya que generalmente se localizan en superficies

FIGURA 7: MAPA DE UNIDADES INTEGRADAS



aisladas de las viviendas familiares o se concentran a lo largo de determinadas vías de acceso.

Es así que se ha definido como Vivienda unifamiliar (VUF) a las casas de una o dos plantas con medianeras o con cuatro fachadas libres y que son de uso familiar. Este tipo puede incluir viviendas con más de dos plantas (tres o cuatro), pero en forma aislada.

La tipología de barrios de viviendas y viviendas en monobloques planificados (BVyM) comprende aquellas conformadas por los núcleos habitacionales de una planta y aquellos con dos a cuatro plantas, generalmente con escaleras y sin ascensor, que se agrupan en distintas unidades cubriendo una gran superficie. Las viviendas son de tipo uniforme y las hay de alta, mediana y baja calidad.

Aquellas construcciones que comprenden a los edificios que superan en general las cuatro plantas y están provistos de escaleras y ascensor han sido considerados como Edificios en altura (EA). Estas construcciones, como ya se mencionara, sufrieron una expansión explosiva en los alrededores de la Plaza Rivadavia (núcleo fundacional de la ciudad) a partir de los años 50, pero últimamente se tiende a poblar la periferia con otro tipo de viviendas. Una concentración de los mismos constituye lo que definimos como área central de la distribución de las tipologías edilicias.

Las construcciones industriales constituidas por galpones y tinglados que cubren grandes o pequeñas superficies, que generalmente no generan una carga importante sobre el terreno ya que reparten el peso de una manera regular sobre el mismo, han sido tipificadas como Industria Liviana (IL). No se ha observado que la actividad de estas industrias pueda generar acciones en el suelo debido a maquinarias especiales que generen vibraciones. Dentro de esta caracterización, se pueden involucrar los sectores comerciales de grandes superficies cubiertas y de gran movimiento de vehículos en general, que son los centros comerciales, depósitos de materiales de construcción, metalurgia, etc.

Aquellos depósitos de almacenamiento, como por ejemplo los tanques de depósito de combustible, oleaginosas, silos cerealeros, etc., constituyen la tipología Tanques y silos de almacenamiento (DA). Estos depósitos se encuentran concentrados principalmente dentro del área industrial y de la zona portuaria. Sin embargo se observan aisladamente dentro de la ciudad algunos depósitos importantes desconociéndose patologías en viviendas próximas como consecuencia de la actividad de los mismos. Estos depósitos fueron construidos aisladamente de las construcciones de viviendas, pero una expansión descontrolada los envolvió dejándolos inmersos en medio de las mismas. Los problemas que puedan presentar estos depósitos son de carácter ambiental.

Como Industria Química y Petroquímica (IQPQ) ha sido considerada aquella que comprende a la industria que alterna grandes superficies cubiertas con grandes tuberías y con sectores de depósitos de almacenamiento. Podría considerarse como industria pesada sin llegar a constituirse como tal. En este tipo se incluye las áreas cubiertas por el Polo petroquímico y las instalaciones de las empresas Mega y Profertil (combustibles y fertilizantes). La definición de esta tipología obedece fundamentalmente a la actividad que estas industrias desarrollan y que podrían ser una combinación de industria liviana y de depósitos de almacenamiento. Si bien en el suelo no ejercen una carga diferente de industrias livianas, consideramos que merecían diferenciarse como una unidad independiente. Sin duda la mayor incidencia de estas industrias estará en impacto ambiental propio de la actividad desarrollada.

La tipología de Industria pesada (IP) es definida en este trabajo considerando que la actividad de la misma influye notablemente en el suelo, si bien en la zona de Bahía Blanca no se han instalado. Sin embargo como el objetivo es obtener mapas temáticos útiles para la planificación urbana, consideramos conveniente involucrarla como una unidad independiente.

A partir del mapa temático de distribución de las tipologías edilicias (Fig. 3) puede apreciarse que estructuralmente la ciudad está conformada por un área central que comprende el micro y macrocentro, donde coexiste la vivienda unifamiliar en general de buena calidad y los edificios en altura. El microcentro conformado a partir del núcleo fundacional de la ciudad, constituye la zona más densamente edificada, con la mayor concentración de edificios en altura y en el que predomina la actividad comercial. En el macrocentro se entremezclan características del microcentro, pero en él predomina las viviendas unifamiliares y en general, las casas lindan unas con otras a través de una pared medianera constituyendo una estructura de edificación densa.

Un área periférica a la anterior, comprende prácticamente la mayor parte de la superficie urbanizada, cuyo uso es predominantemente residencial e incluye a los barrios más tradicionales de la ciudad, constituidos principalmente por viviendas de tipo unifamiliar de una planta ocasionalmente de dos y hasta tres, con medianeras lindantes. Hacia las zonas periféricas de este área se encuentran diseminadas varias de las industrias consideradas como livianas, principalmente a lo largo de determinadas vías de acceso como son la avenida Sarmiento, avenida Colón, calle Brown y calle Don Bosco entre las principales. Entre otras actividades están las de metalúrgicas, depósitos de materiales de construcción, etc., así como también algunos tanques y silos de almacenamiento, entre los que se encuentran los de la Oleaginosa Moreno. Esta última se construyó en un área alejada del centro urbano,

se constituyó en un elemento nucleador del asentamiento de la población obrera de la misma con viviendas de tipo unifamiliar, quedando en la actualidad dentro de un sector densamente poblado.

Un área externa, cuyo límite no está definido debido a que su expansión es continua, y que presenta como característica sobresaliente la distribución de los barrios de viviendas planificados, tanto de viviendas bajas como en monobloques, principalmente en los sectores este, noroeste y noroeste. En la zona norte de este área se encuentran barrios residenciales de alta calidad de construcción, siendo por lo general las mismas de cuatro fachadas libres y de una a dos plantas. También se localizan los dos grandes centros comerciales con que cuenta la ciudad, caracterizados por ocupar amplias superficies y tener un gran tránsito de vehículos, los cuales en la clasificación de tipologías edilicias por dichas características han sido asimilados a las industrias livianas. Hacia la zona sur y este del área externa, se distribuyen los barrios de viviendas en monobloques y los barrios planificados de vivienda unifamiliar, que por lo general son de cuatro o tres fachadas libres y de mediana a baja calidad de construcción, pero que ocupan una amplia superficie del terreno. En la zona del Puerto de Ingeniero White se localiza el casco antiguo de la localidad homónima, con viviendas unifamiliares de calidad baja a media.

Además, en esta zona marginal se presentan otros usos del suelo con demanda de amplias superficies. Hacia el este de la misma, a unos 10 km del núcleo central, se encuentra el aeropuerto que se va ampliando a medida que aumentan las comunicaciones aéreas con las distintas partes del país, y hacia el futuro está proyectado transformarlo en aeropuerto internacional, lo que exigiría obras de infraestructura que deberían contemplarse en una planificación del lugar. Hacia el sur, a 3 km del centro de la ciudad se encuentra el Parque Industrial, que en su primera etapa fue desarrollada por industrias livianas de distintos tipos y cuya ampliación a terrenos linderos está en estudio. También se encuentra limitando hacia el sur del mencionado parque industrial el Polo Petroquímico, que desde sus comienzos a la actualidad se ha expandido notablemente aumentando la superficie cubierta por galpones, depósitos y cañerías. Continuando hacia el sur, entre los puertos de Ingeniero White y Puerto Galván, se encuentran el proyecto Mega y la empresa Profertil, industrias que se instalaron sobre terrenos de relleno con material de refulado del dragado del canal principal de acceso a estos puertos. Dentro de los puertos se han instalado industrias, empresas tales como Cargil y Oleaginosa Moreno, que son principalmente malterías y oleaginosas con grandes depósitos y silos de almacenamiento y que utilizan muelles propios. Las principales refinerías de petróleo ocupan superficies con depósitos de combustible y gas, mayormente en áreas cercanas

a Puerto Galván. También se encuentra dentro de la zona portuaria de Ingeniero White la Central Termoeléctrica Comandante Luis Piedra Buena.

Esta distribución de la tipología edilicia asociada al mapa de unidades geoambientales en la figura 4, dio como resultado que sobre la llanura aluvial se asienta la mezcla de viviendas unifamiliares y edificación en altura, correspondientes al área central, como así la gran mayoría de la superficie que ocupan predominante las viviendas del tipo unifamiliar y algunas de las industrias livianas del área periférica, que debido al crecimiento de la población tiene sus límites actuales en parte sobre el borde de la planicie y en parte en el complejo aluvio-coluvio. Hacia el oeste de esta unidad geológico ambiental se encuentran asentados algunos de los barrios de vivienda planificados.

La planicie está ocupada en forma saltuaria por los barrios residenciales de alta calidad de construcción de la zona norte del área externa arriba mencionada, los centros comerciales, algunos barrios de viviendas bajas y en monobloques y hacia el este se encuentra el emplazamiento del aeropuerto.

El aluvio-coluvio está invadido por barrios de viviendas bajas y en monobloques, generalmente planificados de baja calidad, industrias livianas y tanques y silos de almacenamiento.

La llanura emergida ha sido ocupada primigeniamente por viviendas unifamiliares, como es el caso de la localidad de Ingeniero White y del barrio Villa Rosas. Posteriormente se ubicaron sobre esta unidad las Industrias Químicas y Petroquímicas y las industrias livianas, fundamentalmente en el parque industrial, y también los tanques y silos de almacenamiento. Más recientemente se han asentado sobre ella construcciones en monobloques y barrios de viviendas bajas planificados, algunos de los cuales se encuentran a muy poca distancia del Polo Petroquímico, el proyecto Mega y la empresa Profertil (combustibles y fertilizantes).

Si bien se observaron inconvenientes en las viviendas como consecuencia de la baja calidad de las construcciones y de los materiales empleados, en este trabajo nos limitamos a considerar solo las patologías edilicias derivadas de problemas surgidos por la reacción del suelo frente a la estructura que sobre él se apoya.

De la combinación de las informaciones presentes en el mapa temático de distribución de tipologías edilicias y el de unidades geoambientales, en el cual se ha volcado el conocimiento de la geomorfología, las formaciones superficiales y las áreas detectadas con patologías en los edificios (Tabla 3 y Fig. 7), puede apreciarse que en aquellas unidades integradas que se corresponden con una ubicación en la peniplanicie y con viviendas de las tipologías unifamiliares, barrios de viviendas bajas y en monobloques y los grandes

centros comerciales que han sido asimilados a las industrias livianas, no se ha detectado ningún tipo de patología edilicia.

Por el contrario en las unidades desarrolladas sobre el aluvio-coluvio asociado a los suelos colapsibles de la Fm. Bahía Blanca y con viviendas principalmente de barrios planificados y en monobloques (unidades 7 de la Tabla 3 y de la Fig. 7), se corresponde con uno de los sectores donde se registraron patologías edilicias. Los inconvenientes allí registrados se originaron por cambios en la humedad del suelo, fundamentalmente en la zonas de torrenteras donde el material presenta condiciones de poca consolidación y son sensibles a los cambios de humedad (Caló *et al.*, 1998). Estas torrenteras se encuentran distribuidas lateralmente en la zona de la pendiente del aluvio-coluvio, lo que determina variaciones laterales alternativas. Se observó el hundimiento y agrietamiento de la estructura de una escuela (Fig. 6) (Caló *et al.*, 1995). Dentro de la misma manzana se pudo apreciar estas patologías en dos casas más. Hacia el este de esta unidad geoambiental, también se tienen registradas para los años 1987 y 1994 grietas y fisuras de las paredes y hundimiento de los cimientos en el barrio de viviendas en monobloques Rosendo López, problemática originada a consecuencia de la saturación del suelo debido a la rotura de un conducto de agua.

En las unidades correspondientes a una localización de las distintas tipologías edilicias sobre la llanura aluvial, no ha sido detectado ningún tipo importante de problema estructural en los edificios allí construidos.

Por el contrario, se han registrados problemas fundamentalmente en las viviendas unifamiliares de la unidad integrada correspondiente a la localidad portuaria de Ingeniero White (unidad 13, Tabla 3 y Fig. 7). Allí las patologías edilicias se manifestaron en algunos casos en hundimiento de los cimientos y agrietamiento de las paredes y en otros solo fisuras de las mismas (Fig. 5). Estos hechos se debieron a la presencia de suelos expansivos asociados a la Fm Maldonado y a la unidad geoambiental de llanura de marea emergida (Caló *et al.* 1996) y los problemas surgieron por variaciones en la posición del nivel freático como consecuencia de los cambios en las condiciones meteorológicas, épocas muy secas seguidas por otras de grandes lluvias. Estos inconvenientes no se registraron en los inicios de la localidad portuaria, debido a que las casas se construyeron fundamentalmente de madera y de chapa sobre pilotines de madera. Con el avance del tiempo la edificación fue mejorando y las construcciones de mampostería fueron reemplazando a las primitivas. No siempre se tomaron las precauciones debidas en cuanto a la cimentación de las estructuras y frente a los cambios meteorológicos ya mencionados, las

casas sufrieron hundimiento de los cimientos acompañados de fisuras y agrietamiento notables que obligaron al apuntalamiento de las mismas. En 1982, se produjeron grietas, fisuras y hundimientos en 158 viviendas en el término de dos meses, algunas de las cuales contaban con más de 40 años sin sufrir alteraciones en su estructura.

6. CONCLUSIONES

Los estudios realizados mediante el uso de información preexistente, procesamiento de la misma a través del sistema de información geográfica IDRISI 32, los antecedentes de mapas temáticos y las observaciones de terreno, permiten puntualizar las siguientes conclusiones:

El núcleo fundacional de la ciudad se ubicó en terrenos aptos para la construcción, pero en su expansión a partir de la década del 50 ha invadido terrenos cuya aptitud no es la adecuada.

Las unidades geoambientales en las que se detectaron la mayor parte de los problemas asociados a fundaciones en las estructuras edilicias, fueron las correspondientes a la Formación Maldonado en la llanura de inundación y a la de la Formación Bahía Blanca del aluvio-coluvio.

La zona de llanura de inundación está asociada a suelos expansivos, con contenidos elevados y variables de arcilla que cambian su estructura en contacto con el agua o en períodos de sequía.

La zona del aluvio-coluvio presenta suelos poco densos de tipo colapsibles, originados en el relleno de torrenteras que debido a su poca consolidación pierden su estructura por saturación. Este sector es muy variable lateralmente en distancias cortas en virtud de su morfología.

Las principales patologías detectadas (grietas y fisuras) están asociadas al hundimiento de los cimientos.

No se encontró una afinidad entre las patologías observadas y las obras de industrias livianas o de grandes edificaciones.

Las unidades integradas determinadas son de suma utilidad para la planificación primaria del uso del suelo, evitando o mitigando los inconvenientes que pudieran generarse en las estructuras de las distintas tipologías edilicias.

Las patologías están relacionadas al tipo de suelo sobre el cual se funda, por lo que en una etapa posterior se investigará la relación entre las unidades integradas y los ensayos de penetración estándar (SPT) para la elaboración de un mapa temático que relacione las unidades integradas, las tipologías edilicias y los elementos de fundación aconsejables.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ALONSO VELAZCO, J.M., 1975.
Cimentaciones urbanas.
Editores Técnicos Asociados, 387 pp. Barcelona.
- CALÓ, J.E., H.E. ALDACOUR, E.M. FERNÁNDEZ, 1993.
Carta Municipal geológico ambiental del área de Bahía Blanca, Prov. de Bs. As., Argentina. V Simposio iberoamericano sobre medio ambiente y municipio.
Documentos, pág. 82-89. Buenos Aires-Puerto Madryn.
- CALÓ, J.E., H.E. ALDACOUR, E.M. FERNÁNDEZ, P. BONZINI, 1995.
La cartografía temática como base para la determinación de peligros geológico-ambientales, un caso de Bahía Blanca, Prov. De Buenos Aires.
Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Publicación Especial Nro. 3., pág 27-40, Buenos Aires.
- CALÓ, J.; E. FERNÁNDEZ., H. ALDACOUR, 1996.
"La influencia de la geología y el medio ambiente en el deterioro de viviendas en ingeniero White (Bahía Blanca, Prov. De Buenos Aires)".
Actas Asociación. Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería Volumen X: 61-72.
- CALÓ, J.; E. FERNÁNDEZ, A. MARCOS, H. ALDACOUR, J. ATALA, 1997a.
Riesgos geológico-ambientales por suelos colapsibles en un sector de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina.
Actas VIII Congreso Geológico Chileno, Volumen 1: 660-664.
- CALÓ, J.; E. FERNÁNDEZ; A. MARCOS; H. ALDACOUR, 1997b.
Los sedimentos recientes y su relación con la geología ambiental urbana de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina.
Memoria del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Sociedad Venezolana de Geólogos. Tomo I: 137-143. Venezuela.
- CALÓ, J.; E. FERNÁNDEZ; A. MARCOS; H. ALDACOUR, 1998
Urban environmental geology and its relation to building foundations for urban development planning in Bahía Blanca city, Argentina.
In: Engineering Geology. Moore, D.P. and Hungr, O., Editors. Proceedings, 8th Congress IAEG (International Association of Engineering Geology), Volumen IV: 2711-2716. Vancouver, Canadá.
- CALÓ, J., E. FERNÁNDEZ, A. MARCOS, H. ALDACOUR, 1999.
Construcción de mapas geológico ingenieriles a partir de conocimientos previos compilados en un Sistema de Información Geográfico.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Número 13: 1-10.
- CLARK LABS, 1999.
Idrisi32, GIS and Processing.
Clark University, USA.
- IGM, 1967.
"Carta Topográfica Bahía Blanca - 3963-17-1".
Instituto Geográfico Militar, Buenos Aires.
- IGM, 1967.
"Carta Topográfica Estación Base Aeronaval Comandante Espora-3963-17-2".
Instituto Geográfico Militar, Buenos Aires.
- IGM, 1967.
"Carta Topográfica Estación Corti-3963-17-3".
Instituto Geográfico Militar, Buenos Aires.
- IGM, 1967.
"Carta Topográfica Punta Alta-3963-17-4".
Instituto Geográfico Militar, Buenos Aires.
- REVISTA VIVIENDA,
Número 459, Octubre 2000.



Deslizamientos en una franja costera de la ciudad de Comodoro Rivadavia

Chubut, Argentina

Hirtz, Néstor - Blachakis, Andrés

Resumen

El tramo de franja costera de la ciudad de Comodoro Rivadavia, que se extiende entre la Punta Borja (restinga Sur) y la Punta Alta (restinga Coronel), es el sector más impactado por el desarrollo de procesos de remoción en masa, particularmente deslizamientos rotacionales, generando un elevado riesgo geológico sobre las actividades, propiedades y personas como así también factores específicos del ambiente.

Se describen y caracterizan los principales y más recientes deslizamientos y se desarrolla una metodología de estudio que permite obtener conclusiones de carácter general sobre el comportamiento de estos movimientos, predicción de procesos futuros y aplicación de un plan de estabilización del área.

1. INTRODUCCIÓN

La urbanización de la ciudad de Comodoro Rivadavia se ha desarrollado sobre una estrecha franja costera del golfo San Jorge, penetrando por los valles de arriamiento este - oeste cuando se lo permitió el relieve accidentado, que constituye el mayor condicionamiento.

El sector estudiado es el más comprimido entre los cerros y la costa, sirviendo de conexión entre la zona norte y sur de la urbanización, a través de la Ruta Nac. N° 3, la cual comunica a su vez la Patagonia sur con el resto del país.

El tramo aludido se encuentra severamente afectado por una dinámica fuertemente erosiva sobre la línea de costa, acompañada por fenómenos de remoción a nivel de los faldeos y barrancos. Los deslizamientos constituyen los

principales procesos, en este contexto, que afectan el normal desenvolvimiento de la actividad humana poniendo en riesgo bienes y vidas. El presente trabajo pretende ser un aporte al conocimiento de dichos procesos en la búsqueda de medidas que tiendan a revertir el elevado riesgo del sector.

2. GEOLOGÍA

En el área de estudio se pueden identificar dos formaciones, compuestas por rocas sedimentarias: la Formación Sarmiento y la Formación Patagonia.

Formación Sarmiento

Es la unidad más antigua, (de edad Eoceno- Oligoceno), (*Spalletti y Mazoni, 1979*). Comienza a aflorar sobre la costa, desde la base del Cerro Chenque hacia el norte, conformando la restinga Coronel y el tercio inferior del acantilado en la Terminal de carga de Repsol YPF. Presenta regionalmente una distribución tabular, subhorizontal, con colores blanquecinos amarillentos y grises. Litológicamente se compone de piroclásticas (tobas y chonitas).

Entregado: 13 de Noviembre de 2000 ■ Aceptado: 19 de Diciembre de 2000

Cátedra Geología Aplicada. Fac. Cs. Naturales.
Universidad Nac. de la Patagonia, S. J. Bosco.
Ciudad Universitaria (9000) Comodoro Rivadavia. Chubut.
Tel/fax: (0297) 4559615/616 Int.25.
e-mail: nhirtz@unpata.edu.ar

Formación Patagonia

(o Formación Chenque, Bellosi, 1990, 1993)

Se dispone sobre la anterior, a partir de una superficie erosiva. Se le asigna una edad comprendida entre el Eoceno superior alto y el Mioceno medio. En el sector estudiado, el perfil característico corresponde al frente oriental del Cerro Chenque. *Feruglio* (1949) identificó dos unidades estratigráficas: el Juliense, al cual le asignó 112 metros de espesor a partir de la base del cerro, y el Leonense, con un espesor de 100 metros, que alcanza el coronamiento del mismo.

Estas dos unidades corresponden a dos eventos regresivos del mar patagoniano que ya habían sido reconocidas por *Windhausen* (1924), quien indicó su finalización en los bancos fosilíferos con *Ostrea hatcheri* en la zona media y coronamiento del cerro, respectivamente.

Son depósitos de origen marino, de ambiente nerítico. Las facies de areniscas y coquinas corresponden a un ambiente litoral de alta energía cuyos dos principales eventos evidencian la culminación de los ciclos regresivos antes mencionados. Las facies cineríticas (de granulometría fina) son más abundantes en el primer ciclo.

Facies finas o cineríticas

Están compuestas predominantemente por cineritas (rocas de grano fino con elevada participación de material volcánico), cineritas arcillosas y arcilitas de colores gris verdoso, gris azulado y gris amarillento.

Alcanzaron un importante grado de preconsolidación y, posteriormente, como consecuencia de la reducción de la presión de confinamiento sufrieron procesos distensivos que desarrollaron en la roca un intenso fracturamiento con superficies concoideas y espejos de fricción (éstos últimos debidos a los movimientos relativos de ajuste dentro del macizo). El proceso de apertura de las fracturas ha favorecido la circulación de agua a través de las mismas dentro del cuerpo rocoso, con la consiguiente depositación en ellas de óxidos e hidróxidos principalmente de hierro producto de alteración de las mismas cineritas y sales higroscópicas, principalmente yeso.

Las cineritas son altamente inestables en presencia de agua. Los minerales silicatados manifiestan una rápida alteración por descomposición química en estado saturado. El producto final es una arcilla de tipo montmorillonítica, altamente plástica y expansiva.

A profundidades someras, la roca sufre una severa descomposición por encontrarse más expuesta a los procesos alternativos de hidratación y secado, y meteorización en general. Coincidentemente el distanciamiento entre fracturas es inferior a 5 cm. A una decena de metros en el interior del macizo se incrementa el espaciamiento promedio entre fracturas (entre 10 y 20 cm), y sus superficies se encuentran cerradas o cubiertas por una delgada pátina de óxidos.

Facies de areniscas y coquinas

En el perfil del faldeo este del Cerro Chenque, la secuencia correspondiente a la Formación Patagonia comienza con 5 metros de arenisca conglomerádica gris clara, uniforme y friable. Continúa con un metro de coquina compacta con predominio de moluscos y gastrópodos con abundante cemento calcáreo. La restinga Sur (superficie de abrasión marina, esencialmente subhorizontal) se encuentra conformada por el banco de coquinas. Por encima, se encuentran 7 metros de areniscas pardo amarillentas de grano fino, friables.

A partir de allí, aproximadamente a una cota de 15 metros y hasta los 90 metros se detecta el predominio de las cineritas arcillosas y arcilitas que fueron descritas anteriormente. Dentro de este depósito se desarrollaron esporádicamente intercalaciones de delgados bancos de areniscas.

Entre 90 y 110 metros se encuentra un banco de areniscas calcáreas con matrix pelítica de color castaño grisáceo claro, granulometría media a fina (0.2 a 0.5 mm) bien seleccionadas, consolidadas, de grano subredondeado a redondeado con gran proporción de líticos, cuarzo subordinado y fósiles.

Sobre dicho banco se depositó un compacto estrato de coquinas, con espesor variable entre uno y dos metros, que contiene abundante fauna fosilífera de braquiópodos, briozoarios y moluscos, entre los que se destacan los restos de valvas de *Ostrea* por su tamaño y abundancia. La matrix es pelítica y el cemento calcáreo.

Debido a la buena resistencia a los esfuerzos y a la erosión del conjunto y en particular del banco con *Ostrea*, estos depósitos se sustentan con pendientes subverticales, destacándose en el sector medio del faldeo donde se ubica el mirador del Cerro Chenque. Posee gran continuidad areal. El techo del banco fosilífero superior de esta primera secuencia regresiva descrita, usado como horizonte guía, se encuentra aproximadamente a 120 metros de altura en la intersección de las calles Alsina y Chaco (Cerro Chenque), 125 metros en el Cerro Viteau y 132 metros en el Cerro Hermitte.

Próximo al coronamiento de los cerros, (entre 185 y 212 metros, en el Cerro Chenque), afloran dos importantes bancos de areniscas cineríticas de color gris amarillento, culminando con otro potente banco de coquinas con *Ostrea*, cuya elevada resistencia a la erosión hace que en los sectores donde se ha preservado, el coronamiento sea mesetiforme.

En el acantilado ubicado al pie del Cerro Viteau, la Formación Sarmiento constituye el tercio inferior, y sobre ella se asientan las facies finas de la Formación Patagonia. El tercio superior corresponde a un potente banco de areniscas rematado por una coquina.

Sedimentos inconsolidados del Holoceno

Completando el esquema geológico se presentan cuatro tipos de depósitos modernos inconsolidados de edad Holocena.

Depósitos de playa

Están compuestos básicamente por clastos predominantemente vulcaníticos, de tamaño medio a grueso, matrix arenosa, con buen grado de madurez textural. Conforman depósitos cordoniformes de gravas.

Coluvios

Depositados sobre pendientes moderadas a bajas, están compuestos por material areno-arcilloso proveniente de la erosión hidroclástica, flujos localizados del faldeo alto y fragmentos de cineritas parcialmente meteorizadas producto de la caída de detritos por gravedad. La descomposición de estos últimos incrementa la participación arcillosa. Han sido fuertemente modificados en buena parte de su extensión por acción antrópica.

Depósitos finos aluviales

De escaso desarrollo areal, corresponden a la planicie del arroyo efímero del cañadón del Infiernillo. Están compuestos por arenas finas bien seleccionadas con estratificación planar, con abundante matrix e intercalaciones de limos y arcillas.

Sedimentos finos afectados por deslizamientos

Involucran a depósitos de coluvio y arcilitas patagónicas, presentando como rasgo característico la fuerte desestructuración del terreno como consecuencia del proceso.

3. ESTRUCTURA

Debido a su génesis, las Formaciones Sarmiento y Patagonia, presentan una estratificación esencialmente subhorizontal, habiendo sufrido con posterioridad a su depositación ligeras variaciones de pendientes de carácter estructural, como consecuencia del basculamiento de bloques motivado por el fallamiento normal que afecta el flanco norte de la cuenca del Golfo San Jorge, donde se encuentra la ciudad de Comodoro Rivadavia. En general, poseen una suave inclinación de carácter regional hacia el sureste del orden de 1,5 grados.

Existe control estructural en los valles (de rumbo preferencial este-oeste) siguiendo las fallas principales que han sido constatadas en el subsuelo por la prospección petrolera a nivel de las sedimentitas cretácicas y terciarias. Se trata de fallas subparalelas, normales, de alto ángulo y rumbo preferencial este-oeste, (Ferello, 1965).

Dentro del área urbana este hecho queda evidenciado en las fallas A, B y C, aflorantes, descriptas por

Feruglio (1950). La falla A presenta una traza perpendicular a la costa en el predio de la Terminal de Repsol-YPF. Otra falla de escaso rechazo, y rumbo este-oeste, se ubica inmediatamente al norte del puerto, como se aprecia en la Figura 1.

4. GEOMORFOLOGÍA

El relieve del sector estudiado se encuentra caracterizado por geoformas de carácter erosivo, generadas a través de la denudación subaérea de las sedimentitas marinas de la Formación Patagonia, emergidas por ajustes isostáticos Plio-pleistocenos; y por la erosión marina sobre la franja costera. En esta última existe una estrecha vinculación entre ambos procesos, como se evidencia en los principales movimientos de remoción en masa. Codignoto et al (1992, 1993) y Kokot et al (1996) hacen referencia al desarrollo de fenómenos neotectónicos y ascenso de la costa durante el Holoceno.

Geoformas continentales

La erosión hídrica y los procesos de remoción en masa fueron labrando cañadones profundos con rumbo oeste-este, siendo flanqueados en su descenso hacia el mar por los faldeos de los cerros, de igual arrumbamiento, coronados por áreas estrechas aplanadas, que les confieren un carácter mesetiforme, (Hirtz et al, 2000).

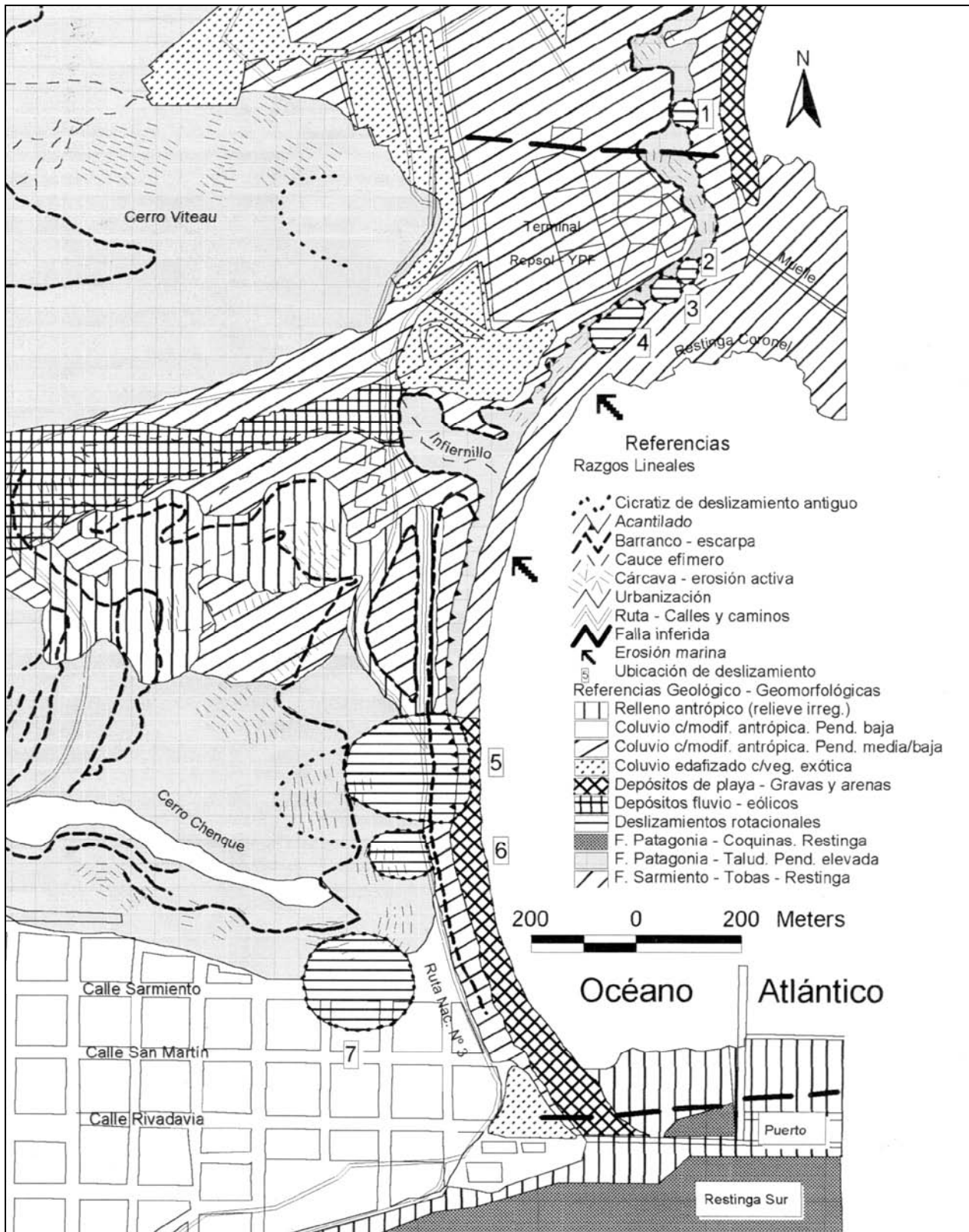
Los faldeos de los cerros Chenque y Viteau dominan el paisaje, como máxima expresión de la permanencia de formas relictuales, severamente erodadas. Existe un marcado carcavamiento en los tramos superiores de los faldeos, sobre todo en el Cerro Chenque que muestra la mayor parte de su superficie denudada. Se encuentran conformados por las sedimentitas de la Formación Patagonia, presentando un elevado grado de inclinación, por encima del quiebre de pendiente principal.

El Cerro Chenque posee una cota de 212 metros, con pendientes en el tramo sobreelevado de 65% en la ladera noreste, 53% en la ladera sur y 75% en la este. La altura del cerro Viteau es de 235 metros, y sus mayores pendientes promedio del talud alto son de 48% en el faldeo noreste, 54% en el sur y 36% en el este.

El carácter mesetiforme se lo confieren los bancos resistentes de coquinas patagónicas próximos al coronamiento de ambos cerros. Dentro de la secuencia estratigráfica, se intercalan niveles competentes que por erosión diferencial conforman farallones abruptos en los faldeos. En el Cerro Chenque el principal banco de areniscas y coquinas se ubica entre 90 y 110 metros. En el Co. Viteau se localiza entre 105 y 125 metros.

Las arcilitas, fácilmente degradables, generan, como se expresara precedentemente, importantes depósitos de

FIGURA 1: MAPA GEOLÓGICO - GEOMORFOLÓGICO



coluvio por debajo del quiebre de pendiente de los faldeos.

El curso efímero del cañadón del Infiernillo ha generado un depósito de sedimentos finos acompañados por fracciones arenosas más gruesas de origen eólico.

Las áreas relativamente planas, de pendientes moderadas a bajas, conforman el tramo inferior de los faldeos y por lo tanto dominan en ellas los procesos de acumulación del coluvio proveniente del tramo superior. Son frecuentes las ondulaciones e irregularidades topográficas generadas por acción antrópica y la disección por erosión hídrica localizada.

Los sectores de pendiente baja, incluyendo el casco céntrico, han sido urbanizados y forestados, mientras que los de pendientes medias a bajas corresponden al tramo inferior de los faldeos sin urbanizar.

Geoformas costeras de erosión

En general, la costa presenta acantilados de moderada altura (desde pocos metros hasta 45 m s.n.m.) que se encuentran en retroceso por la erosión activa del mar. Las restingas, bastante extendidas, limitan la bahía. Por el norte, la restinga Coronel (muelle de Repsol-YPF) y por el extremo austral la restinga Sur, donde se emplaza el puerto de la ciudad. Son superficies de abrasión modeladas por acción de las olas sobre tobas de la Formación Sarmiento (norte) y coquinas de la Formación Patagonia (sur). Permanecen cubiertas durante las pleamares y descubiertas en bajamar.

Geoformas costeras de acumulación

La playa de gravas se compone en general de una berma bien definida y una cara de playa estrecha que se hunde abruptamente hacia el mar. Hasta hace poco tiempo se desarrollaba sobre toda la franja costera de la bahía, encontrándose actualmente restringida a la porción sur de la misma debido a procesos erosivos y de deriva descritos más adelante.

Mediante relleno antrópico proveniente del refudado de las tobas del fondo marino, se ha desarrollado un depósito de sedimentos finos al norte del puerto que involucra parte de la playa y predio del astillero.

Procesos de remoción en masa

Entre los riesgos de procesos de remoción a nivel de taludes generados por la combinación de las características geomorfológicas y las variables climáticas podemos citar, caída de bloques, desprendimiento de detritos, reptación de laderas, deslizamientos y durante tormentas, procesos erosivos y depósitos de fango.

Los deslizamientos nos ocupan particularmente en el presente trabajo, en especial aquellos de dimensiones

importantes, cuyas ubicaciones se muestran en la Figura 1. Son movimientos generalmente complejos, predominantemente rotacionales, que incluyen también traslación y quebrantamiento sobre todo en los extremos distal y proximal. Afectan primordialmente las facies arcillosas de la Formación Patagonia sobre faldeos de elevada pendiente, sujetos a factores desestabilizantes de origen natural y antrópico.

Los más destacados, por sus dimensiones, la incidencia sobre sectores poblados o infraestructura y su actividad reciente, son los deslizamientos del faldeo este y sur del Cerro Chenque y del extremo este del Cerro Viteau, sobre el acantilado.

Entre los factores generadores de estos movimientos se destacan, las características litológicas y estructurales del material involucrado, las pendientes elevadas, la presencia de niveles saturados, la eliminación del material que conforma el pié del talud o cuña resistente, (por erosión marina o antrópica, según el caso).

5. ANTECEDENTES Y UBICACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS

Deslizamientos sobre el Cerro Viteau

En el faldeo alto del Cerro Viteau (con elevada pendiente) se aprecia la cicatriz de un deslizamiento antiguo. Sobre el acantilado, que representa la finalización de dicho faldeo, se desarrollaron tres deslizamientos en una primera instancia y tres en una segunda etapa. De los primeros, dos ocurrieron sobre el faldeo sureste del predio de Repsol-YPF, el primero poco antes del año 1985 y el segundo en 1989. El tercer deslizamiento antiguo, que se ubica sobre la playa de camiones, en proximidad al tinglado de carga de combustibles, (señalado como ubicación 1, en la Figura 1) aconteció en el año 1988.

En una segunda etapa de reactivación de los procesos de remoción sobre el acantilado costero al pié del Cerro Viteau, se produjeron tres deslizamientos sobre el faldeo sureste, con magnitudes crecientes y cuya localización se desplazara gradualmente hacia el sur. El primero de ellos, en proximidad al tinglado de mantenimiento, en diciembre de 1996 (ubicación 2), el segundo, en junio de 1997, (ubicación 3) y el tercero en octubre de 1997, (ubicación 4).

Deslizamientos sobre el Cerro Chenque

Sobre el frente este del cerro se han producido sucesivas reactivaciones periódicas del deslizamiento principal, documentadas desde las primeras décadas del siglo. Recientemente existió un movimiento de gran magnitud que involucró el material desestructurado perteneciente

al lóbulo de antiguos movimientos y amplió su desarrollo en sentido retrocedente afectando importantes volúmenes de roca que se encontraban "in situ" en la zona de cabecera. El plano de deslizamiento afloró aproximadamente a nivel de pleamar, en concordancia con los procesos antiguos. Este deslizamiento se produjo en febrero de 1995, y corresponde a la ubicación 5 en la Figura 1 (Fotos 1, 2 y 3).

Inmediatamente al sur del movimiento principal antes descrito, y previo a éste, se produjo un deslizamiento de menor magnitud (ubicación 6), con plano aflorante a nivel de la Ruta N° 3, cubriendo en su movimiento inicial una vía de dicha ruta, el canal y la alcantarilla que se encuentran al pie del sector deslizado. A partir de allí ha sufrido sucesivos pulsos en el tiempo (algunos poco perceptibles), destacándose los de marzo de 1999 y agosto de 2000 que prosigue en la actualidad, manteniendo cubierto el referido canal.

En el faldeo sur, sobre Calle Sarmiento, próximo a la Ruta N° 3, (ubicación 7) se han desarrollado pulsos de reactivación de movimientos sobre el lóbulo de un antiguo deslizamiento, cuya cicatriz sobre el faldeo era observable en

imágenes de principios de siglo. Dichos pulsos afectaron notablemente la urbanización con viviendas precarias que existía en el sector, las que finalmente debieron ser erradicadas. Recientemente, en el año 1993, se produjo un importante pulso sobre el material del lóbulo, que se resolvió fundamentalmente con desplazamientos horizontales y verticales sobre la traza de la calle Sarmiento, que debió ser reparada, pero se observan aún hoy resaltos en el asfalto, cordones cuneta y veredas, correspondientes a pulsos posteriores de menor intensidad.

De lo expresado precedentemente se desprende que se ha registrado una elevadísima frecuencia de movimientos de remoción en masa, fundamentalmente bajo la modalidad de deslizamientos rotacionales, en tan solo 16 años.

Por otra parte, el elevado riesgo frente a estos procesos está dado por la ubicación de los mismos, ya que como se aprecia en la Figura 1, involucran al predio de una terminal de carga y descarga de combustibles, a la Ruta Nac. N° 3 y al área urbana densamente poblada del casco céntrico que se desarrolla en torno a la calle Sarmiento.

FOTO 1: VISTA GENERAL DEL FALDEO ESTE



FOTO 2: DETALLE DE LA ZONA CENTRAL DEL DESLIZAMIENTO, SOBRE LA RUTA NAC. N° 3



FOTO 3: GRIETAS DE TRACCIÓN SOBRE EL TERRENO DESLIZADO



6. CUADRO RESUMEN DE CARACTERIZACION DE LOS DESLIZAMIENTOS

Caracterización	Deslizamientos más característicos del sector estudiado						
Ubicación en mapa	Ubicac.1	Ubicac.2	Ubicac.3	Ubicac.4	Ubicac.5	Ubicac.6	Ubicac.7
Faldeo del Cerro	Viteau	Viteau	Viteau	Viteau	Chenque	Chenque	Chenque
Ultimo proceso (*)	I	R	RA	RA	RA	R	R
Fecha último mov.	1988	dic. 96	Jun. 97	Oct. 97	Feb. 95	1999/00	1993
Tipo de falla	Local	Local	General	General	General	Local	Local
Factor ext domin(**)	AA	EM	EM	EM	AA-EM	AA	AA
Cota de inicio (m)	32.3	27	34.1	37.5	95.0	91.4	78.8
Cota mín. del plano	14.7	13.2	7.0	6.8	6.8	31	28.3
Altura (m)	17.6	13.8	27.1	30.7	88.2	60.4	61.5
Ancho máx. (m)	43	48	60	112	208	92	205
Volúmen aprox. m ³	5.500	6.000	10.000	25.000	130.000	5000	23000
Litología involuc.(•)	Ac	Ac-Ae	Ac-Ae-To	Ac-Ae-To	Ac-Ae	Ac	Ac
Riesgo reactivac(••)	AC-AL	AC	AC	AC	AC-AL	AC-AL	AC-AL

(*) I: Movimiento inicial R: Reactivación del lóbulo RA: Reactivac. y ampliación hacia la cabecera

(**) Factor dominante: AA: acción antrópica EM: erosión marina.

(•) F. Patagonia: Ac: arcilitas Ae: areniscas F. Sarmiento: To: Tobas

(••) AC: Ampliación en cabecera AL: Avance del lóbulo

7. ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD: DESLIZAMIENTOS

Los faldeos naturales sufren deslizamientos cuando la componente tangencial del peso involucrado en el movimiento supera las fuerzas resistentes dadas por la resistencia al corte del material para una geometría determinada. En términos de balance de momentos, ello ocurre cuando el momento deslizante o motor (Mm) supera al momento resistentes (Mr), expresado genéricamente por la ecuación del factor de seguridad:

$$F_s = \frac{M_r}{M_m}$$

Luego de un movimiento la masa deslizada alcanza un equilibrio temporario en la nueva situación, más acorde con su resistencia post-desplazamiento, a una cota, pendiente y nivel de energía potencial más baja que la anterior.

Si bien estos procesos suelen ser rápidos, las causas de falla actúan durante un período de tiempo más o menos prolongado en el cual el factor de seguridad va decreciendo, hasta que sobreviene el movimiento.

En particular para los casos de inestabilidad analizados la pérdida progresiva de resistencia del material que compone el talud es el principal factor, pero asimismo confluyen otros factores y el movimiento sobreviene por la

sumatoria del efecto de los mismos, pudiendo alguno de ellos actuar de disparador final de un modo preferencial.

Es muy difícil (y poco práctico, en la reactivación de deslizamientos, que es el caso que nos ocupa) valorar dichos factores en forma separada. Incluso es poco probable determinar correctamente mediante ensayos los parámetros resistentes representativos del conjunto del terreno, ya que es sumamente heterogéneo.

Previo a la valoración cuantitativa de dichos parámetros es fundamental realizar un análisis cualitativo de los principales factores intervinientes en la desestabilización de los taludes, a fin de plantear un correcto diagnóstico y en base a ello proponer medidas protectivas, correctivas o de mitigación frente a dichos procesos.

Entre los principales factores intervinientes en los deslizamientos analizados, tenemos:

7.1 Pérdida de resistencia

El material original es de muy baja calidad. Corresponden en general a las arcilitas de la Formación Patagonia, caracterizadas por su intenso fracturamiento. Prácticamente todos los movimientos analizados son consecuencia de la reactivación de una masa deslizada con

anterioridad. Es muy importante tenerlo en cuenta al momento del cálculo ya que debido a la profunda desestructuración sufrida en la caída el material posee propiedades mecánicas muy inferiores a las de las sedimentitas "in situ". Algunos de los movimientos provienen de larga data, como se expresara en los antecedentes, habiendo sufrido varios pulsos de reactivación.

Las fracturas desarrolladas en el deslizamiento, además de generar líneas de debilidad preferenciales actúan como vías directas de acceso del agua, que saturan el material y aceleran la alteración meteórica, reduciendo sensiblemente los parámetros resistentes.

Es por ello que su cálculo mediante ensayos de laboratorio presenta severas limitaciones en cuanto a la representatividad de una realidad tan compleja en el terreno. Por tal motivo se propone para estos casos el empleo del método de análisis retrospectivo (o retro análisis) efectuado sobre los deslizamientos acontecidos, ya que permite apreciar el comportamiento del conjunto de la masa deslizada, asumiendo que al momento de la ruptura su factor de seguridad era igual a la unidad.

Fracturamiento por fallamiento: Dentro del área que nos ocupa se destacan dos fallas normales cuya traza inferida se muestra en la Figura. La principal de ellas, identificada como Falla del Valle A por Feruglio, afecta al coronamiento del Cerro Viteau, donde se generó un deslizamiento antiguo, atravesando el predio de la Terminal de Repsol-YPF con rumbo este - oeste a la altura de la playa de camiones.

La segunda falla, de pocos metros de rechazo, cuyo rumbo coincide aproximadamente con la traza de la calle Rivadavia, deja expuestas a las coquinas de la restinga Sur. Su desarrollo explicaría por qué resultan tan activos los procesos de remoción en el talud sur del Cerro Chenque, mientras que el norte ha permanecido más estable.

En el sector del faldeo este del Cerro Chenque se ha detectado una falla normal menor de dos metros de rechazo. Con similar rechazo se definieron dos fallas sobre el faldeo sur en proximidad al deslizamiento sobre calle Sarmiento.

La asociación del fallamiento a los procesos de remoción principales parece evidente. Como se expresara en estudios anteriores (*Hirtz, 1994*), la acción del fallamiento estaría fundamentalmente relacionada al debilitamiento de las sedimentitas por fracturamiento preferencial en torno a su traza, independientemente de posibles movimientos a lo largo del plano de falla.

7.2 Desequilibrio Geométrico

En los casos analizados, las pendientes son elevadas frente a la baja resistencia del material que conforma los depósitos. Una vez producido el deslizamiento se logra

una nueva situación de equilibrio temporario con menor pendiente, que no es duradero ya que la progresiva disminución de la resistencia del material y/o la alteración de la geometría reactivarán el movimiento.

En los casos descriptos, la alteración geométrica, principalmente por eliminación de material en la base que constituye la cuña resistente al pie del talud, provoca el efecto más negativo, siendo el factor motorizante en un corto lapso de tiempo del movimiento de parte o la totalidad del material inestable.

Los taludes costeros, al existir un acantilado vivo con erosión marina activa en la base, se encuentran sujetos a procesos de remoción: caída de bloques, desprendimiento de detritos y deslizamientos. Se ha podido constatar la particular incidencia de este factor en los deslizamientos que volcaron parte del material del tramo distal de sus lóbulos sobre la playa, siendo eliminado en su totalidad en dos ciclos de marea, restituyendo el límite original de la costa, con perfil acantilado subvertical. Corresponden a las ubicaciones 2, 3, 4 y 5 de la Figura 1.

Dos obras construidas recientemente han contribuido a activar aún más el proceso erosivo, principalmente sobre la plataforma de abrasión que se extiende al pie de las ubicaciones 2, 3 y 4. Una de ellas fue la construcción de un muro costero vertical de hormigón de 160 metros de longitud (actualmente arrasado por los deslizamientos en un 60 % de su extensión) que incrementó el poder erosivo del oleaje en el sector, de por sí muy alto debido al intenso poder reflectivo del tren de olas.

La segunda obra fue la prolongación del espigón del puerto de la ciudad cerrando frontalmente el extremo sur de la bahía, impidiendo el ingreso del tren de olas en el sector, lo que generó un área protegida o zona de abrigo que motivó la migración de sedimentos desde la restinga Coronel hacia el sector de puerto. De este modo, las gravas que protegían toda la extensión costera, formando depósitos cordoniformes, migró para depositarse en el sector de abrigo, aproximadamente a partir del club náutico Comandante Espora.

El efecto más negativo se hizo notar en la erosión intensa de la superficie de abrasión y del pie del acantilado. El extremo norte del muro se erosionó en un año medio metro, por desprendimiento de lajas con fracturas subhorizontales de la restinga, conformada por las tobas de la Formación Sarmiento.

7.3 Efecto del Agua

En el sector comprendido entre el cañadón del Infiernillo y el límite norte del predio de Repsol-YPF se manifiesta una elevada saturación de agua a nivel del subsuelo a partir de afloramientos sobre el acantilado costero mediante manchas de impregnación, flujo débil

(llozaderos) y costras salinas por evaporación. Son aguas cloruradas sódicas y cloro-sulfatadas sódicas.

En el predio de la Terminal, se incorporó el flujo de contaminantes (producto de antiguas fugas de líneas y tanques de combustibles) que arrastrados por el flujo de agua afloran junto con éstas en el tercio superior del acantilado, sobre el contacto entre las arcilitas fracturadas y las areniscas sobreyacentes, ambas de la Formación Patagonia. La franja saturada posee un espesor de 80 cm. con alta concentración de sales y derivados de hidrocarburos que le confieren una tonalidad azulada y olor característico (Griznik, Hirtz 1993). Existen eflorescencias salinas que denotan la elevada concentración de sales en el agua circulante, característica propia del flujo a nivel regional, (Griznik y Hirtz, 2000) y (Hirtz y Griznik, 2000).

Este nivel no constituye un acuífero propiamente dicho pero se encuentra saturado y descarga en forma de llozaderos de muy bajo caudal, generando un impacto muy negativo sobre el talud y particularmente sobre la masa deslizada ya que se insume en su totalidad en dichos materiales. Las arcilitas, ubicadas por debajo del banco permeable saturado, también presentan una severa reducción de la cohesión.

Las aguas afloran entre los 24 y 25 m s.n.m. en el talud sudeste y a 26 m s.n.m. en el sector de playa de camiones, lo que denota un nivel aproximadamente homogéneo dada la relativa horizontalidad de los estratos. La dirección general de flujo es hacia el sureste del sector urbanizado con densa forestación, lo que favorece la infiltración de aguas que se suman a las de circulación regional.

La incorporación de agua al subsuelo por acción antrópica (riego, pérdidas de líneas de conducción y almacenamiento, deficiencias de drenaje superficial, etc.) han contribuido a agravar la situación del área, particularmente al norte del cañadón del Infiernillo y sobre calle Sarmiento. Precisamente son los dos sectores de mayor sensibilidad frente al riesgo de procesos de remoción por la elevada densidad poblacional en el primer caso, y la existencia de tanques de gran capacidad con combustibles en el segundo.

8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS PRINCIPALES

Los deslizamientos descritos sobre la franja costera estudiada presentan aspectos comunes, tanto en los factores

desestabilizantes como en el desarrollo de los procesos. Debido a ello resulta conveniente diagnosticar y proponer un plan de estabilización de carácter integral.

Avanzando en dicho sentido, con la evaluación cuantitativa desarrollada a continuación se procura destacar la semejanza en el comportamiento mecánico de los materiales en los deslizamientos. Para ello se han seleccionado los tres procesos principales, representados en las ubicaciones 3, 4 y 5. Se trata de eventos recientes, donde la masa de suelo previamente deslizada se removilizó de un solo pulso rápido, de importante magnitud areal y volumétrica.

En primer lugar todos arrojaron en las evaluaciones previas a los respectivos movimientos, factores de seguridad cercanos a la unidad (entre 1.09 y 1.15). Ello es consecuencia de los bajos parámetros resistentes calculados en dicha oportunidad: cohesión de 0.2 Kg/cm² y ángulo de fricción de 16 grados (Hirtz, 1995), lo que no les permitía almacenar gran cantidad de energía potencial antes del movimiento.

Las masas deslizadas se removilizan luego de un lapso en el que se deterioran progresivamente los parámetros resistentes por incorporación de agua, que propicia la alteración de las arcillas montmorilloníticas, plásticas y expansivas. Es habitual, por ello, que luego de un deslizamiento con las características descritas, en lugar de alcanzarse una estabilidad duradera bajo las nuevas condiciones de esfuerzos, comiencen a gestarse tensiones dentro de la masa que la movilizarán nuevamente, ya sea mediante pulsos menores periódicos o un único evento rápido.

Se asume que al momento de producirse el movimiento el factor de seguridad es de magnitud unitaria, ya que los momentos resistentes son básicamente equivalentes a los deslizantes, según la ecuación antes enunciada.

Como puede apreciarse en los perfiles de las figuras 2, 3 y 4, aplicando un método de análisis retrospectivo (o retro análisis), considerando el factor de seguridad unitario ($F_s = 1$) y conociendo la geometría de la superficie topográfica previa y del plano de deslizamiento, se puede obtener la magnitud de los parámetros resistentes en dicha situación.

Para los tres casos descriptos se consideró que el deterioro afectó exclusivamente a la cohesión (manteniendo, por lo tanto los restantes parámetros constantes), obteniéndose los siguientes resultados:

FIGURA NÚMERO	UBICACIÓN EN MAPA	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN	PESO ESPECÍFICO	PENDIENTE GRADOS	PENDIENTE PORCENTAJE
2	4	0.12110	16	1.94	26.0	48.77
3	3	0.1335	16	1.94	27.0	51.52
4	5	0.2400	16	1.94	23.5	43.48

FIGURA 2: PERFIL DEL DESLIZAMIENTO UBICADO EN SECTOR SUR DEL TALUD SUDESTE DE LA TERMINAL REPSOL - YPF. UBICACIÓN 4 EN EL MAPA

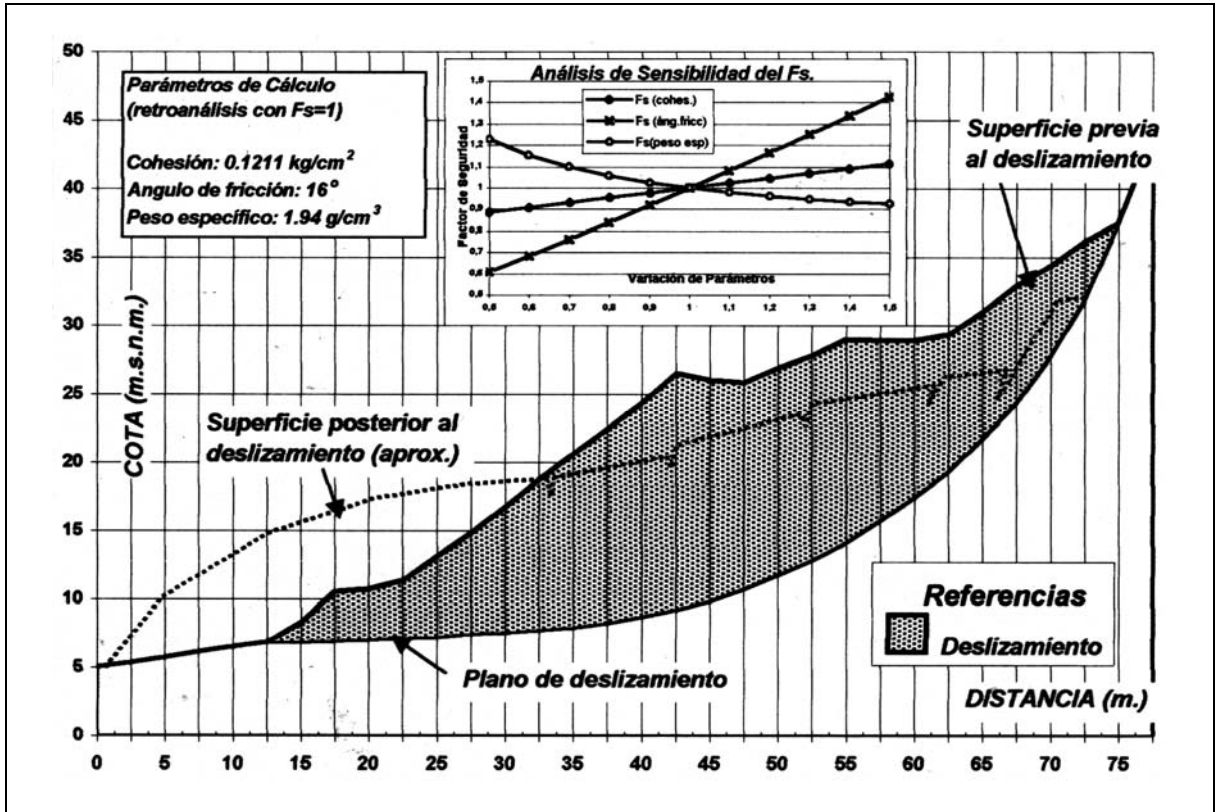


FIGURA 3: PERFIL DEL DESLIZAMIENTO UBICADO EN EL SECTOR CENTRAL DEL TALUD SUDESTE DE LA TERMINAL REPSOL - YPF. UBICACIÓN 3 EN EL MAPA

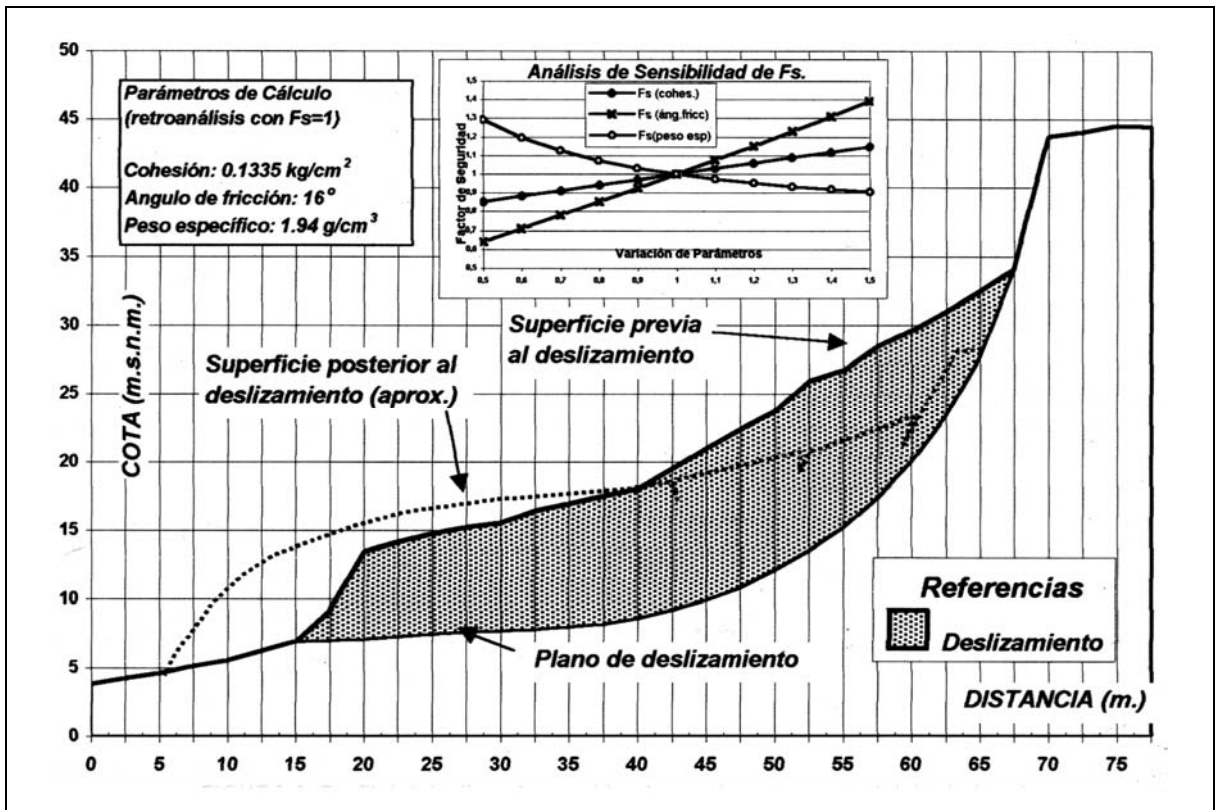
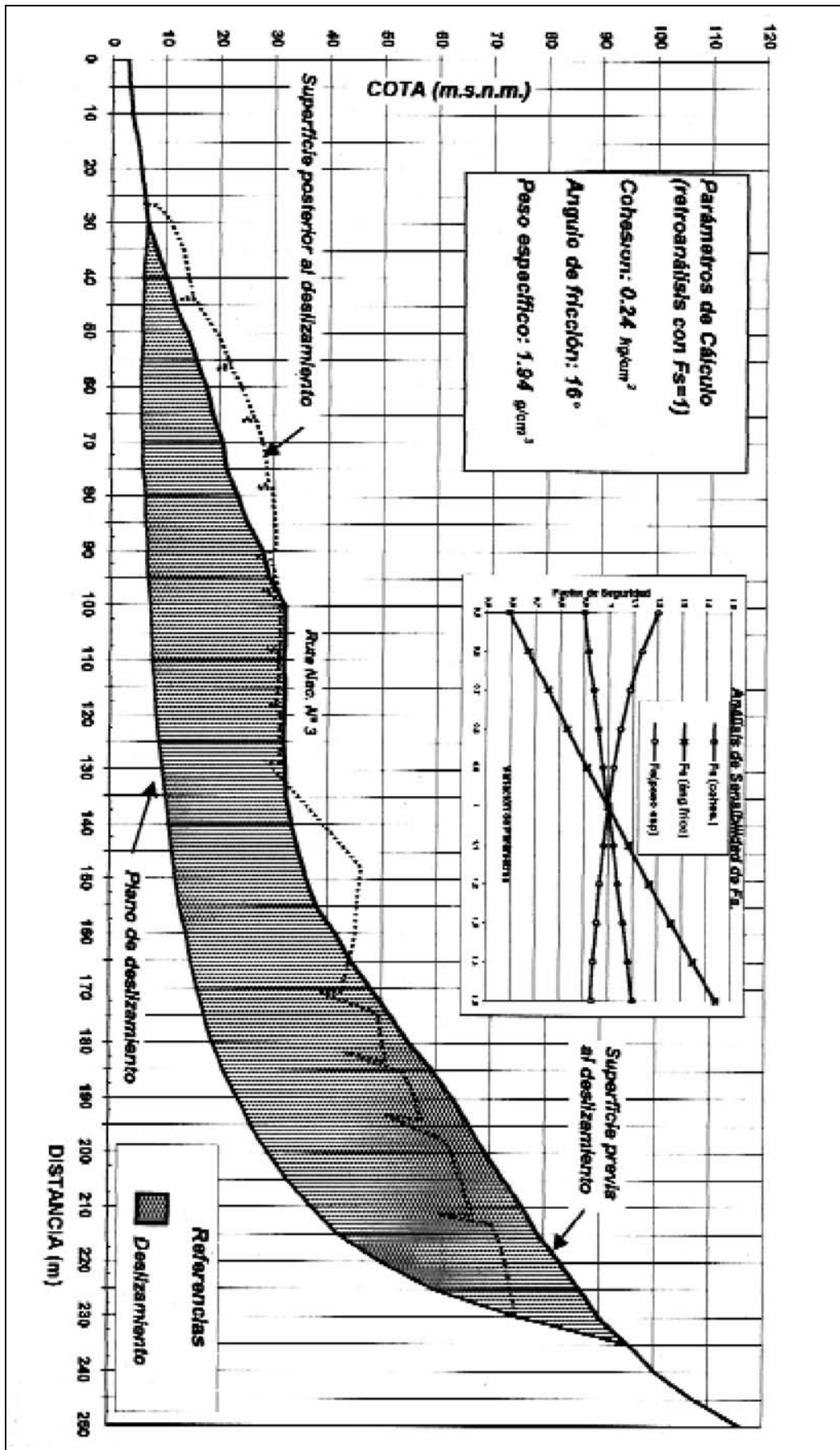


FIGURA 4: PERFIL DEL DESLIZAMIENTO SOBRE EL FALDEO ESTE DEL Cº CHENQUE. UBICACIÓN 5 EN EL PLANO



Se puede apreciar la semejanza de los procesos en cuanto a las pendientes promedio previas, la modalidad del movimiento y el orden de magnitud de los valores de cohesión, considerada como variable en los cálculos, siendo el parámetro menos sensible de los analizados, como puede apreciarse en los gráficos de análisis de sensibilidad adicionados en las respectivas figuras.

Al variar cada parámetro en $\pm 50\%$ a partir del valor de cálculo, manteniendo los dos restantes constantes, se determina la incidencia de dicha variación sobre el factor de seguridad. Por presentar la pendiente más baja, se aprecia fácilmente que la cohesión es el componente menos sensible para el Factor de Seguridad de los tres analizados.

En base a estas evidencias y la experiencia recogida

en otros procesos similares, puede deducirse que las pendientes próximas a los 30 grados (57.7 %) en materiales deslizados, deben ser consideradas en riesgo severo de deslizamiento. Los parámetros antes descriptos pueden utilizarse para efectuar una estimación cuantitativa preliminar.

Con un criterio más amplio resulta evidente que el faldeo sur (desde calle Alsina a Ruta 3) y este del cerro Chenque, y el acantilado del cerro Viteau poseen un elevadísimo riesgo de presentar deslizamientos localizados. Si bien los parámetros resistentes de las sedimentitas que permanecen "in situ" son más elevados, las pendientes también lo son.

En estudios previos realizados (Hirtz, 1997), se determinaron dichos parámetros mediante ensayos triaxiales no drenados obteniéndose los siguientes resultados:

	Cohesión (kg/ cm ²)	Ángulo de Fricción (Grados)
Areniscas (tramo medio y sup. del banco principal)	8.5	36
Areniscas (tramo inferior del banco principal)	2.3	40
Arcilitas con fracturas cerradas y discontinuas	1.5	32
Arcilitas con fracturas cerradas y continuas	0.4	27

El tramo inferior de los faldeos (de 15 a 86 m en el Cerro Chenque) está conformado por arcilitas con elevada alteración y fracturamiento subsuperficial, representando el mayor riesgo potencial de deslizamiento, actuando como agravante la existencia de signos de movimientos anteriores en el entorno cercano y/o evidencias previas al propio movimiento.

Respecto a estas últimas, aparece como rasgo distintivo previo al deslizamiento, una grieta característica en la cabecera del movimiento, en forma curva, cóncava hacia el frente del talud, sin desplazamiento vertical o con leve resalto pendiente abajo. Actualmente, sobre el acantilado de la Escuela de Negocios, (al norte del cañadón del Infiernillo) se aprecia una cicatriz con un resalto de aproximadamente 40 centímetros, preanunciando un futuro deslizamiento en el sector, de características similares a las descriptas.

9. ACCIONES PARA ESTABILIZAR EL SECTOR

Se debe desarrollar un proyecto que contemple la estabilización de los sectores más comprometidos en base a acciones concretas, siendo prioritarias las siguientes:

Suprimir las prácticas desestabilizantes de origen antrópico: incorporación de agua al subsuelo y eliminación de terreno en el pie de los taludes por desmonte.

Desarrollar obras de protección de la erosión marina (muros, escolleros) que contemplen la disipación de la

energía del oleaje, al pie del frente este del cerro Chenque y del acantilado del cerro Viteau.

Recomponer el tramo inferior de los taludes (por debajo de ruta N° 3) en ambos sectores con pendientes del orden de 20 grados (36 %), ajustada con estudios específicos para obtener un factor de seguridad no menor de 1.5.

Desarrollar sistemas de protección de la erosión hídrica superficial, drenajes y subdrenajes. Estos últimos, mediante drenes transversales de penetración, particularmente en la zona crítica del acantilado ubicado al norte del cañadón del Infiernillo.

Para estabilizar el relicto del lóbulo o lengua de deslizamiento sobre calle Sarmiento se deben incorporar elementos resistentes ya que debido a la urbanización sobreimpuesta no se pueden modificar las pendientes.

Por encima de ruta 3 y calle Sarmiento resta la tarea más controvertida y laboriosa que es la estabilización del faldeo sur y este del cerro Chenque. Existen diversas opiniones a nivel local sobre el tema, desde su preservación inalterada por motivos ambientales (paisaje y ecosistema), culturales y religiosos; hasta la propuesta de su eliminación total, utilizando el área recuperada para ampliación del casco céntrico.

Desde un punto de vista geotécnico, priorizando una alternativa técnico-económica factible se considera que el modo más adecuado de estabilización consiste en

la recomposición de sus laderas mediante desmonte, con pendientes que permitan factores de seguridad más elevados que los actuales. Se han desarrollado cálculos de estabilidad sobre arcilitas, con los parámetros antes descriptos, obteniéndose en sectores específicos valores bajos de factor de seguridad.

Las areniscas admiten mayor inclinación por su mayor resistencia como se expresara precedentemente, y pueden ser utilizadas para desarrollar bermas en un perfil aterrazado.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base al análisis precedente se puede concluir que la zona estudiada presenta un grado de elevado riesgo geológico en relación al desarrollo de procesos de remoción en masa, particularmente en lo referente a los deslizamientos rotacionales, que constituyen los eventos de mayor magnitud, velocidad de desarrollo, compromiso de bienes, obras, vidas humanas y medio ambiente en general. Los sectores más comprometidos son la Terminal de combustibles de Repsol-YPF, la ruta Nac. N° 3 y la urbanización próxima a calle Sarmiento.

De los antecedentes expuestos se desprende que ocurrieron en las siete ubicaciones señaladas en la Figura 1,

once reactivaciones importantes de movimientos en los últimos quince años, de las cuales siete ocurrieron desde 1994 a la fecha, (en el orden de una por año, si se las prorratea en ese período de tiempo). Las magnitudes de las mismas resultan asimismo significativas, encontrándose en general por encima de los 5000 m³ y alcanzando en el frente este del Cerro Chenque más de 100.000 m³ (Febrero de 1995).

La factibilidad de recurrencia es muy alta debido a los antecedentes expuestos y a la persistencia en el tiempo de factores desestabilizantes, algunos de los cuales se encuentran ligados a la intervención antrópica inadecuada en sectores específicos.

En base al diagnóstico expuesto, resulta necesario desarrollar un proyecto de estabilización de los sectores críticos, neutralizando o disminuyendo el elevado riesgo que el desarrollo de los movimientos permite presuponer.

El mismo debe contemplar (según los sectores) obras de captación del drenaje subterráneo, drenaje superficial, protección a la erosión hídrica y marina, rectificación de pendientes adecuándolas a la baja resistencia de los materiales e incorporación de elementos resistentes. Se debe contar, asimismo con elementos de auscultación y un plan de monitoreo de los mismos para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema en el tiempo.

11. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BELLOSI, E. S., 1990.

Formación Chenque, registro de la transgresión Patagoniana en la Cuenca San Jorge.

XI Congreso Geológico Arg. Actas 3 ;57-60.

BELLOSI, E. S. Y V. D. BARREDA, 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.

CODIGNOTTO, J. O., R. R. KOKOT Y S. C. MARCOMINI, 1992.

Neotectonism and Sea-Level Changes in the Coastal Zone of Argentina.

Journal of Coastal Research, 8 (1): 125-133.

CODIGNOTTO, J. O., R. R. KOKOT Y S. C. MARCOMINI, 1993.

Desplazamientos verticales y horizontales de la costa argentina en el Holoceno.

Rev. Asoc. Geológica Arg. 48 (2): 125-132.

FERELLO, R., 1965.

Contribución al estudio de líneas de costas en la zona de Comodoro Rivadavia.

Anales de la Soc. Científica Argentina: 17-34.

FERUGLIO, E., 1949.

Descripción geológica de la Patagonia.

Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Vol. 2:1-349. Buenos Aires.

FERUGLIO, E., 1950.

Descripción geológica de la Patagonia.

Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Vol. 3:1-431. Buenos Aires.

- GRIZINIK, M. Y N. HIRTZ, 2000.
Salinización en el Ejido Urbano de la Ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. Evaluación y Propuesta de Saneamiento.
I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza, Brasil.
- GRIZINIK, M. Y N. HIRTZ, 1993.
Evaluación de la Contaminación Ambiental en la Planta de Almacenaje de Combustibles. Comodoro Rivadavia, Chubut.
Inf. Inédito. Univ. Nac. de la Patagonia, S.J.B.
- HIRTZ, N., H. PREZ Y J. C. RODRÍGUEZ, 1994.,
Estudio de estabilidad en el sector del Barrio Sismográfico de Comodoro Rivadavia.
Asoc. Arg. Geol. Aplicada a la Ing. Actas VIII:46-58.
- HIRTZ, N., H. PREZ, M. GRIZINIK, A. TEJEDO, A. BLACHAKIS, M. STRONATI, S. CAVALLARO, 2000.
Uso de Mapas Temáticos en la Confección de la Carta Geoambiental de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.
Rev. de Geol. Aplic. a la Ing. y al Ambiente Nro.14. 56-75. Buenos Aires.
- HIRTZ, N., M. GRIZINIK Y A. BLACHAKIS, 2000.
Evaluación Geohidrológica Aplicada al desarrollo Urbano de la Ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut. Argentina.
I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza, Brasil.
- HIRTZ, N. Y V. ESCRIBANO, 1994.
Informe Preliminar de Evaluación de Estabilidad en Calle Sarmiento.
Inf. Inédito para la Munic. C. Rivadavia. Univers. Nac. de la Patagonia, S.J.B.
- HIRTZ, N., 1995.
Evaluación de Estabilidad de Taludes en la Terminal de YPF SA. B° Gral. Mosconi, Comodoro Rivadavia.
Inf. inédito para YPF SA. Univ. Nac. de la Patag., S.J.B.
- HIRTZ, N., H. PREZ Y R. MORALEJO, 1997.
Evaluación de Estabilidad del Sector del Balcón del Paraíso, Sobre Calle Alsina, entre Huergo y Chaco.
Inf. inédito para la Munic. C. Rivadavia. Univers. Nac. de la Patagonia, SJB.
- KOKOT, R. R., M. C. DEL VALLE Y J. O. CODIGNOTTO, 1996.
Aspectos Ambientales y Riesgo Geológico Costero en Zonas Urbanas del Golfo San Jorge.
Actas Asoc. Arg. Geol. Aplicada a la Ing. Vol. X, 169-186.
- SPALLETTI, L.A. Y M. MAZZONI, 1979.
Estratigrafía de la Formación Sarmiento en la Barranca Sur del Lago Colhué Huapi, Provincia del Chubut.
Rev. Asoc. Geol. Arg. 34: 271-281.
- WINDHAUSEN, A., 1924.
Líneas generales de la constitución geológica de la región situada al oeste del Golfo San Jorge.
Bol. Acad. Nac. de Ciencias de Córdoba, XXVII: 167-320. Córdoba.



Caracterización del deterioro potencial en rocas carbonáticas ornamentales

Córdoba, Argentina

Karlsson, Alicia - Ayala, Rosa - Romero, Fernando

Resumen

Se plantea un método mineralógico estadístico a fin de evaluar el deterioro potencial de los mármoles de mayor producción de la Provincia de Córdoba. Se seleccionaron los siguientes mármoles ornamentales: Verde Doreé, Verde Limón, Blanco Níveo (grano mediano), Blanco Níveo (grano fino), Verde Cipollino, Blanco Serrano, Gris Marino, Verde Jade, Gris Nube, Blanco Mar, Gris Platino, Gris Candelaria. El método se basa en la evaluación de las características mineralógicas que más influyen en la alterabilidad de las placas ornamentales. Se determinaron dichas características también para el mármol Blanco de Carrara, a fin de utilizar dichos valores como comparación con los mármoles estudiados. A partir de esta comparación podemos indicar que los óptimos como revestimiento de pisos y revestimiento exterior son los siguientes mármoles: Verde Doreé, Verde Limón, Blanco Níveo, y Verde Cipollino.

1. INTRODUCCIÓN

Los mármoles estudiados en este trabajo son los de mayor producción en las Sierras de Córdoba, estos están constituidos principalmente por calcita y/o dolomita a los que se asocian numerosas especies minerales denominados accesorios, mayormente silicato.

El término mármol en sentido comercial se aplica a las rocas de composición carbonáticas (cuya dureza no supere los 5 puntos de la escala de dureza de Mohs), que se utilicen en la construcción con el fin de aprovechar a la vez sus propiedades físicas y estéticas. Esta rocas en estudio se evalúan desde la óptica de la roca o piedra ornamental, y o de revestimiento, según las definiciones de Alcalá (1991).

Los estudios sobre estos mármoles fueron realizados desde principio de siglo por Beder (1922), y luego por Gordillo *et al.* (1972) y Di Fini (1981), entre los más

consultados. Estos investigadores dejaron claramente establecido que tales componentes son principalmente producto del metamorfismo regional actuante sobre un basamento cristalino estratificado. En mucho menor proporción del metamorfismo de contacto; debido al limitado aporte de volátiles de las penetraciones intrusivas (mayormente aplitas y pegmatitas) y la reducida permeabilidad de calizas y dolomías.

Los factores que determinan la calidad comercial de estas rocas carbonáticas, Romero (1998), son especialmente las descritas a continuación:

El color es uno de los elementos de mayor importancia para la cotización de una roca ornamental y en la determinación de la misma se conjugan tanto elementos de estética, moda, gustos y secases, Leynaud *et al.* (1992). Estimaciones cuantitativas generales sobre los colores que presentan dichas rocas, permiten establecer que en un 60% prevalecen los colores verdes, grises y amarillentos en diversos tonos y solo cerca del 40% son blancos o de tonos muy claros.

Entregado: 01 de Setiembre de 2000 ■ Aceptado: 17 de Octubre de 2000

1. Av. Sabattini 1672, Córdoba (5014), Argentina
e-mail: karlsson@onenet.com.ar

TABLA I: CARACTERÍSTICAS MACRO Y MICROSCÓPICAS DE ALGUNOS MÁRMOLAS ORNAMENTALES DE CÓRDOBA

Nombre Comercial	Descripción Macroscópica			Descripción Microscópica			Composición Química	
	Color	Textura	Textura	Textura	Estructura	Minerales Accesorios	CO ₃ Ca	CO ₃ Mg
Blanco Serrano	Gris Perla	Criptocristalina	Granoblástica	Granoblástica	Holocristalina	Cuarzo-Titanita-Diopsido Tremolita-Wollastonita	78,65%	19,73%
Blanco Níveo (Grano Fino)	Blanco Tiza	Sacaroide	Granoblástica	Granoblástica	Holocristalina	Flogopita - Tremolita - Forsterita Diopsido	57,50%	41,24%
Blanco Níveo (Grano Mediano)	Blanco Tiza	Sacaroide	Granoblástica	Granoblástica Espástica	Holocristalina	Flogopita -Tremolita	55,10%	44,15%
Blanco Mar	Amarillo Verdoso	Criptocristalina	Granoblástica fina	Granoblástica	Holocristalina	Forsterita- Flogopita-Cuarzo	58,01%	41,51%
Verde Doreé	Verde Amarillento	Criptocristalina	Granoblástica Fina	Granoblástica	Holocristalina	Flogopita- Forsterita-Tremolita- Actinolita-Diopsido- Cuarzo	58,88%	39,45%
Verde Jade	Verde Claro	Sacaroide	Granoblástica Mediana	Granoblástica	Holocristalina	Biotita -Diopsido- Cuarzo	86,71%	4,08%
Verde Cipollino	Verde Agua	Sacaroide Fino	Granoblástica Fina	Granoblástica	Holocristalina	Flogopita- Tremolita- Diopsido - Forsterita- Cuarzo - Titanita	57,66%	38,67%
Verde Limón	Amarillo Verdoso	Criptocristalina	Granoblástica Fina	Granoblástica	Holocristalina	Diopsido- Forsterita-Tremolita-	57,49%	39,45%
Gris Candelaria	Gris Verdosa	Sacaroide Fina	Granoblástica Fina	Granoblástica	Holocristalina	Biotita- Diopsido- Titanita- Tremolita- Cuarzo	86,22%	3,27%
Gris Platino	Blanco tiza	Sacaroide	Granoblástica Fina	Granoblástica	Holocristalina	Biotita- Diopsido- Titanita-Cuarzo	58,57%	36,82%
Gris Nube	Blanco Grisáceo	Sacaroide	Granoblástica Mediana	Granoblástica	Holocristalina	Cuarzo	83,36%	2,41%
Gris Marino	Gris Intenso	Sacaroide Fino	Granoblástica Fina	Granoblástica	Holocristalina	Cuarzo- Diopsido-Flogopita- Apatita	87,35%	9,10%

El diseño de la roca ornamental queda expresado en el dibujo que se obtiene en la placa pulida. Estando determinado por la mineralogía, textura, estructura de roca y el plano de corte, se pueden diferenciar dos tipos de diseños en función de las aplicaciones. Los diseños homogéneos se caracterizan por presentar uniformidad en la distribución de los minerales y que con prescindencia de la dirección que se corte, el dibujo de la placa es el mismo. Los diseños heterogéneos son debidos a la distribución no uniforme de los minerales, por alienaciones o por concentraciones de los mismos. A partir de ellos se obtienen las variedades bandeadas o con dibujos irregulares. Este tipo de diseño se presta para ser aplicado en aquellos revestimientos donde se deba aprovechar el máximo efecto estético.

La nominación o tipificación mineral de una roca carbonática deriva de la armonización de una o más de sus características. La primera característica es la que pone en evidencia el aspecto petrológico de la roca, la segunda refleja el aspecto cromático y la tercera hace referencia a su procedencia geográfica. Los nombres de las rocas carbonáticas estudiadas mantienen la denominación de esta forma, (Tabla I).

2. MÉTODOS

Los mármoles ornamentales de Córdoba son largamente utilizados en nuestro país, siendo importante todo estudio que plantee un mejoramiento en su uso y conservación. Los factores que se tienen en cuenta para la determinación de la calidad ornamental de estas rocas están normalizadas, pudiendo citar las normas: UNI de Italia, UNE de Europa, A.S.T.M. de EE.UU. e I.R.A.M. en la Argentina.

Todas consideran como ensayos más importantes a los siguientes: a) peso específico; b) resistencia a la compresión simple; c) resistencia a la compresión luego de ciclos de congelamiento; d) resistencia a la flexión y e) coeficiente de imbibición.

No existiendo en este momento ensayos normalizados que cuantifiquen la potencialidad de alteración de las rocas frente a diferentes microambientes químicos a que puedan ser sometidos, según su uso, planteándose en este trabajo un método petrológico que permite cuantificar dicha propiedad.

El método propuesto, *Karlsson et al. (1996)*, cuantifica la potencialización de alteración de las rocas de aplicación frente a diferentes microambientes a que serán sometidas las superficies rocosas.

Las causales de alteración (pérdida de pulido, porosidad secundaria, manchado) de las rocas de aplicación en paredes exteriores son primordialmente debido a la contaminación ambiental, *Attewell et al. (1988)*.

Esta genera distintos compuestos y residuos que se adhieren a las superficies rocosas y luego se disuelven en la humedad ambiente; variando los valores de microambientes químicos en la superficie rocosa hasta pH4, *Combina (1994)*, lo que produce la alteración de los minerales formadores de las rocas ornamentales.

En recubrimientos aplicados a pisos los efectos destructivos son debidos al impacto puntual por alto tránsito y la alteración producida por limpiadores alcalinos que generan un microambiente de hasta pH8. Esta alteración *in situ* posterior a su aplicación genera procesos en cadena, ya que su efecto sobre la superficie rocosa es directamente proporcional a la microporosidad producida.

Los revestimientos interiores debidos a la presencia de anhídrido carbónico y otros gases alcanzan un microambiente de pH6.

Las rocas originales de los mármoles son calizas, que pueden tener diferentes grados de marmolización, lo que le confiere características físico-químicas heterogénea, afectando así la calidad de ellas, *De Maio et al. (1993)*.

Las características internas que tienen mayor influencia en una acelerada alteración de las placas de mármol son: porcentaje volumétrico de las especies minerales, tamaño de grano, tipos de borde de grano, microfracturas de intargrano y las discontinuidades presentes discriminadas por especies minerales, *Karlsson et al. (1995)*.

A fin de diseñar una categorización de la potencialidad de alteración química se tiene en cuenta la cuantificación de las características antes indicadas. La cuantificación de los porcentajes minerales, microfracturas y discontinuidades superficiales discriminadas por especies minerales. Todos estos datos se obtienen del estudio detallado a partir de cortes delgados, utilizando el método estadístico de conteo desarrollado por *Karlsson (1988)*.

En cuanto a la caracterización de los porcentajes minerales, de microfracturas y de discontinuidades superficiales se lo hace en forma directamente proporcional con su presencia, considerando valores de 1 para valores menores de 20%, de 2 para valores entre 20 a 50%, y de 3 para valores mayores de 50%.

El tamaño de grano se categoriza en forma indirectamente proporcional a la dimensión alcanzada por los granos minerales. Debido a que la presencia de abundantes granos de menor tamaño de un mineral alterable ofrece mayor superficie de ataque que un solo grano de gran tamaño. Así consideramos un valor de 1 para tamaños de granos mayores a 200 micras, un valor de 2 para tamaños entre 100 y 200 micrones y de 3 para tamaños menores de 100 micras.

La influencia del tipo de borde de grano se lo categoriza en forma directamente proporcional a las cripto discontinuidades primarias que presenta, así se considera un

valor de 1 para el desarrollo más compacto como es el de sutura, 2 para aquellos contornos lisos y sin alteraciones denominados nítidos y 3 para aquellos de alta cripto porosidad que son los alterados, (Tabla III).

Para categorizar la alteración de las especies minerales nos basamos en *Karlsson et al (1996)*. Otorgando valores directamente proporcionales a la alterabilidad de cada especie mineral, discriminada según los pH de los microambientes más comunes a las que potencialmente estarán sometidas las rocas de aplicación: pH4 (recubrimiento exterior), pH6 (recubrimiento interior) y pH8 (recubrimiento de pisos).

Categorizamos las especies minerales con valores directamente proporcionales a su alterabilidad, así le damos un valor de 4 a las especies más alterables, 3 a las medianamente alterables, 2 a las poco alterables y de 1 las especies estables, (Tabla II).

TABLA II: CATEGORIZACIÓN DE LA ALTERACIÓN MINERAL

Mineral	pH 4	pH 6	pH 8
Vidrio Volcánico	4	1	3
Dolomita	3	1	2
Calcita	4	1	3
Olivino	3	1	2
Opacos	4	3	3
Serpentinas	4	2	3
Cuarzo	1	1	1

Una vez descriptos y evaluados estos parámetros de alteración mineral se procede a aplicar los siguientes cálculos estadísticos:

- Mediante (VA)pHx indicamos la velocidad de alteración de cada especie mineral sometidos a microambientes determinados según la Tabla II.
- Determinados los valores correspondientes a las características internas, (Tabla III), se procede a sumar los índices correspondientes a cada especie mineral, salvo la (VA)pHx la cual se multiplicará por la sumatoria anterior, dando un índice diferenciado para cada mineral. Por medio de dicho índice $NpHx = (VA)pHx (a+b+c+d+e)$, deducimos la alterabilidad potencial de los minerales sometidos a microambientes determinados, (Tabla IV).
- Los índices de alterabilidad potencial para cada especie mineral se genera, $IAPPx = NpHx$, índice de alterabilidad potencial de la roca sometida a microambientes determinado, (Tabla IV).

3. RESULTADOS

Si bien los mármoles se consideran aptos para todo uso, a la hora de decidir su aplicabilidad se puede considerar los mejores valores dentro de un rango de muestras de posible utilidad. Se plantea una categorización por comparación con otras rocas del mismo tipo, tomando como modelo los valores ideales que corresponden al mármol Blanco de Carrara.

En la (Tabla IV) están expuestos los valores de alterabilidad potencial obtenidos a partir de la aplicación del método propuesto según la aptitud de los mismos.

En la (Tabla V) se expone la categorización de aptitud de los mármoles ordenados de acuerdo a los usos posibles (pisos, revestimientos interiores y revestimientos exteriores).

En las (Tablas VI, VII, y VIII) se ordenan verticalmente los valores obtenidos, en forma decreciente de acuerdo a la aptitud para su uso, teniendo en cuenta la categorización química.

TABLA III: GUÍA DE CLASIFICACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Letra	Parámetros Químicos	Índice Numérico		
		1	2	3
a	% Mineral	< 20	20 a 50	>50
b	Tamaño de Grano en Micras	>200	200 a 100	<100
c	Borde de Grano	Sutura	Nítido	Alterado
d	Porcentaje de Microfracturas	< 20	20 a 50	>50
e	Porcentaje de Discontinuidades	< 20	20 a 50	>50

TABLA IV: ÍNDICE DE ALTERABILIDAD POTENCIAL DE LOS MÁRMOLES ESTUDIADOS

Denominación comercial	Categorización Química					NpHx		
	a	b	c	d	e	NpH4	NpH6	Np8
Blanco Serrano								
Calcita	3	1	1	1	3	36	9	27
					IAPpHx	36	9	27
Blanco Níveo (Grano Fino)								
Dolomita	2	2	2	1	3	30	10	20
Dolomita Criptocristalina	3	3	1	1	2	30	10	20
					IAPpHx	60	20	40
Blanco Níveo (Grano Mediano)								
Dolomita	3	1	2	2	2	30	10	20
					IAPpHx	30	10	20
Blanco Mar								
Dolomita	2	2	2	1	3	30	10	20
Dolomita Criptocristalina	2	3	1	1	1	24	8	16
					IAPpHx	54	18	36
Verde Dorée								
Dolomita	3	2	1	1	2	27	9	18
					IAPpHx	27	9	18
Verde Jade								
Calcita	3	2	1	1	3	40	10	30
					IAPpHx	40	10	30
Verde Cipollino								
Dolomita	3	3	1	1	2	30	10	20
					IAPpHx	30	10	20
Verde Limón								
Dolomita	3	3	1	1	1	27	9	18
					IAPpHx	27	9	18
Gris Candelaria								
Calcita	3	3	1	1	1	36	9	27
Coloides de Hierro	2	3	1	1	1	32	24	24
					IAPpHx	68	33	51
Gris Platino								
Dolomita	2	2	2	1	3	30	10	20
Dolomita Criptocristalina	3	3	1	1	1	27	9	18
					IAPpHx	57	19	38
Gris Nube								
Calcita	3	1	2	1	3	40	10	30
					IAPpHx	40	10	30
Gris Marino								
Calcita	3	1	2	1	2	36	9	27
					IAPpHx	36	9	27

TABLA V: NÓMINA DE MÁRMOLES CON SUS ÍNDICES DE ALTERABILIDAD POTENCIAL

Mármol	IAPpHx		
	Pisos	Revestimientos	
		Interiores	Exterior
Blanco de Carrara (Karlsson 1995)	32	8	24
Blanco Serrano	36	9	27
Blanco Níveo (Grano Fino) 60	20	40	40
Blanco Níveo (Grano Mediano) 30	10	20	20
Blanco Mar	54	18	36
Verde Dorée	27	9	18
Verde Jade	40	10	30
Verde Cipollino	30	10	20
Verde Limón	27	9	18
Gris Candelaria	68	33	51
Gris Platino	57	19	38
Gris Nube	40	10	30
Gris Marino	36	9	27

4. CONCLUSIONES

Si bien los mármoles se consideran aptos para todo tipo de uso, a la hora de decidir su aplicabilidad se puede considerar los mejores valores dentro de un rango de muestras de posible utilidad.

Considerando los valores óptimos para todo uso ornamental de los mármoles a los valores del "Blanco de Carrara", podemos distinguir dos grupos según sus aptitudes de uso.

A partir de la comparación de estos valores (Tablas VI, VII, y VIII) podemos indicar que el uso óptimo para los mármoles estudiados es como revestimiento de pisos y revestimiento exterior los siguientes mármoles: Verde Dorée, Verde Limón, Blanco Níveo, y Verde Cipollino.

Si bien los valores de alterabilidad de los Mármoles de Córdoba para revestimiento exterior son menores a los de Blanco de Carrara, los mármoles antes nominados también corresponden a los más óptimos.

Llamativamente todos los mármoles estudiados son más aptos para pisos que para revestimientos externos. Esto se debe a que externamente el ambiente generado por la polución es ácido. En la antigüedad los mármoles expuestos a la intemperie resistieron hasta 5000 años sin alterarse, pero en condiciones generadas por las grandes ciudades este aspecto se invirtió.

TABLA VI: MÁRMOLES ORDENADOS DE ACUERDO A LA APTITUD PARA SER USADOS EN PISOS

Mármol	APpHx
Verde Dorée	27
Verde Limón	27
Blanco Níveo (Grano Mediano)	30
Verde Cipollino	30
Blanco de Carrara	32
Blanco Serrano	36
Gris Marino	36
Verde Jade	40
Gris Nube	40
Blanco Mar	54
Gris Platino	57
Blanco Níveo (Grano Fino)	60
Gris Candelaria	68

TABLA VII: MÁRMOLES ORDENADOS DE ACUERDO A LA APTITUD PARA SER USADOS EN REVESTIMIENTOS INTERIORES

Mármol	APpHx
Blanco de Carrara	8
Verde Dorée	9
Verde Limón	9
Blanco Serrano	9
Gris Marino	9
Blanco Níveo (Grano Mediano)	10
Verde Cipollino	10
Verde Jade	10
Gris Nube	10
Blanco Mar	18
Gris Platino	19
Blanco Níveo (Grano Fino)	20
Gris Candelaria	33

TABLA VIII: MÁRMOLES ORDENADOS DE ACUERDO A LA APTITUD PARA SER USADOS EN REVESTIMIENTOS EXTERIORES

Mármol	APpHx
Verde Dorée	18
Verde Limón	1
Blanco Níveo (Grano Mediano)	20
Verde Cipollino	20
Blanco de Carrara	24
Blanco Serrano	27
Gris Marino	27
Verde Jade	30
Gris Nube	30
Blanco Mar	36
Gris Platino	38
Blanco Níveo (Grano Fino)	40
Gris Candelaria	50

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ALCALDA, M., 1991.

Morfología macroscópica de alteración de la piedra de la Catedral de Guadix, España.
Materiales de construcción, Volumen 41:21-38. Madrid.

ATTEEWELL, P.B. Y D.TAYLOR, 1998.

Time-dependent atmospheric degradation of building stone in a polluting environment.
Engineering Geology of Ancient Works, Volumen II : 739-753. Rotterdam.

BEDER, R., 1922.

Estudio geológico de las Sierras de Córdoba, especialmente de las calizas cristalogramulosas y sus fenómenos de metamorfismo.
Boletín de la Academia de Ciencias B- 33. Córdoba, Argentina.

COMBINA, M., 1994.

Caracterización y deterioro potencial de las rocas graníticas ornamentales, más utilizadas en el país.
Tesis de grado , 203 pp. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

DE MAIO, M. Y DOMINGUEZ, M., 1993.

Deterioration and conservation of the National Congress building stone, Argentina.
International congress of the conservation of stone, Volumen 1:184-1991. Paris.

DI FINI, A., 1981.

Estudio geológico y tecnológico-económico del yacimiento de mármol de Los Gigantes.
Tesis Doctoral, 240 pp. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

GORDILLO, C. Y LENCINAS, A., 1972.

Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. 2° Simposio de Geología Regional Argentina.
Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Volumen I: 577-650. Córdoba, Argentina.

LEYNAUD, F., MILLONE, H. Y JEREZ, D., 1992.

Evaluación de yacimiento de rocas ornamentales, metodología sistemática de investigación.

IV Congreso Nacional y I Congreso Latinoamericano de Geología Económica. Volumen I: 439-445. Córdoba, Argentina.

KARLSSON, A., 1988.

Resumen tesis doctoral: Estudios edafogénicos y mineralógicos comparados de perfiles de suelos desarrollados sobre diferentes rocas madres”.

Boletín de la asociación geología de Córdoba, Tomo IX:632-634. Córdoba, Argentina.

KARLSSON A., AYALA R., Y CASTAGNO R., 1995.

Categorización de la alteración potencial mármoles y travertinos ornamentales.

Actas del VIII Congreso Geológico Chileno. Volumen II:234-238. Antofagasta, Chile.

KARLSSON A., AYALA R., 1996.

Método de categorización de la alteración mineral”.

Actas del V Simposio de GIAEG y Medio Ambiente, Córdoba, Argentina.

ROMERO, F. A., 1998.

Caracterización de la alteración y deterioro potencial en las rocas carbonáticas ornamentales de Córdoba.

Tesis de grado, 128 pp. Universidad Nacional de Córdoba.



Análisis de arenas mediante procesamiento de imágenes digitales

Minkoff, Darío R. ¹ - Pérez, Daniel E. ^{1,2} - Perillo, Gerardo M. E. ^{2,3}

Resumen

Se presenta un método general para el análisis de objetos mediante una imagen llevada a formato digital, orientado a la determinación de variables geométricas de arenas. Como resultado intermedio se obtiene una representación discreta en distintos sistemas de coordenadas de los puntos del borde de cada objeto contenido en la imagen. A partir de allí se pueden estudiar las características de interés que cada análisis en particular requiera. En el presente trabajo se analiza una muestra de arena silicea que pasa el tamiz ASTM 170 y retenida en el tamiz ASTM 230 sobre la que se ha realizado un análisis de su forma.

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas conocidas aplicadas a la determinación de características de muestras de arenas utilizan métodos indirectos, y solo dan una aproximación a estos valores. Dicho de otra forma, se separan los agregados por frontera de tamaño (tamizado), se mide el tiempo de decantación de una muestra diluida (hidrometría), etc. Pero esta información no solo es subjetiva respecto del tamaño de los elementos que componen las muestras, sino que además no incluyen información específica de la forma de éstos. No obstante, existen numerosos estudios que demuestran claramente la importancia de la forma en los mecanismos de transporte y depositación de sedimentos.

Forma y tamaño no son variables independientes en una muestra. Todas las medidas de tamaño de partículas

están asociadas a la forma de la misma. Este problema puede ser observado en el rol que juega la interacción tamaño-forma en el tamizado estándar para la determinación de una curva granulométrica (Pang y Ridgway, 1983). En general se considera que el tamaño de la partícula es suficiente para caracterizar una muestra, dejando de lado la forma de las mismas, siendo además el tamaño más sencillo de determinar (Odford y Whalley, 1999).

La determinación cuantitativa de la forma de una muestra implica procedimientos que no aseguran la objetividad de las mediciones. El método aquí propuesto arroja resultados más precisos, tomados sobre cada elemento que compone la muestra y medido directamente. Debido a que el proceso es automático se asegura la independencia de los valores hallados respecto de la habilidad y/o subjetividad del operador.

Diversos investigadores han aportado metodologías de estudio de tamaño y forma (Ehrlich y Weinberg, 1970), análisis espectral de la forma (Boon et al., 1982), (Dowdeswell, 1982), medición electromagnética de la superficie (Deelman, 1972). La irrupción de la computadora, en conjunto con las técnicas de adquisición de imágenes, están aportando métodos modernos para la determinación de distintas características que no podían ser abordadas con facilidad por los procedimientos tradicionales.

Entregado: 10 de Agosto de 2000 ■ Aceptado: 12 de Octubre de 2000

1. Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur,
Av. Alem 1253, 8000 Bahía Blanca

2. Instituto Argentino de Oceanografía, CC 804,
8000 Bahía Blanca

3. Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur,
San Juan 670, 8000 Bahía Blanca

e-mail: perillo@criba.edu.ar

Los campos que más se han beneficiado de las habilidades del PID (Proceso de Imágenes Digitales) son la medicina, la biología, la geografía, la meteorología, la ciencia de los materiales y la milicia. En medicina existe un gran número de investigadores tratando de mejorar las técnicas existentes o tratando de inventar nuevas técnicas. Los algoritmos existentes y en desarrollo, son aplicados a imágenes que se han obtenido de aparatos como los rayos X, resonancia magnética (MRI), tomografía de emisión de positrones (PET) y tomografía axial computarizada (CAT).

Sin embargo, existen escasos trabajos que permitan establecer un mecanismo automático para la detección de las formas de partículas de sedimentos. Por lo tanto, el objetivo principal de este artículo es, justamente, presentar, por medio de un ejemplo práctico, las etapas de la metodología desarrollada y como los resultados obtenidos se pueden emplear para calcular las armónicas representativas de las formas de los granos. Esta metodología basada en una programación computacional propia puede ser aplicada a diversos estudios geológicos, sedimentológicos, de mecánica de suelos e ingenieriles.

2. METODOLOGÍA

Como se indicó, la base del presente trabajo es la descripción de la metodología de trabajo. La misma consiste de varias etapas que incluyen: a) fotografiar un objeto, b) llevarlo a formato digital (obtención de la imagen), c) procesado (procesamiento de la imagen), y d) análisis de la imagen. Algunos de los algoritmos y funciones de procesamiento de imágenes digitales en MATLAB se extraen del *Image Processing Toolbox* que el programa trae para este fin. Esta nueva función reúne todos los algoritmos existentes y nuevos, a la par de hacer la interacción con el operador en forma amigable.

Obtención de la imagen

La obtención de imágenes puede realizarse con la ayuda de aparatos especializados como son cámaras de circuito cerrado de televisión (CCD), cámaras digitales de fotografía, digitalizadores electrónicos de página entera (scanners) o también cámaras normales de fotografía. Las cámaras digitales y los digitalizadores tienen la habilidad de producir la imagen digital directamente, pero en cambio las cámaras CCD que producen una señal análoga, requieren de la ayuda de una tarjeta de adquisición de imágenes. Las imágenes obtenidas en el presente trabajo fueron fotografías tomadas desde la lente de una lupa con distintos aumentos, con iluminación desde la parte inferior (Fig.1) y con objetivo graduado.

Los objetos en la imagen a procesar deben tener un color uniforme y bien diferenciado del fondo de la misma. El algoritmo de detección de bordes solo debe encontrar

colores uniformes que contrasten en la zona de los bordes de los objetos. Si así no estuviera preparada la imagen, seguramente se encontrarán bordes en las aristas visibles del interior de los objetos, lo que dará como resultado una imagen que no representa el borde del objeto real. Por otro lado, se debe tener en cuenta al momento de tomar la fotografía, que los objetos a analizar no estén en contacto entre sí. Si esto sucede el programa reconocerá todas las partículas como un mismo objeto.

Se debe prestar especial atención a la relación entre el tamaño del menor objeto en la fotografía versus la resolución adoptada al momento de ser digitalizado. Para objetos representados por menos de 15.000 pixels, los errores en la determinación de los parámetros geométricos son mayores al 5% (*Minkoff, 2000*). Si se pretende estudiar las características de un objeto de 1 cm² con una resolución de 600 ppi (pixels por pulgada) este deberá estar representado por al menos 55.800 pixels.

Procesamiento de la imagen

Contando con la imagen en formato digital (Fig. 1), es necesario que ésta posea un marco externo calibrado y bien definido, debido a que será referencia al momento de escalar la figura. Es necesario entonces definir este marco de manera que contenga los objetos a estudiar (Fig. 2). Esta tarea puede realizarse con cualquier herramienta de programas de procesamiento de imágenes.

En el procesamiento digital de imágenes, una vez que ella está en formato digital, es posible manipular la intensidad de los colores. El objetivo de ésta manipulación, es el de resaltar objetos incluidos en la imagen que está siendo procesada. En el campo de la informática existen algoritmos manipuladores de pixeles de todo tipo, pero los más comunes son los que hacen variar el contraste, la intensidad y el balance de los colores.

FIGURA 1: IMAGEN ORIGINAL TAL CUAL SE OBTIENE DEL ESCÁNER

La fotografía fue obtenida bajo un aumento de 50x

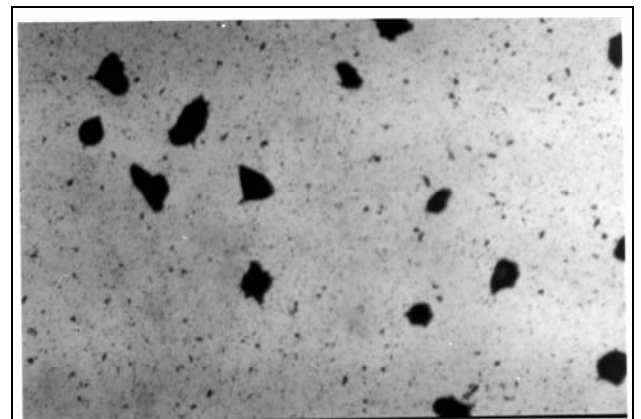
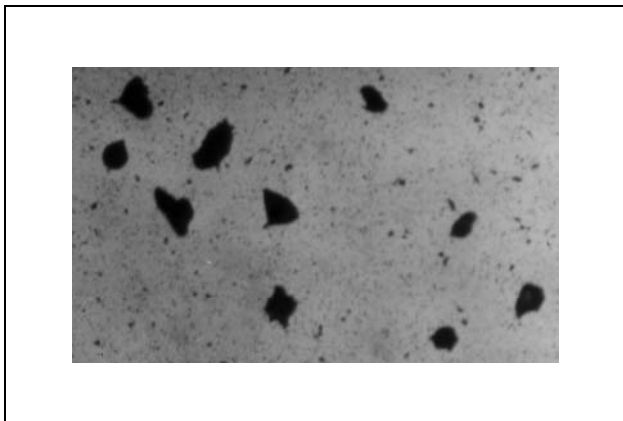
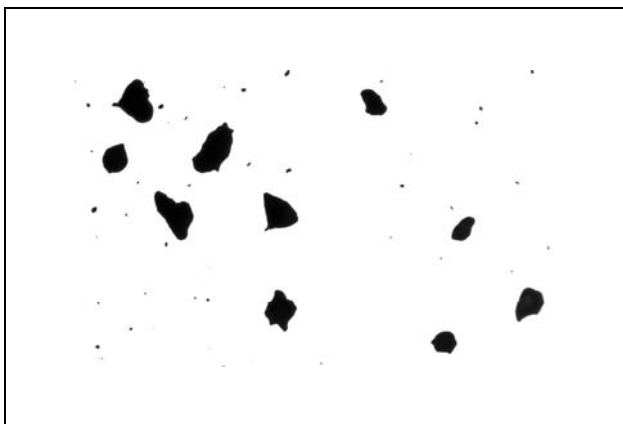


FIGURA 2: IMAGEN CON EL BORDE RECORTADO Y CALIBRADO EN ESCALA



La segmentación es un algoritmo que es esencial en el PID que se utiliza para resaltar un color o rango en la imagen digital. El producto final es una imagen monocromática en la cual un color representa la silueta del objeto u objetos que se desean analizar, y el otro color representa el resto de la imagen (Fig. 3).

FIGURA 3: IMAGEN FINAL MONOCROMÁTICA en la cual el color negro representa los objetos y el color blanco el fondo



El siguiente paso es encontrar los bordes de las figuras contenidas en la imagen. Esta operación se realiza mediante un algoritmo que da como resultado una imagen binaria que contiene los bordes de los objetos (Fig. 4). Pero en ocasiones la imagen final posee elementos extraños que no pudieron ser quitados y que no se desean analizar. Este efecto no deseado se denomina ruido. Existen distintas causas que producen ruido y distintos tipos de ruido (imágenes defectuosas, cortadas, arenas de una tamaño muy reducido que aparecen como puntos, etc.).

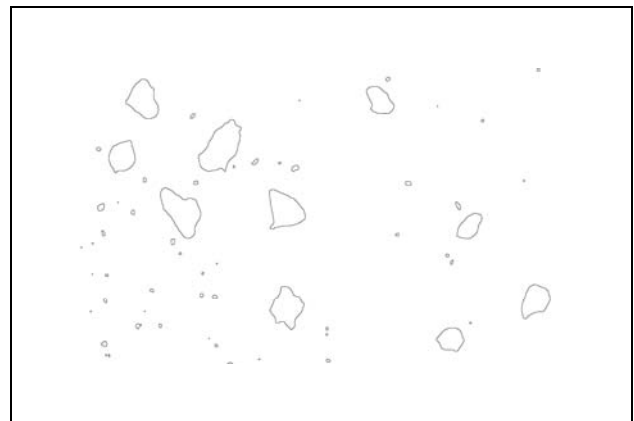
Existen herramientas que son capaces de atenuarlo, e incluso eliminarlo. Por lo tanto, se plantea la posibilidad de aplicar una de estas herramientas luego de realizar una observación ocular de la imagen. En particular, se ofrece la

posibilidad de filtrar el efecto “sal y pimienta” que es producido por partículas de tamaños muy reducidos (Fig. 3).

Aún así, el uso reiterado del filtro en una misma imagen puede llegar a cortar el borde de un objeto o deformarlo (Fig. 5), por lo que no siempre es aconsejable su empleo reiterado. Además, una gran variedad de filtros de este tipo y otros se pueden encontrar en programas comerciales. Por esta razón no se plantea la posibilidad de aplicar otras variedades de filtros en el programa presentado.

El último paso en el procesamiento de la imagen digital es convertir la imagen segmentada en otra imagen binaria que contiene unos donde se encuentran bordes y ceros en otra parte (Fig. 4). Los bordes son los lugares en una imagen que corresponden a límites de objetos. Para encontrar bordes, se buscan los lugares en la imagen donde la intensidad de colores cambia rápidamente, usando uno de los siguientes criterios:

FIGURA 4: NEGATIVO DE UNA IMAGEN BINARIA de 0's y 1's generada con un programa comercial, del mismo tipo a la obtenida por el programa presentado. Las líneas negras (1's) representan los bordes de objetos.

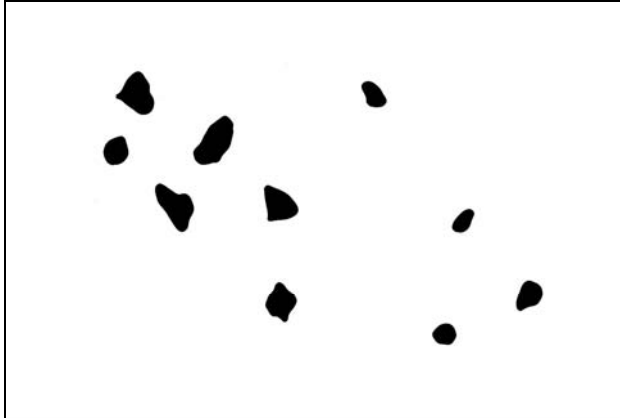


- Lugares donde la primera derivada de la intensidad es más grande en magnitud que algún umbral previamente definido.
- Lugares donde la segunda derivada de la intensidad tiene un cruce por el cero.

Los distintos métodos de detectar bordes proporcionan varios estimadores de la derivada, cada uno de los cuales lleva a cabo una de las definiciones anteriores. El método más poderoso proporcionado es el método Canny. Este difiere de los otros métodos de detección de bordes en que usa dos umbrales diferentes (para descubrir bordes fuertes y débiles), y sólo incluye los bordes débiles en la salida si ellos están conectados a los bordes fuertes. Este método es por consiguiente probablemente el más apto para eliminar todo posible ruido, y es el más probable para descubrir los verdaderos bordes débiles.

FIGURA 5: IMAGEN DIGITAL

a la cual se le ha eliminado el ruido mediante la aplicación de filtros. Se observa la redondez que han adquirido los objetos respecto a su original (Fig. 3).



Los estimadores que se optan por usar son dos: método de Prewitt y el método Canny. Esta selección obedece a que se observó un buen desempeño a través de aplicar los algoritmos a distintas imágenes, y que al haber bordes débiles en una figura se puede optar por Prewitt. Por otro lado, se puede optar por realizar esta tarea con un programa comercial, logrando de esta forma un buen complemento cuando los tiempos de procesos o resultados no son los deseados.

Análisis de la imagen

La imagen binaria tal cual se obtuvo puede interpretarse como una matriz de pixels. Por lo tanto, los objetos en estudio quedan representados por un sistema de coordenadas definidos por las *filas* (F) y *columnas* (C) de una matriz. Por lo tanto se desarrolló un algoritmo que detecte los distintos objetos y los guarde en arreglos (F,C) quedando entonces los como funciones discretas de sus bordes.

Como la imagen puede llegar a contener objetos no pertenecientes a un muestra a analizar, que además no se ha podido remover con un filtro, se plantea otra alternativa. Ésta consiste en eliminar todo objeto cuyo perímetro esté representado por menos de un umbral definido por el usuario. Esta alternativa puede pensarse como una restricción más que un filtro, porque resulta del análisis de los resultados a posteriori del desarrollo del método propuesto. En base a los diversos ensayos realizados se recomienda eliminar todo arreglo (F,C) que tenga menos de 150 puntos, lo cual surge de las relaciones del tamaño del menor objeto en la fotografía versus la resolución adoptada (Minkoff, 2000).

La escala de la figura se obtiene a partir de un marco o un objeto de referencia contenido en esta, cuyas medidas son conocidas. Con estos datos se puede saber que

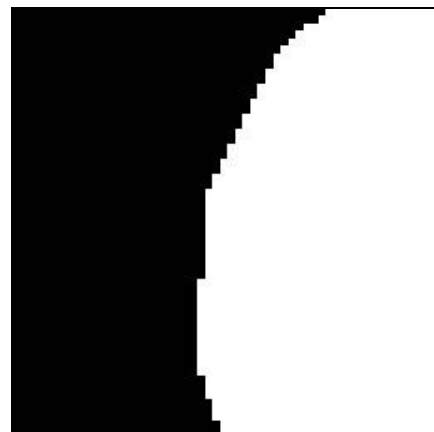
longitud poseen los bordes que encierran la imagen final que se está estudiando. Las unidades de longitud de salida serán las mismas que las de entrada de datos. Los ángulos son medidos en radianes a partir del eje x positivo en una terna derecha.

Con los arreglos (F,C) de cada objeto ya en escala, se procede a realizar un cambio de centro de coordenadas. Este nuevo sistema de coordenadas es local para cada objeto. Por lo tanto, cada figura componente de la imagen sufrirá un cambio de coordenadas distinto a los demás y se perderán las posiciones originales dentro de la figura. Se obtiene entonces otro arreglo a partir de (F,C) en coordenadas polares denominado (R,T), que se utilizará según se convenga más adelante.

Debido a que los objetos, sean estos curvos o rectos, están representados por una trama cuadrículada (Fig. 6), se produce una grave distorsión en la determinación del perímetro. Para atenuar este efecto se plantea un filtro que promedia el valor de los radios del vector R con los de su entorno. El resultado es un borde más alisado y atenuado de las variaciones que causa este efecto.

FIGURA 6: IMAGEN AMPLIADA DEL BORDE DE UN OBJETO

Se observa cómo la composición por pixels de la imagen distorsiona la curvatura.



El promedio se puede hacer tomando uno, dos o tres radios en el entorno del valor a filtrar, que corresponden a los niveles 1,2 y 3 de filtrado, respectivamente. La elección depende del estado del borde a filtrar y el tamaño del objeto, porque si está compuesto por pocos puntos, podría llegar a generar el efecto contrario al esperado, es decir, deformar el objeto. En general aplicar el filtro es siempre beneficioso, y aplicarlo más de dos veces no acusa una ganancia significativa en la disminución del error.

La disminución de este efecto es más marcado a medida que aumenta la resolución de la imagen a estudiar, llegando a una precisión del 95% al trabajar con resoluciones

de 600 ppi, mientras que con 100 ppi la precisión asciende al 97,5% (Minkoff, 2000). Así pues, partiendo de una imagen de bordes distorsionados (Fig. 7), se obtiene otra, ahora filtrada del efecto de pixelado (Fig. 8). El arreglo (F,C) filtrado se obtiene de pasar a coordenadas cartesianas el arreglo (T,R).

FIGURA 7: GRÁFICO DE LOS PUNTOS DEL BORDE DE UN OBJETO AMPLIADO

El efecto dentado observado es debido al efecto producido por los pixels componentes de la imagen que le da origen.

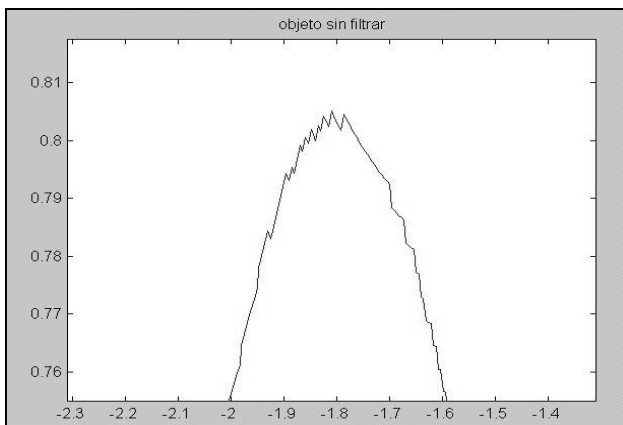
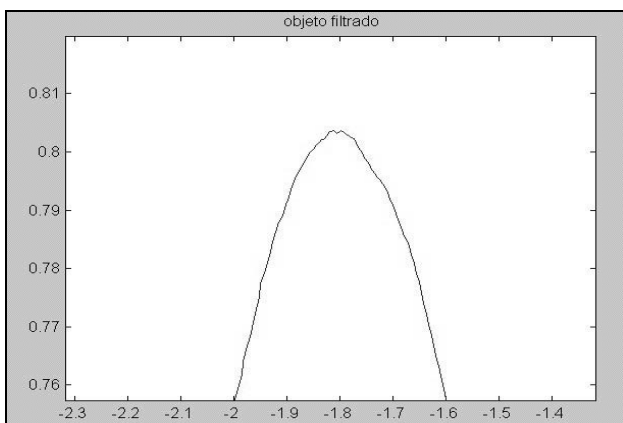


FIGURA 8: GRÁFICO DE LOS PUNTOS DEL BORDE DE LA FIGURA 9 FILTRADA Y AMPLIADA

El efecto dentado ha desaparecido por lo que se mejora el resultado en la determinación del perímetro.



Finalmente se llega al punto donde se cuenta con la representación de los bordes de los objetos a analizar como funciones discretas en coordenadas cartesianas y polares. Los parámetros geométricos calculados son: Área, Perímetro, Momentos principales de inercia y Direcciones principales de inercia todos los objetos.

Se plantean además relaciones entre el área y el perímetro tendientes a calificar la forma de un objeto. La primera relación es el área sobre el perímetro. Esta relación aumenta a medida que los objetos son más redondeados, haciéndose máxima para un círculo perfecto. Si los objetos son alargados o muy rugosos esta relación disminuye. Pero esta relación aumenta a medida que aumenta el área, por lo tanto es mejor referirla a valores unitarios del parámetro. Entonces se propone referirla con la relación área perímetro que tendría un círculo de igual área que el mismo objeto. Esta nueva relación se da a llamar rendimiento () de una sección. Para un círculo tendría valor 1, para un cuadrado valor 0,8862 y disminuirá a medida que se torna más achatada y más rugosa.

Análisis de Formas por Series de Fourier

El estudio de la forma de granos de arena en base a series de Fourier se inició a mediados de la década de 1980 basado en la digitalización manual de granos empleando un cámara de video. Se pueden obtener parámetros de forma de partículas de arenas a partir de los coeficientes de Fourier que representan la forma de éstas. Sus resultados han sido aplicados a analizar especialmente la procedencia de los granos.

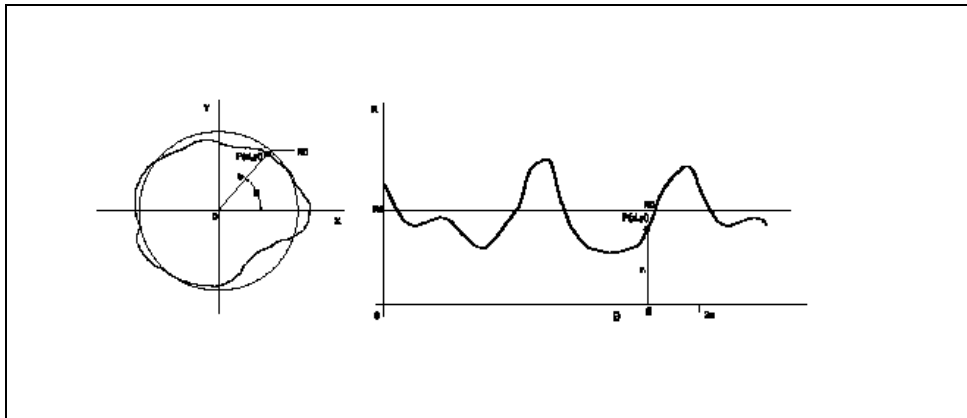
Para realizar el análisis de la forma de un agregado mediante series de Fourier, es necesario contar con el arreglo de puntos que representan al borde ordenado a intervalos constantes de ángulos (serie r). Para esto, se plantea un algoritmo que básicamente interpola linealmente los puntos más próximos al lugar que le corresponde el punto ordenado.

El dato de entrada necesario es la cantidad de intervalos como potencia de 2, para utilizar las series de Fourier en el estudio de la forma. La serie r es sometida a un proceso de filtrado a los fines del cálculo del espectro para eliminar los efectos de aliasing (Bendat et al, 1986). Se utilizó un filtro digital pasabajos tipo Butterworth de quinto orden y frecuencia de corte 0,5 rad. El resultado es un nuevo arreglo en coordenadas polares (t,r) filtradas. Posteriormente se obtiene otro arreglo en coordenadas cartesianas en base a (t,r) llamado (f,c).

La forma de un grano de arena puede ser descripta a partir de desarrollar su contorno alrededor de su radio medio Ro mediante series de Fourier (Ebrlich, 1970). Muestras de arenas quedan identificadas con su espectro medio de amplitudes y un coeficiente de rugosidad definido como la desviación estándar de los radios respecto de Ro (1), referido a un sistema de coordenadas baricéntrico para cada objeto analizado (Fig. 9)

$$(1) \quad S^2 = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M (r_i - R_o)^2 = \frac{1}{2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} [(A_n)^2 + (B_n)^2]$$

FIGURA 9: REPRESENTACIÓN DE UN GRANO DE ARENA EN LOS DISTINTOS SISTEMAS DE COORDENADAS



Donde: S^2 es la varianza de r_i respecto a R_0 , r_i los radios que describen la forma del objeto, R_0 el radio medio del objeto, M es la cantidad de intervalos en la que se divide el objeto, A_n y B_n son los coeficientes de la serie de Fourier.

Por lo tanto, la rugosidad $P_{j,k}$ se obtendrá de considerar la suma de las armónicas desde j hasta k de la serie de Fourier. Entonces :

(2)

$$(C_n)^2 = (A_n)^2 + (B_n)^2$$

Queda definida la rugosidad :

(3)

$$P_{j,k} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sum_{n=j}^k (C_n)^2}$$

En la ecuación (3) C_n ha sido dividido por R_0 para que el coeficiente de rugosidad sea adimensional y poder comparar granos de distintos tamaños. Además la sumatoria empieza desde 2 porque la primera armónica se descarta. En particular interesan las primeras armónicas, porque estas son las más significativas del espectro, adoptando un número de armónicas igual a la cuarta parte de la cantidad de intervalos (Boon et al., 1982). Esto se debe a que se filtran las frecuencias altas que se puedan acoplar a las más bajas

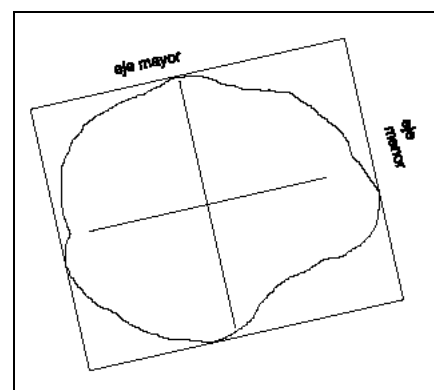
De los datos filtrados con pasabajos se obtienen los coeficientes de la serie de Fourier. El paso siguiente es el cálculo del coeficiente de rugosidad desde $j=2$ y k con la ecuación (3) para cada partícula. Luego se promedia el $P_{j,k}$ de todos los granos muestreados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se trabajó con una porción de arena silicea obtenida del fondo del Arroyo Napostá retenida en el tamiz ASTM 230 (0,0625 mm) y que pasa el tamiz 170 (0,09375 mm). Las imágenes se obtuvieron por medio de una lupa con un aumento 50x y una cámara fotográfica marca ZEISS montada en uno de sus oculares. El dispositivo permite la iluminación desde la parte inferior de la muestra. En el presente trabajo se analizaron 8 fotos que contienen un promedio de 105 granos de arena cada uno. Se digitalizaron las imágenes por medio de un scanner con una resolución de 600 dpi.

Las fotos digitalizadas fueron procesadas con un programa comercial por medio del cual se detectaron los bordes y convirtieron la imagen inicial en un archivo binario. Luego se armó un mosaico de imágenes binarias que contiene la totalidad de los granos para luego ser procesada en MATLAB. La escala de los objetos fue obtenida a partir de una imagen patrón que contenía un elemento de dimensiones conocidas, fotografiada en las mismas condiciones que las muestras estudiadas.

FIGURA 10: GRANO DE ARENA ENCERRADO EN UN RECTÁNGULO ORIENTADO SEGÚN SUS EJES PRINCIPALES DE INERCIA



Para el estudio de distribución de tamaños de las partículas en la muestra se analiza la menor dimensión de eje que poseen éstas respecto a sus direcciones principales de inercia. Es decir, se encierra cada partícula en una caja rectangular y se estudian a partir de las relaciones entre su eje mayor y eje menor correspondientes a los respectivos lados de estas cajas (Fig. 10). La elección de este análisis responde a que cada grano de arena atravesará el tamiz según sus dos menores dimensiones, la mayor de las cuales se obtiene de la proyección plana en la imagen tomada.

La distribución de tamaños también se puede realizar en base al diámetro de la sección nominal (NSD, Kennedy et al, 1999). Este parámetro representa el diámetro que tendría un círculo de igual área que la partícula estudiada. Pero esta clasificación se aparta demasiado de los

resultados que se obtienen mediante un tamizado, especialmente cuando la muestra contiene gran cantidad de partículas proladas.

Al comparar la distribución de tamaños según el eje menor o el NSD (Fig. 11), vemos que la primera curva presenta menor dispersión y se encuentra más desplazada hacia la izquierda de la segunda. Esta discrepancia se debe a la definición del NSD. Una partícula con un prolado importante pasará el tamiz 170 por sus dimensiones menores, mientras que el área que representa su proyección plana corresponde a un NSD de diámetro mayor al del tamiz superior. Esto indicaría presencia de ciertas partículas que no deberían existir en la muestra retenida en el tamiz 230.

FIGURA 11: DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE LA MUESTRA DE ARENA SEGÚN DOS CRITERIOS DE ANÁLISIS: LA DIMENSIÓN DEL EJE MENOR Y EL NSD

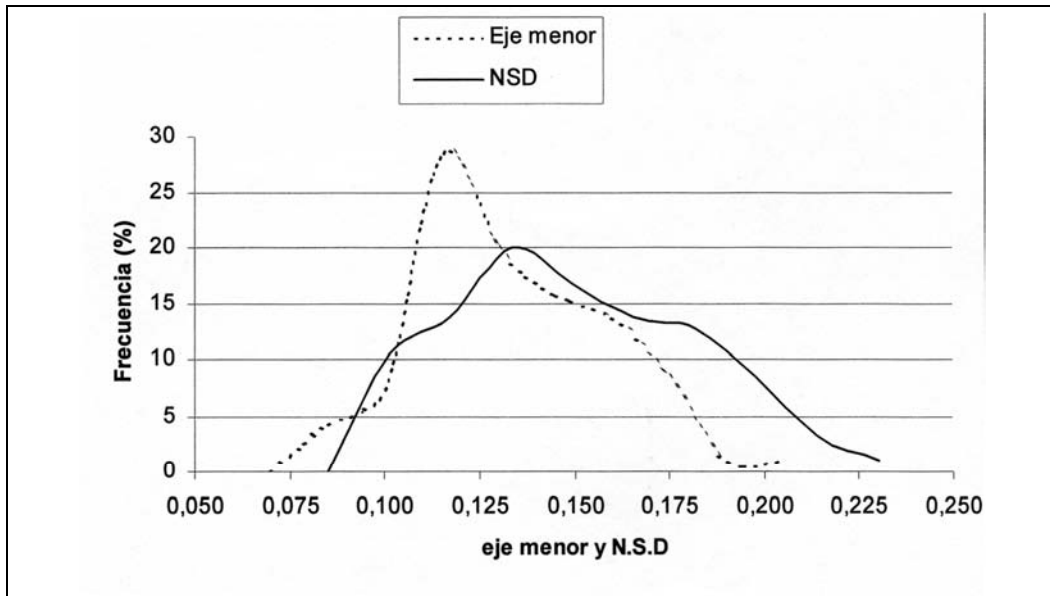


FIG 12: DISTR. DE EFICIENCIAS DE LOS GRANOS DE ARENA CONTENIDOS EN LA MUESTRA ANALIZADA

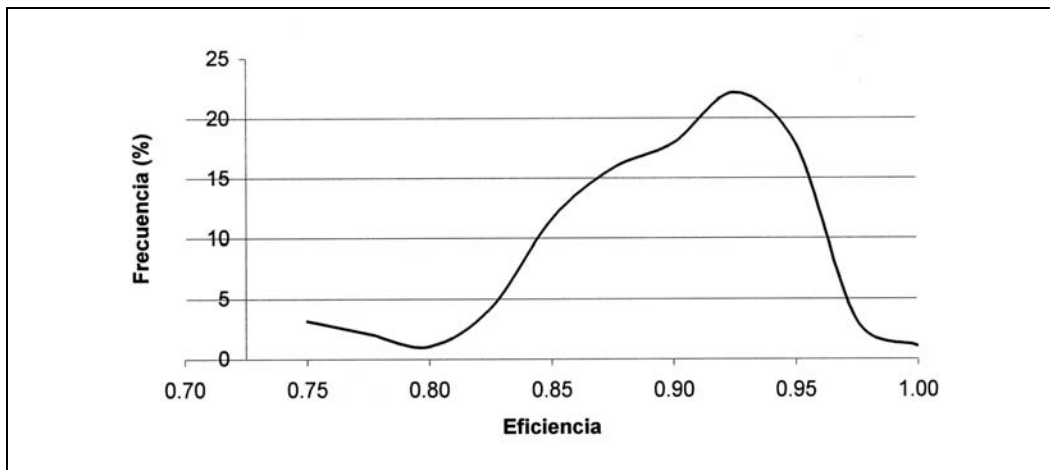


FIGURA 13: DISTRIBUCIÓN DEL PROLADO DE LA MUESTRA ANALIZADA. SE OBSERVA UNA MARCADA TENDENCIA

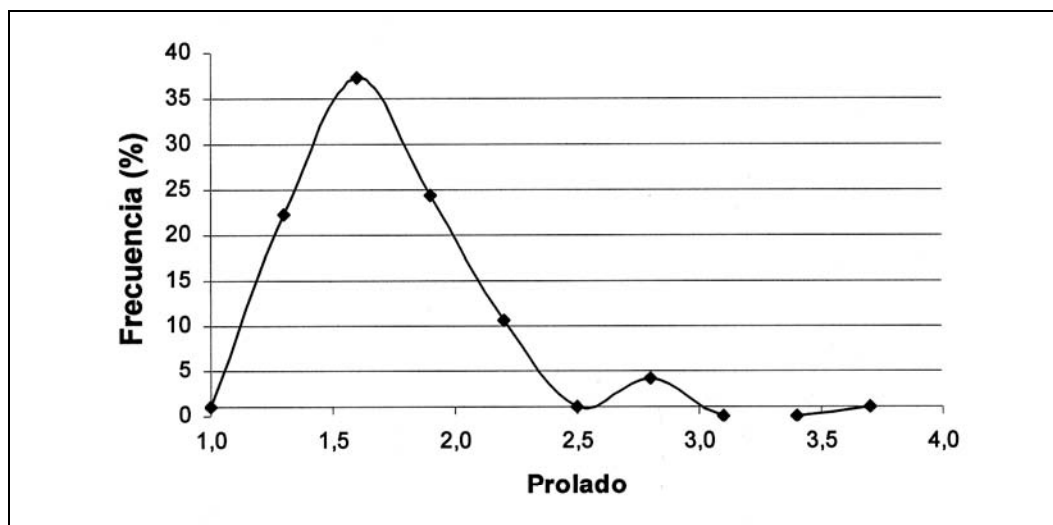
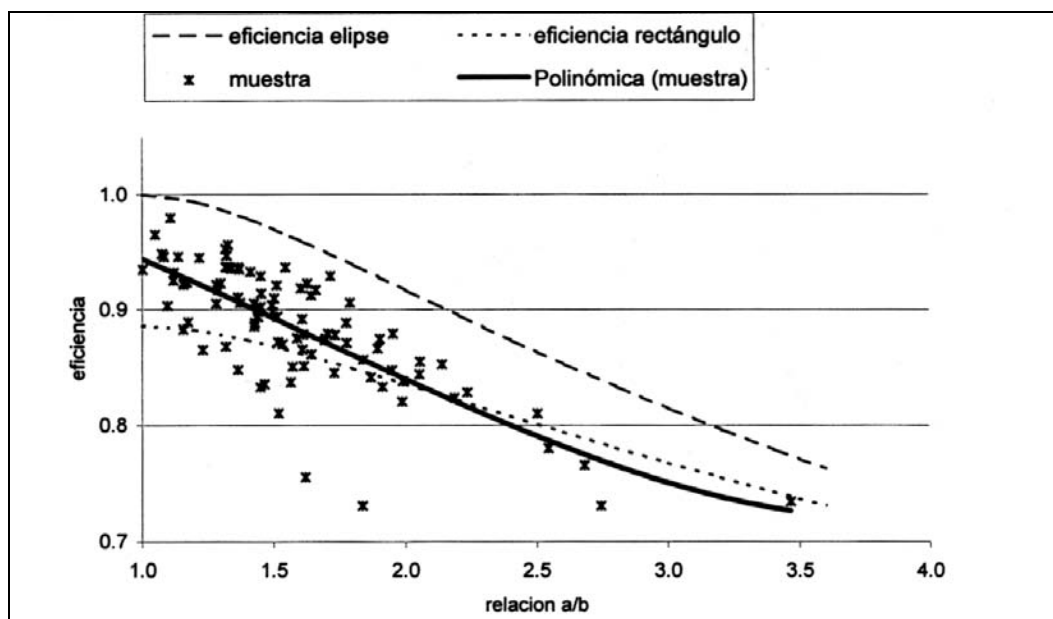


FIGURA 14: GRÁFICO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE LA MUESTRA ANALIZADA CON RESPECTO A DOS FIGURAS CONOCIDAS: LA ELIPSE Y EL RECTÁNGULO



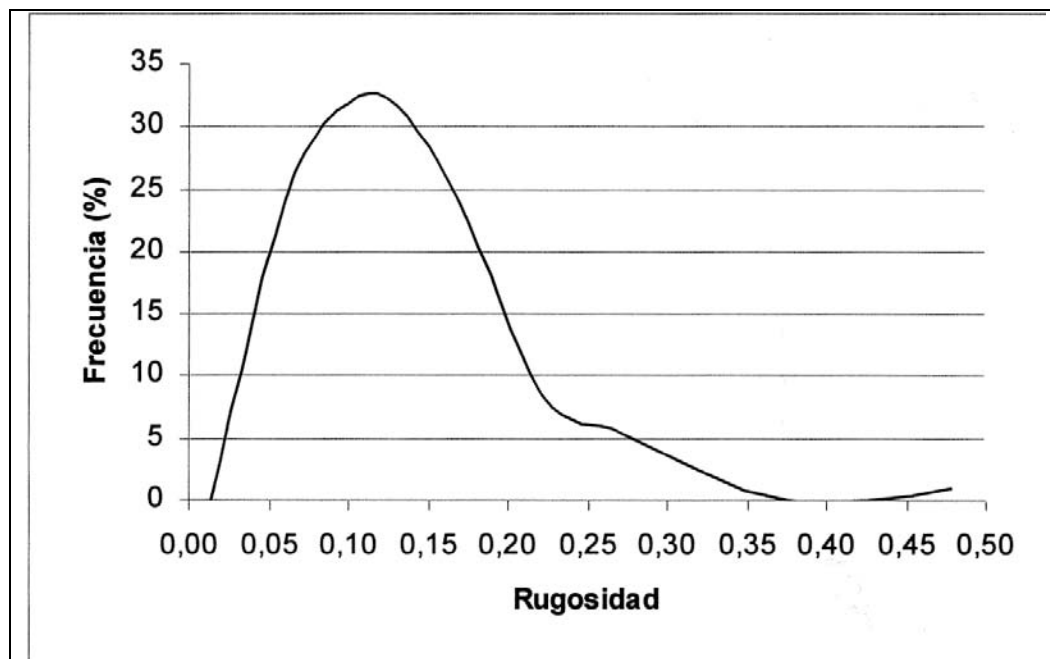
Otro parámetro analizado con el método presentado y que caracteriza la muestra de arena es la "eficiencia" de los granos según se definió anteriormente (Fig. 12). Este parámetro contiene información de la rugosidad y el prolado de los elementos analizados.

La curva muestra una moda alrededor de 0,93, lo que significa que aproximadamente el 22% de las partículas presentan una proyección planar que se asemeja a un círculo ($\epsilon = 1$). Un segundo grupo presenta una frecuencia del orden del 15 % para partículas cuyo valor de eficiencia es 0,87, valor próximo que corresponde a un cuadrado perfecto. El 78 % del total de la muestra posee eficiencias mayores a 0,85, lo cual resulta un índice de la forma general

de las muestras. Por último existe un pequeño grupo de partículas (menos del 5% de la muestra) con valores de eficiencia muy bajos ($\epsilon = 0,75$), indicando que su forma se aparta mucho del círculo ideal.

La Fig. 12 nos da información acerca del porcentaje de la muestra que se asemejan al círculo. En caso de de la segunda moda ($\epsilon = 0,75$), el valor de la eficiencia no discrimina entre partículas de sección parecida a la rectangular o elipses de determinada relación de ejes principales. Para poder llegar a conclusiones acerca de este problema se propone estudiar la distribución de la relación entre los ejes principales de la elipse (índice de prolado).

FIGURA 15: DISTRIBUCIÓN DE RUGOSIDADES DE LOS ELEMENTOS DE LA MUESTRA ANALIZADA



La Fig. 13 muestra la distribución del índice de prolado para la totalidad de los granos de la muestra. Se observa que la misma contiene mayormente granos cuya relación eje mayor versus eje menor se aproxima a 1,5. Existe una pequeña porción de la muestra (menor al 5%), que presenta un índice de prolado muy elevado, que se encuentra entre el 2.5 y 3.

Para analizar la influencia de ambos índices; eficiencia y prolado; se graficaron los valores de ambos en la Fig. 14. Asimismo, figuran curvas continuas de eficiencia vs. prolado para rectángulos y elipses con rugosidad nula. En esta figura cuando a es igual a b la elipse y el rectángulo se convierten en un círculo y un cuadrado respectivamente.

El análisis de la Fig. 14 permite arribar a idénticas conclusiones que las desprendidas de las Figs. 12 y 13. El apartamiento de la muestra respecto de la curva de las elipses se puede explicar a partir de la rugosidad superficial siempre presente en las partículas naturales. Así, un grano de arena que presente una eficiencia cercana a la de una elipse para una dada relación a/b , significa que es relativamente lisa en su superficie.

El método propuesto permite estudiar en detalle las características de la rugosidad superficial de la muestra. La Fig. 15 muestra la distribución de los valores de rugosidad de la muestra, en base a valores calculados por la ecuación 3. La muestra contiene granos de arena con una rugosidad promedio de 0,115. Valores de rugosidad hallados por *Ehrlich* y *Weinberg* (1970) dieron entre 0,118 y 0,121, considerando los 20 primeros coeficientes. Se puede distinguir

un porcentaje (menor al 5%) de partículas que presentan un valor de rugosidad del orden de 0,27. Si bien la presencia de estas partículas es pequeña, se diferencian marcadamente del resto de la muestra.

4. CONCLUSIONES

Se presenta un método para el análisis automático de muestras de arena basado en imágenes digitalizadas de las mismas y procesadas por una serie de algoritmos que permiten determinar con precisión distintos parámetros de forma de las partículas. Estos parámetros al ser calculados de imágenes digitales carecen del error que pueda darse debido a la subjetividad del operador.

Con las funciones de forma (F,C) y (R,T), se obtienen los parámetros: área, perímetro, eficiencia, momentos y direcciones principales de inercia de un ilimitado número de partículas. La precisión en su determinación es previsible de antemano eligiendo un adecuado sistema de obtención de la imagen (captura y digitalizado) y calibrado. De esta manera se conocen los errores cometidos en el análisis de las características de interés, lo cual no puede hacerse con otros métodos.

Se proponen cuatro elementos de análisis para el estudio preliminar de la forma de las partículas: Distribución de frecuencias de eje menor, eficiencia índice de prolado y coeficiente de rugosidad. Los parámetros calculados conforman un base sólida de comparación entre muestras, así como entre muestras naturales y formas ideales como la elipse y el rectángulo por ejemplo (Figs. 12 a 15).

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BENDAT, J.S. Y PIERSOL, A.G., 1986.
Random Data Analysis And Measurement Procedures.
Wiley J. & Sons, New York. 543 pp.
- BOON J., EVANS D. Y HENNIGAR H., 1982:
Spectral information from Fourier analysis of digitized quartz grain profiles:
Mathematical Geology Volumen 14 (No. 6): 589-605.
- DEELMAN, J.C., 1972
Automatic grain size analyses by means of electro-magnetic surface measurements.
Journal of Sedimentary Petrology Volumen 42, (No.3): 732-735
- DOWDESWELL JULIAN A., 1982.
Scanning electron micrographs of quartz sand grains from cold environments examined using Fourier shape analysis.
Journal of Sedimentary Petrology Volumen 52, (No.4): 1315-1323
- EHRlich R., Y WEINBERG B., 1970:
An exact method for characterization of grain shape.
Journal of Sedimentary Petrology Volumen 40, (No.1): 205-212
- IMAGE PROCESSING TOOLBOX USER'S GUIDE, 1998
by The MathWorks, versión 2
- KENNEDY K., Y MAZZULLO J., 1999:
Image analysis method of grain size measurement: Syvitski J. P. M., (ed.).
Principles, Methods and Applications of particle size analysis. Cambridge Univ, Cambridge: 76-87.
- MINKOFF D., 2000
Análisis de arenas mediante procesamiento de imágenes digitales.
Informe de Beca , Universidad Nacional del Sur, 45 pp.
- ODFORD D., AND WHALLEY W., 1999
Quantitative grain form analysis : Syvitski J. P. M., (ed.).
Principles, Methods and Applications of particle size analysis. Cambridge Univ, Cambridge: 88-108.
- PANG H. M. Y RIDGWAY K., 1983
Mechanism of Seiving: Effect of Particle Size and Shape.
Institute of Chemical Engineering Symposium Series, no. 69 (Powertech 83), pp. 163-169.



Sitios de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos

Consideraciones sobre la implementación y estabilidad de rellenos de seguridad

Muñoz, Luis ¹ - Torrán, Eduardo ¹

Resumen

Consecuentemente con el desarrollo tecnológico efectivizado como respuesta a la problemática ambiental actual, los rellenos de seguridad han pasado a constituir una alternativa extendida mundialmente como solución al destino final de residuos peligrosos.

Este trabajo aborda en forma generalizada la problemática de la implementación de estos rellenos y en forma especial un tema desatendido: La estabilidad de los mismos, especialmente los asentamientos y deformaciones esperados bajo ciertas condiciones naturales de la fundación.

1. INTRODUCCIÓN

Para ubicarnos en el contexto general de esta problemática debemos recordar, simplificada, la clasificación generalizada de los residuos, aunque esta difiere según el abordaje que de cada uno haga la legislación, organismo, tratado, país etc.

Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Para este caso la elección del sitio (ADFRSU) o Área de Deposición Final de Residuos Sólidos Urbanos, cuenta con múltiples antecedentes y bibliografía (ver ítem 4), aunque el acondicionamiento de los mismos en relación al Ambiente Natural parece no haber resultado tan sencillo como se supuso hace algunos años. Además da idea de residuos

domiciliarios, que como sabemos hoy incluyen muchos residuos peligrosos.

Residuos Industriales, Especiales, Tóxicos, Riesgosos, Peligrosos

Como se podrá ver rápidamente, ninguno de los términos es necesariamente equivalente, por lo que cuando alguien se debe referir a uno de ellos, es indispensable definir el alcance que adjudica al término utilizado. A este caso se refiere el presente trabajo, en lo que hace a su disposición final en rellenos de seguridad. La bibliografía citada al final trata extensamente las características conceptuales y las clasificaciones.

Residuos Radioactivos

(o de cualquier actividad relacionada a procesos nucleares que generen radionucleidos y en general desechos peligrosos de esta naturaleza que impliquen riesgo actual y/o de larga persistencia).

Este es evidentemente el caso más delicado, a iguales condiciones de los demás parámetros.

Entregado: 23 de Octubre de 2000 ■ Aceptado: 01 de Diciembre de 2000

¹. Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Concepción del Uruguay.
Ing. Pereyra 676- Concepción del Uruguay - Entre Ríos.
e-mail: muniozl@frcu.utn.edu.ar - torrane@frcu.utn.edu.ar
http://www.frcu.utn.edu.ar

Como se puede advertir rápidamente, la lista se re-dactó en un orden de peligrosidad creciente, aunque esto es relativo ya que depende de múltiples factores.

En primer lugar debe señalarse que la legislación es importante (y debe cumplirse), pero en última instancia debe primar el sentido común cuando ella entre en conflicto visible con la realidad local y deben hacerse las salvedades del caso a la misma. No son iguales las condiciones socioeconómicas, de densidad de población, de recursos, ni las características naturales de las distintas regiones. Esto último es particularmente importante en nuestro país, donde tenemos prácticamente todos los climas, condiciones geológicas, geomorfológicas en particular, hidrológicas, etc. Si tenemos en cuenta que aún en una misma provincia las condiciones combinadas pueden resultar disímiles, advertimos la complejidad del problema.

Esta reflexión nos alerta sobre el frágil carácter del ordenamiento precedente en cuanto a "peligrosidad". Es fácil advertir que un vertedero de RSU puede resultar mas peligroso que un depósito de residuos industriales, según la combinación de múltiples factores y que entre estos últimos los hay no peligrosos.

2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

A los fines del presente trabajo estableceremos el significado conceptual con el que nos referiremos a los residuos, para una mejor comprensión de las ideas que se expresan, teniendo en cuenta la variedad de terminología que se maneja, donde en muchos casos las traducciones no reflejan la acepción exacta que se tiene de los términos en el país.

Residuo Peligroso

Debe interpretarse como aquel que tiene riesgo o puede dañar. Esto es suficientemente abarcativo e incluye a los que pueden causar algún tipo de daño directo o indirecto a los seres vivos.

Residuo Especial

En su acepción de léxico estricta significa algo singular, algo particular. Como podemos notar no es la denominación que más ilustra desde su significado intrínseco. Necesita de una clara delimitación que acompañe su alcance, ya que su sola mención no orienta sobre el conjunto a que se refiere.

Residuo Industrial

Es abarcativo de todos los "desechos" (en realidad la tendencia es a no desechar), y consecuentemente incluye los que no son peligrosos o al menos algunos que lo son en menor medida que muchos de los domiciliarios.

Contaminante

Tomaremos el significado mas simple y explícito que lo define como toda sustancia orgánica o inorgánica, elemento, compuesto o producto que puesto en contacto con el medio natural (incluido el hombre) puede afectarlo negativamente o producir efectos adversos no deseados sobre los organismos individuales y el ecosistema. Esto incluye a los contaminantes naturales, lo que implica que en realidad la calificación como tal requiere que un ser vivo entre en contacto con él.

Riesgo

Podemos asumir que es la probabilidad que un efecto no deseado o perjudicial para los seres vivos suceda. Esto puede tener como origen una causa natural o una antrópica.

Debemos admitir aquí que nos estamos separando del medio natural por definición, en cuanto consideramos la acción del hombre como no natural, lo cual no es rigurosamente cierto.

La denominación *Residuos Peligrosos* parece ser la más explícita para referirse a los que entrañan un riesgo potencial para los seres vivos, excluyendo los que involucren residuos radioactivos (de un riesgo que excedería esta denominación). Incluyendo esta acepción los procesos industriales centralizados y los agroindustriales.

Actualmente conviven en el mercado plantas de tratamiento y disposición final de distinta jerarquía y tecnología, para la recepción y procesamiento de residuos de origen similar.

Distintas combinaciones de barreras de impermeabilización y drenaje se pueden observar en las figs. 1, 2 y 3. Es importante tener en cuenta que las características del paquete de recubrimiento o sellado deben definirse de acuerdo a las condiciones y aptitudes naturales del subsuelo.

También en la práctica resulta conveniente la construcción de una superficie adecuada para el tránsito de equipos.

Esto ilustra sobre cierto caos en la implementación de técnicas que tienen origen en los países mas desarrollados, y se introducen precipitadamente en contextos naturales y socioeconómicos que no siempre son equivalentes. Sin embargo debe reconocerse el extraordinario mérito de haber encarado de manera relativamente temprana para la mayor parte del país, la problemática ambiental tanto desde el punto de vista legal como técnico, en comparación con los países mas desarrollados tecnológicamente, que prácticamente debieron abordar la prevención junto con el remediamento a gran escala.

Dentro de todas estas consideraciones un tanto cualitativas y subjetivas debe consensuarse un criterio indiscutible: *Es preferible un tratamiento y una disposición final con cierto déficit de eficiencia inicial, que prolongar las situaciones de no consideración de la disposición controlada de los residuos, o su manejo individual fuera de control.*

FIGURA 1: SISTEMA DE RECUBRIMIENTO DOBLE. CON DRENAJE A TRAVÉS DE ARENA

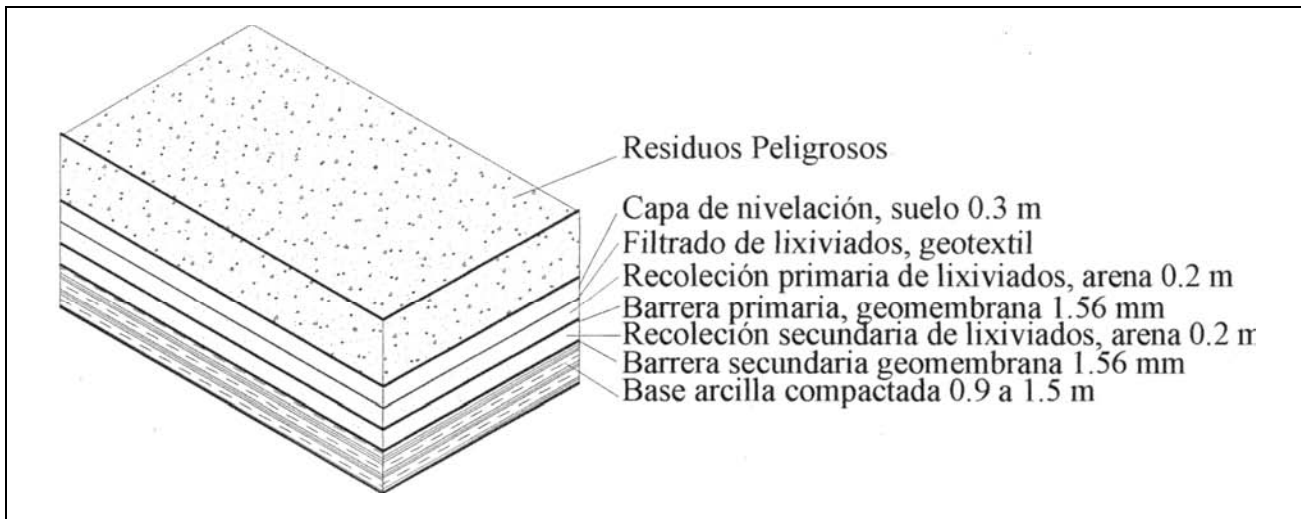


FIGURA 2: SISTEMA DE RECUBRIMIENTO DOBLE. CON DRENAJE A TRAVÉS DE GRILLAS

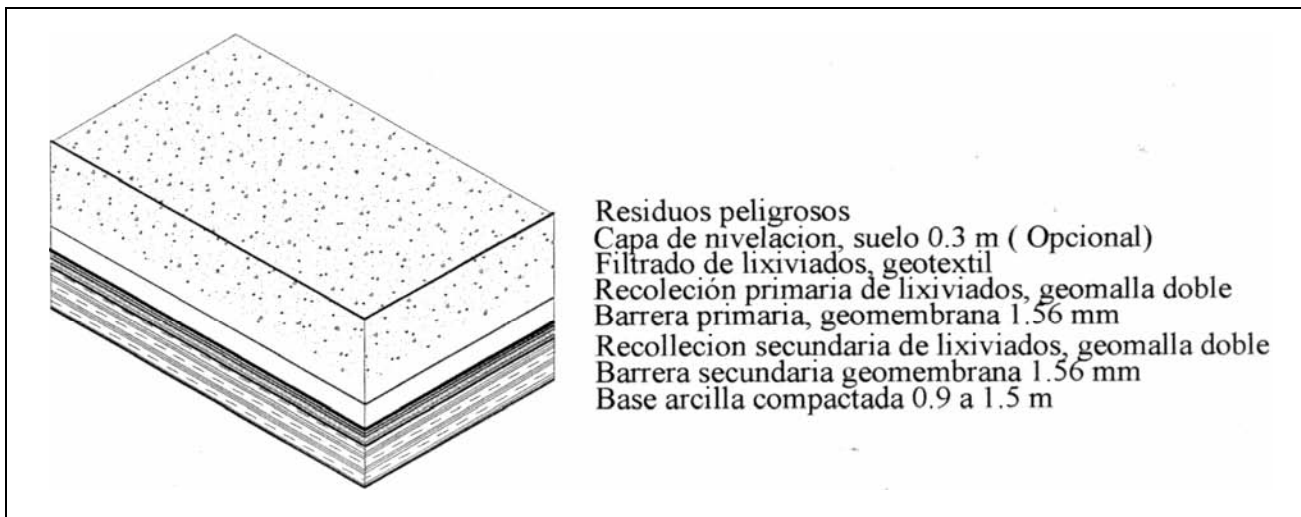
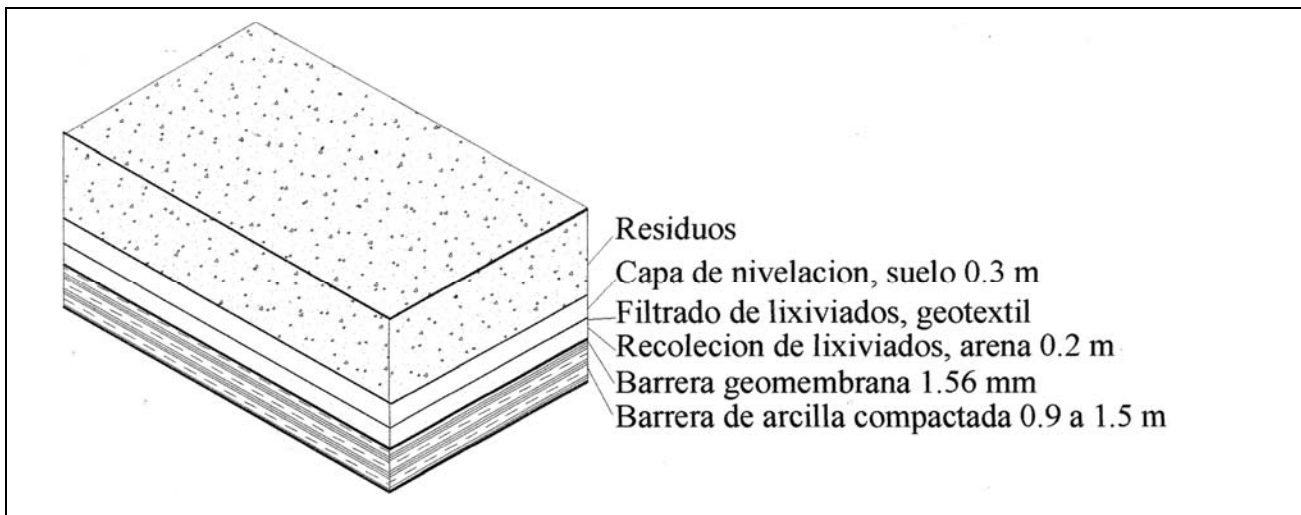


FIGURA 3: SISTEMA DE RECUBRIMIENTO MIXTO. NO RECOMENDADO PARA RESIDUOS PELIGROSOS



3. PLANTAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL

- 3.1. De la necesidad de su instalación.
- 3.2. De la elección del sitio.
- 3.3. De los estudios en el sitio elegido.
- 3.4. Del mejoramiento de las condiciones naturales del predio.
- 3.5. Del control y evaluación desde la prefactibilidad hasta el cierre.
- 3.6. Del tamaño del relleno.
- 3.7. De la legislación.

3.1. De la necesidad de la Instalación

Dado que la bibliografía existente cubre en general este aspecto, solo mencionaremos la realidad local.

Dada la diversidad de condiciones climáticas, geológicas, socioeconómicas, de densidad poblacional, de actividad industrial, legislación, etc. que puede verificarse en el país, la decisión de instalar un depósito de residuos peligrosos debe tener en cuenta:

- La existencia y real aplicación de las normativas vigentes.
- La rentabilidad (en relación al volumen de residuos a tratar, actividad industrial, etc.). si el emprendimiento es privado y no cuenta con subsidios.
- La eliminación de la posibilidad de transporte a otro sitio.
- La imposibilidad de implementar otras alternativas de tratamiento en el lugar
- Las alternativas de depósitos individuales o de industrias vecinas en casos convenientes según las características de los residuos y las distancias de transporte.

3.2. De la elección del sitio

Este es un punto crítico, ya que depende de múltiples factores. Los criterios también están suficientemente tratados aunque en general se habla poco de las soluciones a las principales dificultades que se encuentran en las búsquedas. Los lugares cercanos a centros industriales están generalmente poblados, y la actitud de rechazo es general en el caso de zonas residenciales, ya sea por temor a la contaminación, la desvalorización de la propiedad o simplemente por los cambios paisajísticos u otros, que introduzca la nueva actividad en la calidad de vida local.

Las condiciones naturales del sitio, así como las socioeconómicas etc. son suficientemente tratadas en la bibliografía (ver ítem 4), en este trabajo se proponen las siguientes acciones para facilitar la efectivización de

estos emprendimientos:

Legislación que beneficie a las propiedades vecinas a los sitios de tratamiento y acondicionamiento final, en el caso que las condiciones de disponibilidad de terrenos no permitan mantener distancias de más de 1000 metros al límite de propiedad mas próximo. Por ejemplo: exención del 100% de impuestos hasta una distancia de 500 metros del límite de la zona de amortiguación de la planta de tratamiento y del depósito y exención del 50% de impuestos entre 500 y 1000 metros. Qué tipo de impuestos, así como las distancias o proporcionalidades que sea necesario ponderar, deberán adecuarse según las necesidades y posibilidades locales.

Los autores consideran que la incineración no es en realidad el método ambientalmente mas conveniente, ya que la afectación atmosférica se puede tornar crítica en el futuro, y que debería minimizarse al máximo su utilización, que como sabemos hasta el momento es la única posibilidad para ciertos desechos.

El enterramiento aparece como más natural, seguro y confinable que cualquier forma de deposición superficial o transformación y eliminación en la atmósfera. Lógicamente luego de la reutilización . recuperación o reciclado. Tanto por las posibilidades del espesor cortical, como por la capacidad de transformación y asimilación natural de la misma y los sitios de elevada estanqueidad que ofrece.

3.3. De los estudios en el sitio elegido

La legislación y la bibliografía cubren muchos aspectos. Sin embargo los autores han notado la ausencia del tratamiento en profundidad de un tema importante: *La estabilidad de la fundación*. principalmente en lo que involucra a los *asentamientos* de la misma.

Las condiciones actuales de las reglas del arte en estos emprendimientos presentan las siguientes características:

Para evitar la cercanía del nivel freático, o minimizar el movimiento de suelos por excavación, o ambos factores, se proyectan y están en construcción o explotación *cúmulos de hasta varias decenas de metros de altura* sobre el terreno natural.

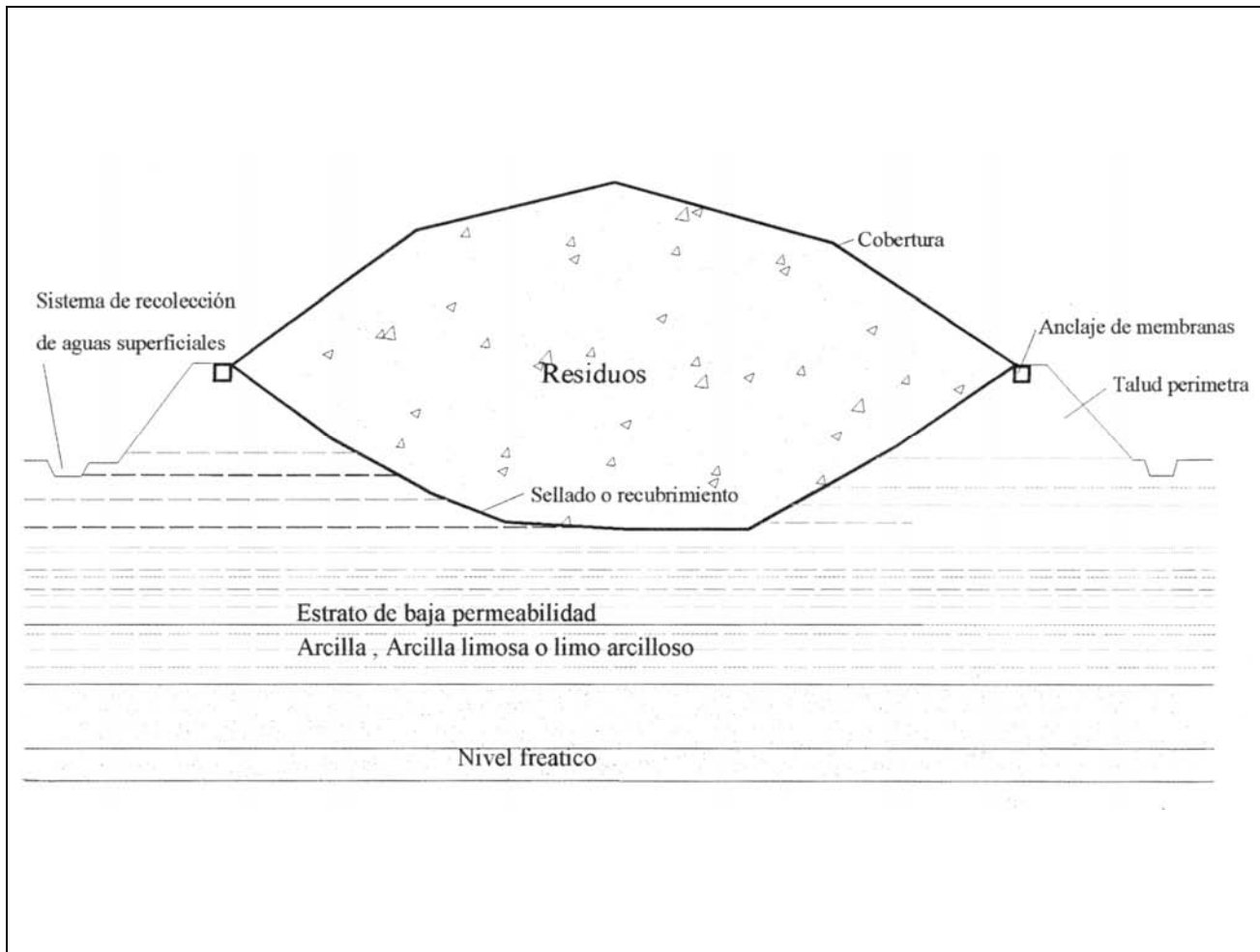
Las condiciones buscadas son de una formación natural de *baja permeabilidad*, que normalmente es un nivel de *arcillas, arcillas limosas, limos arcillosos arcillas limoarenosas*, etc. Si no existe debe construirse, ya que además de ser técnicamente necesario, lo establecen las normativas y legislación vigente.

Es frecuente que por debajo de ellos se presente un nivel arenoso, que generalmente se buscará que tenga una zona no saturada del mayor espesor posible, para detectar

tempranamente mitigar, demorar o corregir posibles fugas. En zonas donde la fluctuación del nivel de agua libre es importante, es aconsejable prever un margen de varios metros al máximo nivel freático esperado, teniendo en cuenta también el asentamiento previsto. La legislación pide un mínimo de 1.5 metros del fondo de la impermeabilización al nivel máximo esperado.

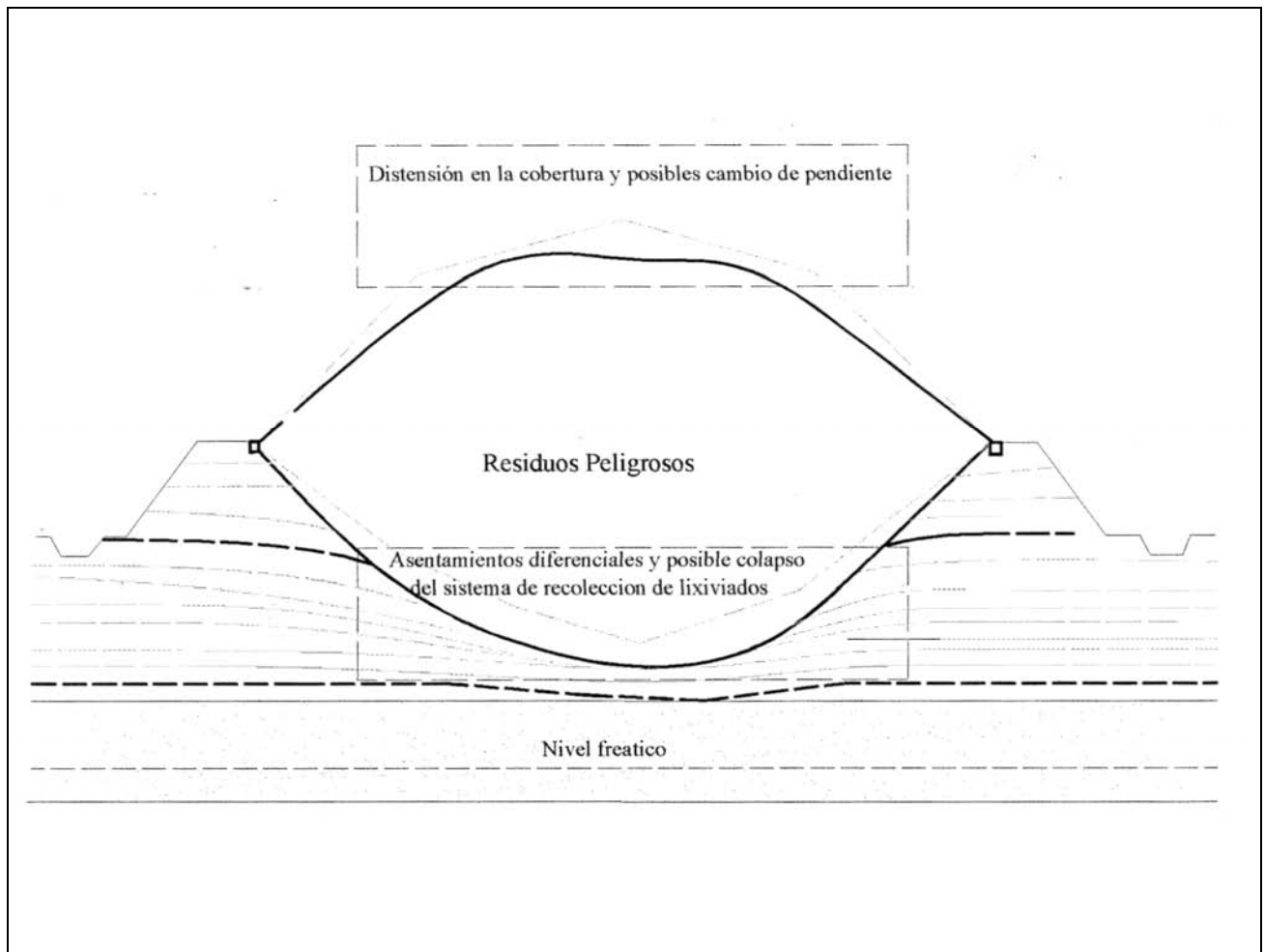
Como se podrá observar son las condiciones ideales para un asentamiento lento e inevitable y cuya única incógnita es la magnitud, que dependerá principalmente de las dimensiones del depósito, del espesor y características del nivel natural impermeable y de la densidad de los residuos.

FIGURA 4: ESQUEMA DE UN RELLENO DE SEGURIDAD



Si asumimos una forma lenticular en corte para un depósito típico (fig. 1) y una densidad de 1.2 tn/m³ de los residuos, vemos que los asentamientos serán diferenciales y generarán tensiones y deformaciones importantes en los distintos materiales de protección y acondicionamiento (membranas, geotextiles, mallas, capas de suelo-bentonita, hormigones pobres o morteros colocados para tránsito, suelo-cemento, etc.), que por otra parte tienen disímiles respuestas a los esfuerzos mecánicos, por ejemplo estiramientos, resistencias, etc. Para un depósito de 40 metros de altura, se puede estimar una carga de 4.8 kg/cm² en la vertical de la cresta,

tendiendo gradualmente a 0 hacia el terraplén perimetral. Debe tenerse en cuenta que a los fines prácticos la compactación que se realice superficialmente a la rasante y la que se obtenga en los 90 cm de impermeabilización, no será relevante ante la magnitud y dimensiones del depósito, mas bien se comportará como parte de él. Las tensiones más importantes se localizarán en los anclajes de los bordes del depósito, para los elementos de protección inferiores, mientras que en los superiores se producirá una distensión o aflojamiento, producido tanto por el asentamiento de la fundación como del cuerpo del relleno en sí. (fig. 5).

FIGURA 5: ESQUEMA DE UN RELLENO DE SEGURIDAD CON PROBLEMAS DE ESTABILIDAD

Estos efectos esperados deben llamar la atención sobre todo a los proyectos con paquetes o capas que incluyen materiales drenantes de reducido espesor como geotextiles y grillas, (figs. 1, 2 y 3).

Dado que los asentamientos serán diferenciales, además de los niveles y cotas absolutas, variarán las pendientes, por lo que debe preverse la compensación o al menos prever la corrección durante la explotación. Los tubos de drenaje, recolección de lixiviados y gases deberán contemplar también estas particulares condiciones de deformación de la fundación.

Si en el terreno natural de fundación se alternan capas de reducido espesor de arenas y arcillas, el fenómeno de consolidación se verá favorecido por la situación de drenaje, y por lo tanto el asentamiento se acelerará.

Es importante por lo tanto programar un cronograma de explotación, en el que el avance y acondicionamiento temporario de la explotación (excavación o cúmulo) permita prever las correcciones necesarias para

el acondicionamiento final.

Tanto en depósitos de plantas de alta tecnología, como en los que presentan condiciones mínimas de operación, se ha observado un procedimiento que no contempla la construcción de celdas terminadas que permitan comprobar experimentalmente una aproximación o proyección a los valores finales de asentamientos de la fundación.

3.4. Del mejoramiento de las condiciones naturales del predio

Dado que es frecuentemente difícil reunir todas las condiciones requeridas para la instalación de estos emprendimientos, y que partimos del concepto que la disposición final de residuos en vertederos controlados y depósitos de seguridad seguirá siendo la solución viable y óptima por lo menos a mediano plazo en numerosos casos, deben considerarse adecuaciones técnicas y soluciones constructivas para los sitios que presenten deficiencias en algunos de los parámetros buscados.

Algunas de las posibilidades a considerar deben incluir:

- Compra de terrenos limítrofes en una franja de amortiguación no inferior a 500 metros.
- Compensación, resarcimientos o indemnización acordados y razonables a casos puntuales de viviendas situadas dentro de esos límites.
- Sobredimensionamientos: Si bien este es un concepto técnico inaceptable sobre todo por una razón de costos o esfuerzos, lo consideramos necesario como solución en los casos de condiciones desfavorables en cuanto a asentamientos, fundamentalmente teniendo en cuenta que la experiencia en esta especialidad aún no reúne la variedad suficiente de casos y el tiempo requerido de existencia, como para que existan criterios confiables en coeficientes de seguridad. La experiencia demuestra que en algunos rellenos la densidad de los residuos es un parámetro que no se controla como debería, teniendo en cuenta su importancia en las cargas que finalmente transmitirán a la fundación.
- Sobredimensionamiento proyectado expresamente de todas las condiciones de estabilidad del depósito, drenaje superficial, interno, colectores, sistemas de impermeabilización y estanqueidad subterráneas y superficiales. Esto implica la adopción de materiales que verifiquen las más altas performances y calidad disponibles en el mercado (tracción, estiramiento, desgarrar, punzado, permeabilidad) en el caso de las membranas geotextiles y grillas, y resistencia y espesores en el caso de tubos y cañerías.
- Refuerzo del terraplén perimetral mediante un núcleo de enrocado colocado o de gaviones con relleno de los espacios vacíos o un conjunto compacto alternativo, que a la vez cumpla la función de una sobrecarga en la zona en que el plano potencial de deslizamiento (curva) se acerca a la superficie.
- Sobredimensionamiento de los canales laterales de intercepción y drenaje del escurrimiento superficial, en los casos en que el depósito se sitúe en condiciones desfavorables (de pendiente o de encauzamientos incipientes). Estos deberán proyectarse de manera de no incrementar el riesgo de deslizamiento.
- Planes de alerta temprana de contingencias y acciones a desarrollar para atenuar, detener, controlar y mitigar sus efectos, incluyendo la contratación de seguros.
- Acciones que favorezcan la calidad de vida de los vecinos en otros aspectos (por ejemplo económicos o culturales).
- En ambientes donde las características geológicas determinan la elección de sitios en roca, incluyendo la

posible existencia previa de canteras, el acondicionamiento y las condiciones a investigar pueden diferir bastante.

En este caso el estudio se centrará en el aspecto estructural, sismicidad, mineralogía o composición química, permeabilidad primaria y secundaria. Los tratamientos de acondicionamiento y mejoramiento de las condiciones de fundación, pueden ser inyecciones de impermeabilización de cemento con o sin un bajo porcentaje de bentonita en fracturas (zonas falladas, diaclasadas o fisuradas), procedimiento en el que puede emplearse simplemente la gravedad como recurso suficiente para obtener la presión necesaria, en ciertos casos. La superficie de la excavación o rasante puede acondicionarse con un sistema que no introduzca incompatibilidades entre elementos elásticos, estirables y rígidos, o por ejemplo una pantalla bituminosa, arcilla, suelo cemento o equivalente principalmente si las rocas presentan permeabilidad primaria.

3.5. Del control y evaluación desde la prefactibilidad hasta el cierre

Como se dijo anteriormente la falta de número y tiempo transcurrido para la evaluación suficiente de casos en explotación localmente y de experiencia a nivel mundial en rellenos acondicionados cerrados, aplicable a distintas condiciones naturales, determina que se deban extremar los cuidados tanto en la elección del sitio, como en la elección de los procesos, instalaciones adecuadas a las necesidades, explotación y acondicionamiento final.

Esto implica una evaluación técnica minuciosa de los anteproyectos presentados, así como una supervisión en la investigación previa de las condiciones naturales del o los sitios propuestos, construcción, instalaciones, montajes, excavaciones, acondicionamiento y colocación de los sistemas de impermeabilización y drenaje, cálculos de estabilidad del depósito y en general un seguimiento de toda la explotación cierre y acondicionamiento final del relleno.

Es importante tener en cuenta que uno de los puntos centrales de este trabajo, la *estabilidad del depósito*, es un parámetro que debe evaluarse especialmente al abandonar el sitio, ya que el depósito será para siempre una zona topográficamente sobre elevada artificialmente y sometida a los agentes de intemperización y naturales en general.

Por lo tanto los controles además del monitoreo y rutinas previstas normalmente deberán incluir:

- Control periódico de asentamientos (absolutos, respecto a puntos fijos y relativos del cuerpo del depósito y su entorno) y su comparación con los asentamientos durante la explotación. Verificación de su rango dentro de los previstos en el diseño.

- Control de la sección y operatividad de los canales drenantes.
- Análisis de los procesos de erosión, y medidas correctivas en los casos que interesen la estabilidad del conjunto.

3.6. Del tamaño del relleno

Este aspecto es de sentido común, y por lo tanto sólo se lo considera a fin de recordar que los problemas así como los diseños y soluciones, diferirán de un depósito pensado para un polo industrial importante, a un pequeño relleno compartido o propio de un establecimiento industrial. La elección del sitio por ejemplo, puede admitir condiciones menos favorables en cuanto a estabilidad, si el volumen esperado de residuos es pequeño. Lo mismo vale para la evaluación de mitigaciones de impactos locales y prevención de contingencias, sobre todo en consideración a la tipificación de los residuos.

3.7. De la legislación

Este es un tema complejo ya que presenta dos abordajes: La parte de la legislación que regula la operación de los rellenos y la que exige el tratamiento y disposición en los mismos a las industrias.

La legislación nacional (ley 24051 y decreto reglamentario 831/93) es un marco importante para el desarrollo y perfeccionamiento a nivel local (provincial por ejemplo), de las normativas que deberán regir estas actividades.

Resulta claro que la imperiosa necesidad de regular esta temática impulsó la adaptación rápida de normativas que no siempre se adaptan a las realidades naturales y socioeconómicas locales.

Deberían salvarse expresiones no del todo comprensibles como:

“1. La formación geológica debe ser miocénica” y

“2. Las profundidades permitidas de inyección son del orden de 2000 a 3500 mts., por debajo de la superficie del terreno natural”,

que aparecen en el decreto reglamentario, referidos a las operaciones de eliminación por inyección profunda del anexo III de la ley 24051.

Lo cual, como se puede ver, no es algo técnicamente adaptable o útil.

El eje de la cuestión, pasa entonces por la elaboración en el menor tiempo posible que permita un tratamiento óptimo, de leyes y reglamentaciones que adapten la legislación y las normativas vigentes a las realidades locales, sobre todo de condiciones naturales como clima, geología (geomorfología, aguas superficiales y subterráneas, litología, tectónica, sismicidad,) fauna y flora, con un espectro tan amplio en nuestro país. Por ejemplo, en Entre Ríos hay regiones donde cumplir con condiciones óptimas de distancia mínima a un curso de agua de orden 1 o a un cauce temporario y a la vez llenar los otros requisitos para elección del sitio es muy difícil, mientras que en provincias con clima más seco y otra morfología este factor puede no tener relevancia.

Por último, se pone especial énfasis en que independientemente de las dificultades a resolver en todas las instancias, la disposición final, acondicionamiento en rellenos de seguridad y todo proceso previo y posterior que implique el manejo controlado y racional de residuos en general debe ser prioritario y preferible a la falta de control y manejo discrecional con destino a veces desconocido y consecuencias imprevisibles.

El manejo racional, tratamiento y acondicionamiento seguro de residuos peligrosos facilita la compatibilidad entre el desarrollo industrial, la calidad de vida y la estabilidad Ambiental.

4. BIBLIOGRAFÍA

TCHOBANOGLIOUS G., ET AL 1998.

Gestión Integral de Residuos Sólidos.
McGraw-Hill, Inc.

LA GREGA M. ET AL 1998.

Gestión de Residuos Tóxicos.
McGraw-Hill, Inc.



Estudio hidrogeológico y de calidad del agua en la cuenca del río Salí

Provincia de Tucumán

Nicolli, Hugo B. ^{1, 3} - Tineo, Alfredo ^{2, 3} - García, Jorge W. ²

Resumen

La cuenca hidrogeológica del río Salí se ubica en el sector central de la Llanura Oriental tucumana abarcando un área de unos 6.000 km², entre las Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaquies por el oeste, las Sierras de Guasayán por el este, la Dorsal de Tacanas por el norte y las Sierras de Ancasti por el sur. Ha sido rellenada por una importante acumulación de sedimentos fluviales y eólicos de edad cuaternaria que en la zona más profunda de la cuenca alcanzan unos 300 m de espesor.

En el sector oriental de las Sierras del Aconquija se registran precipitaciones del orden de los 2.000 mm anuales, hecho que, sumado a la presencia en el piedemonte de sedimentos de elevada porosidad y permeabilidad, asegura la recarga efectiva de los acuíferos del área. Se han reconocido diferentes sistemas acuíferos, desde niveles freáticos a escasa profundidad, niveles confinados más profundos con presión de surgencia natural y un sistema acuífero, alojado en sedimentos del Terciario superior, con anomalías termales y surgencia natural. Las condiciones hidráulicas varían en cada sistema acuífero, y sus características hidroquímicas han sido parte de la presente investigación.

En ese ambiente se efectuó un muestreo sistemático de las aguas, comprendiendo 98 muestras de aguas superficiales, de niveles freáticos, de niveles profundos y de pozos surgentes.

Se han comprobado procesos de contaminación natural de las aguas con arsénico y flúor, cuyas fuentes son componentes piroclásticos (en especial vidrios volcánicos) de sedimentos limo-loésicos, de composición dacítica. Altos valores de pH y altos contenidos de bicarbonato favorecen esa lixiviación, en particular en niveles someros. Consecuentemente, las aguas freáticas son las más deterioradas ya que un 45% de ellas están fuera de las normas de la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) por sus contenidos de arsénico cuyo límite es 50 µg/l. En esas aguas la media es 159,21 µg As/l y el máximo 1.655 µg As/l. Si atendemos a los contenidos de flúor (el límite de la USEPA es 1.500 µg/l) un 16% de esas aguas están fuera de norma, con una media de 780,7 µg F/l y un máximo de 3.790 µg F/l. En aguas de niveles profundos o de pozos surgentes el cumplimiento de la norma es significativamente mayor y en aguas superficiales el cumplimiento de la norma es total, sin excepción.

Por los contenidos de selenio y antimonio, todas las aguas cumplen las normas, y los oligoelementos comúnmente asociados (vanadio, uranio, molibdeno) están en proporciones muy variables, pero generalmente bajas, a excepción del boro, cuyos contenidos son, en general, altos en todas las aguas de la cuenca, en particular en las aguas freáticas, en las que los contenidos adquieren los mayores valores (media: 1.590 µg B/l, mediana: 489,5 µg B/l, máximo 9.546 µg B/l).

Entregado: 12 de Octubre de 2000 ■ Aceptado: de 2000

1. INGEOQUI (Instituto de Geoquímica); Av. Mitre 3100, 1663 San Miguel, prov. Bs. Aires
2. Cátedra de Hidrogeología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán; Miguel Lillo 205, 4000 San Miguel de Tucumán
3. Miembro de la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico, CONICET

En esos medios, con altos valores de pH y altos contenidos de bicarbonato, en aguas fuertemente oxidantes, el estado de oxidación mayor del arsénico (As^V) debe dominar claramente sobre la otra especie presente (As^{III}) favoreciendo su migración. Esa gran movilidad puede limitarse, únicamente, por la ocurrencia de minerales de las arcillas con fuerte capacidad de sorción y por la ocurrencia simultánea de óxidos y oxihidróxidos de hierro y aluminio, también con gran capacidad de sorción, fenómeno comprobado por cálculo de índices de saturación.

Se ha comprobado una contaminación generalizada con cromo en las aguas de la cuenca, ya que la totalidad de las aguas de niveles profundos, de pozos surgentes y de aguas superficiales y un 88% de las aguas freáticas superan el límite establecido por la USEPA (100 $\mu\text{g Cr/l}$). Las aguas de niveles profundos son las más deterioradas, con una media de 196,8 $\mu\text{g/l}$ y un máximo de 250 $\mu\text{g/l}$. Aunque las fuentes de este oligoelemento sean pocas y puntuales (siempre de origen antrópico) su dispersión en toda la cuenca se explica en aguas universalmente oxidantes en las que la especie dominante (Cr^{VI}) hace que la movilidad del oligoelemento sea máxima.

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Tucumán cuenta con un importante recurso hídrico subterráneo, especialmente por las condiciones artesianas con niveles positivos en la Llanura Oriental. Con la finalidad de preservar este recurso es necesario, en el futuro, un control adecuado de la explotación, actualmente irracional, de los llamados "pozos surgentes", los que se encuentran abiertos y en producción permanente, con pérdidas de agua y presión. Esas circunstancias deterioran las condiciones del recurso en el subsuelo y la circulación de agua, a veces con notables excesos, afecta la calidad de los suelos.

Por otra parte, se carece de datos sistemáticos sobre todos los parámetros que definen la calidad del agua en la Llanura Oriental, razón por la cual se ha planeado y desarrollado su investigación en el área, en el marco de un proyecto para el estudio de la calidad del agua y de los procesos de contaminación con arsénico y otros oligoelementos en la Llanura Chaco Pampeana. Además, en un artículo reciente sobre el estado ambiental en la provincia de Tucumán (González, 1999) sus autoridades reconocen diversos problemas, entre los que se destaca la contaminación de la cuenca del río Salí.

En la Llanura Oriental tucumana, la cuenca del río Salí, la más importante de la provincia, se extiende por unos 9.000 km^2 desde la zona pedemontana de los bordes del macizo central hacia el este, prolongándose hasta el límite con la provincia de Santiago del Estero (fig. 1). Su límite norte está definido por el espolón de Tacanas, y el sur por el extremo norte de las Sierras de Ancasti, límite con la provincia de Catamarca. Cobre, en consecuencia, un área de máximas precipitaciones con el mayor desarrollo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, conformando una de las cuencas artesianas más importantes de nuestro país.

En la cuenca del río Salí las lluvias alcanzan hasta los 2.000 mm anuales en la zona de la alta cuenca de Concepción-Monteros, decreciendo hacia el límite con la provincia de Santiago del Estero hasta los 600 mm anuales. De acuerdo con las variaciones de precipitaciones, pueden diferenciarse dos zonas climáticas en la llanura. Una zona próxima al área pedemontana, desde Tafí Viejo en el norte hasta la ciudad de Alberdi, con un clima templado moderado lluvioso, con inviernos secos y veranos cálidos, y

con temperaturas mayores que 22°C para el mes más cálido; según Köppen: C wah. La otra zona es la llanura adyacente que se extiende hasta el límite con la provincia de Santiago del Estero, con precipitaciones por debajo de los 700 mm anuales con inviernos secos y veranos cálidos; según Köppen: BS hwa.

Hidrogeología

El borde occidental de la cuenca está marcado por los afloramientos de basamento metamórfico desde la latitud de San Miguel de Tucumán hasta Rumi Punco al sur, con escasos afloramientos de sedimentitas cretácico-terciarias adosados al macizo montañoso y una cubierta cuaternaria bien desarrollada que, en el subsuelo, contiene los principales reservorios acuíferos de la cubeta.

La sección superior está formada por una cubierta moderna con desarrollo de suelos limo-arenosos y paquetes limo-loésicos, con espesores variables, entre 3 y 30 m. Continúan niveles muy permeables, constituidos por gravas gruesas a conglomerados que disminuyen su granometría hacia el este, y es donde se encuentran los niveles acuíferos altos. El cuaternario basal está constituido por gravas y arenas intercaladas con material limo-arcilloso que conforman los acuíferos artesianos en la zona.

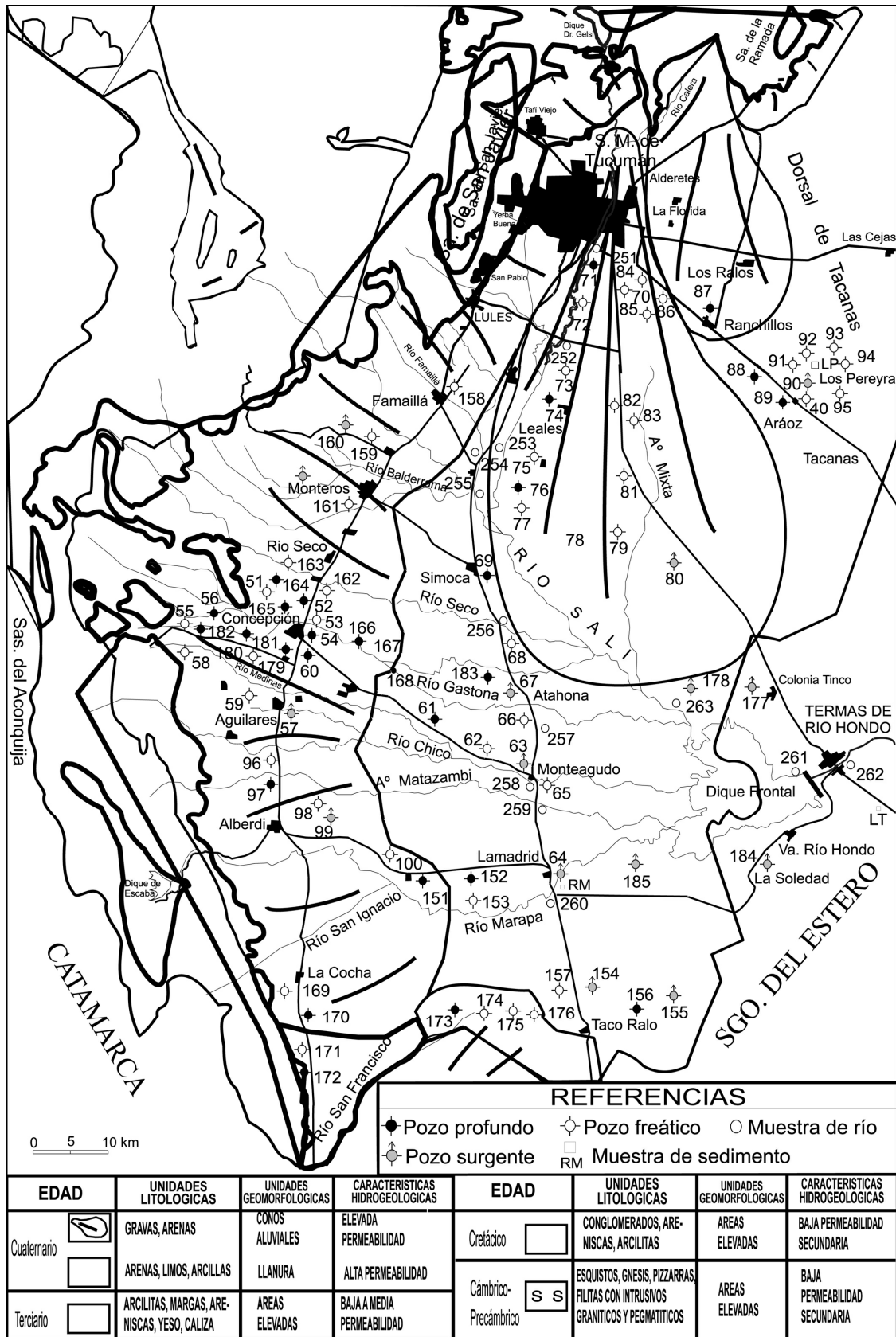
Desde el borde occidental presenta una serie de conos aluviales de gran magnitud que caracterizan esta cuenca, siendo los principales: el cono aluvial del río Salí, el cono de Lules y desde allí hacia el sur, hasta Alberdi-La Cocha, una serie de conos coalescentes de las cuencas afluentes del río Salí (ver fig. 1).

El cono aluvial del río Salí (Tineo et al., 1995) fue definido recientemente como uno de los reservorios de aguas subterráneas más importantes de la provincia. Se extiende desde la latitud de la Capital y Banda del Río Salí hacia el sudeste, con una superficie del orden de los 2.000 km^2 .

La zona apical, ubicada entre la Banda del Río Salí y San Andrés, presenta niveles de grava gruesa a conglomerada con rodados de metamorfitas grises oscuras y escasos niveles limo-arcillosos. Tiene espesores variables entre 70 y 150 m, con acuíferos de buen rendimiento.

La zona media se ubica a la altura de El Bracho-Mancopa hasta Agua Azul y Cañada de Viclos, con espesores que superan los 300 m de profundidad. Se caracteriza por

FIGURA 1: MAPA HIDROGEOLÓGICO Y DE MUESTREO EN LA CUENCA DEL RÍO SALÍ



niveles de arenas gruesas y gravas de rocas metamórficas grises oscuras, con intercalaciones limo-arcillosas rosadas, que le confieren un confinamiento. En esta zona se han determinado niveles de surgencia natural por debajo de los 80 m de profundidad. En El Bracho se ha realizado una perforación a 300 m de profundidad con una producción de 220 m³/h por surgencia natural; en la Cañada de Viclos, a 200 m de profundidad, se ha explotado un acuífero con 100 m³/h de surgencia natural.

En la *zona distal* del cono aluvial, los sedimentos son más finos, determinándose una zona de surgencia natural, aunque con menor caudal, en La Encrucijada, Campo Azul y Los Herrera.

En toda el área que abarca el gran cono aluvial del río Salí existe una elevada densidad de población, que desarrolla una importante actividad agrícola, lo que permitirá en el futuro un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos.

El borde oriental de las sierras de San Javier presenta una *serie de abanicos aluviales*, con buen desarrollo, desde Tafí Viejo hasta Lules. Los sedimentos gruesos de estos abanicos cubren una importante superficie en el área pedemontana y se extienden hacia el este, alcanzando la depresión del Bajo Hondo, con intercalaciones limo-arenosas y limo-arcillosas en la zona distal de los mismos. En la zona, este complejo supera los 200 m de espesor, con niveles de surgencia natural.

Hacia el sur, el cono aluvial del río Salí se confunde con el ambiente de llanura donde los aportes de los conos provenientes de las sierras del oeste, acumulan sedimentos gruesos formando excelentes acuíferos con una muy buena recarga producida por la infiltración de las lluvias y de los ríos que circulan hacia del río Salí.

A partir del río Lules, una importante cantidad de afluentes del río Salí caracterizan la región con sus aportes hídricos, destacándose las cuencas del Colorado-Balderrama, Seco, Gastona, Medina y Marapa. En ese ambiente la presencia de horizontes permeables en profundidad y con la recarga antes mencionada, presentan las condiciones más adecuadas para la explotación de aguas subterráneas.

En sus estudios, realizados a principios del siglo XX, *Stappenbeck (1915, 1916, 1921)* ha demarcado la zona de surgencia que cubre toda la llanura tucumana. Desde el Espolón de Tacanas al sur y por el oeste, desde la línea de la ruta nacional N° 38, al este, alcanza esas características, hasta las proximidades de Juan Bautista Alberdi. En la zona más baja de la cuenca se observan problemas de salinización de suelos como consecuencia del aumento en el nivel freático en épocas estivales, debido a un drenaje deficiente por la escasa pendiente de la llanura.

La cuenca sedimentaria profunda tiene un buen

desarrollo, habiéndose comprobado por métodos sísmicos de refracción, realizados por Y.P.F. en la zona de Atahona, una profundidad de 2.500 m hasta el basamento; disminuye hacia el este, siendo la sierra de Guasayán, en la provincia de Santiago del Estero, el contrafuerte oriental de la cuenca. Las aguas obtenidas en ese ambiente son, en general, de buena calidad y con muy buenos caudales, aumentando su salinidad hacia el este.

En el sector sur de la provincia, la cuenca hidrogeológica cambia sus características fundamentales, a partir del río Marapa hasta el límite con la provincia de Catamarca. Las pendientes predominantes, en sentido oeste-este en la zona central, cambian; adquieren nuevas direcciones que varían hacia el nordeste y el norte, y está influenciada por los afloramientos de las rocas del basamento de las cumbres de Balcozna, Narvaez y Potrerillos, y la sierra de Ancasti, en su extremo norte. En el borde de las cumbres mencionadas, afloran sedimentos limo-arcillosos de edad terciaria y que se manifiestan en la zona pedemontana con suaves ondulaciones cubiertas con niveles cuaternarios de escaso espesor. Estos niveles cubren gran parte del área, con mayor desarrollo en profundidad, hacia la zona baja de la llanura. La zona cuenta con precipitaciones del orden de los 600 a 800 mm anuales y una serie de ríos temporarios y permanentes que, al alcanzar la zona baja, se pierden por infiltración en los terrenos permeables del Cuaternario.

Al sur del río Marapa o Graneros se encuentra el río San Ignacio, afluente de aquél, con caudal permanente sólo en su tramo superior, que drena las aguas de la sierra de Balcozna. Sus aguas son utilizadas para riego en la zona de La Cocha y sólo en épocas de crecidas alcanza a desembocar en el río Marapa, donde llega la parte distal del cono aluvial del río San Ignacio.

En el extremo sur, la cuenca recibe los aportes de los ríos Huacra-San Francisco, El Abra y Ovanta, que nacen en territorio catamarqueño y forman importantes depósitos en abanicos que sobrepasan el límite con Tucumán, alcanzando la ruta N° 334 que une La Cocha con Taco Ralo. Se han determinado grandes reservorios de agua en la zona de Palancho, Colonia Nicolás Avellaneda y Los Vázquez, con caudales específicos entre 30 y 50 m³/h/m y agua de buena calidad que se utiliza para riego.

Hacia el norte, en el área de la ruta provincial N° 334 que une La Cocha con Taco Ralo, mejoran las condiciones físicas de los acuíferos, encontrándose perforaciones con buena calidad y con buenos rendimientos, en los acuíferos profundos. Los niveles freáticos son, en general, de mala calidad.

Es de destacar que en la llanura tucumana antes estudiada, se encuentran niveles acuíferos con anomalías térmicas importantes que caracterizan las aguas profundas

TABLA I: CUENCA DEL RÍO SALÍ**Composición química de muestras de sedimentos en barrancas**

Mtra.	LT 1	LT 2	LT 3	RM 1	RM 2	RM 3	RM 4	RM 5
Alt. (m)	0,00-0,70	0,70-1,55	1,55-2,45	0,00-1,20	1,20-1,70	1,70-1,90	1,90-1,98	2,10-2,80
SiO ₂	67,9	75,9	73,1	60,5	64,2	54,1	60,4	57,4
Al ₂ O ₃	13,2	12,1	12,3	14,7	13,8	15,8	15,4	15,8
Fe ₂ O ₃	3,69	1,33	1,37	3,75	2,44	5,85	4,93	5,03
FeO	0,63	0,47	0,42	1,02	0,70	0,71	1,36	1,18
MnO	0,06	0,04	0,02	0,11	0,08	0,09	0,03	0,14
MgO	1,96	0,87	1,11	2,67	2,07	2,68	2,69	3,14
CaO	1,67	2,25	3,01	4,19	3,18	3,10	2,10	2,28
Na ₂ O	1,98	3,24	3,47	3,06	3,60	3,00	3,36	2,56
K ₂ O	2,86	2,33	2,91	3,74	4,08	3,65	3,76	3,93
TiO ₂	0,58	0,40	0,32	0,58	0,36	0,57	0,71	0,67
P ₂ O ₅	0,05	0,14	0,10	0,19	0,13	0,15	0,12	0,18
P.c.*	5,95	1,31	2,60	5,98	5,63	9,91	5,83	8,32
Total	100,53	100,38	100,73	100,49	100,27	99,61	100,69	100,63

*Pérdida por calcinación a 925 °C

Composición química de muestras de sedimentos en pozo de agua

Muestra	LP 1	LP 2	LP 3	LP 4	LP 5	LP 6	LP 7	LP 8	LP 9
Prof. (m)	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5
SiO ₂	65,1	65,3	65,2	65,0	64,1	64,8	63,8	64,0	62,4
Al ₂ O ₃	14,9	15,0	15,0	15,3	15,4	15,2	14,8	14,7	14,1
Fe ₂ O ₃	5,55	4,95	4,88	4,97	5,03	5,01	4,79	4,65	4,46
FeO	0,34	0,33	0,32	0,28	0,25	0,24	0,26	0,33	0,32
MnO	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,0
MgO	2,25	2,30	2,22	2,26	2,23	2,08	2,00	2,12	1,80
CaO	1,60	1,60	1,49	1,57	1,52	1,59	2,40	2,54	4,53
Na ₂ O	2,51	2,48	2,56	2,51	2,51	2,47	2,40	2,39	2,35
K ₂ O	3,42	3,25	3,29	3,30	3,35	3,29	3,09	3,03	2,95
TiO ₂	0,65	0,65	0,59	0,62	0,64	0,60	0,59	0,66	0,60
P ₂ O ₅	0,12	0,16	0,16	0,14	0,11	0,10	0,12	0,13	0,14
P.c.*	4,22	4,52	4,89	4,14	4,60	4,52	5,47	5,24	6,23
Total	100,70	100,59	100,63	100,13	99,78	99,94	99,76	99,83	99,91

*Pérdida por calcinación a 925 °C

Muestra	LP 10	LP 11	LP 12	LP 13	LP 14	LP 15	LP 16	LP 17	LP 18
Prof. (m)	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-10,2
SiO ₂	60,5	62,6	63,1	63,0	62,7	63,1	65,9	65,2	66,8
Al ₂ O ₃	13,3	14,0	14,0	13,9	13,6	14,1	14,5	15,3	14,5
Fe ₂ O ₃	4,10	4,20	4,20	4,25	4,15	3,99	3,91	4,06	2,82
FeO	0,37	0,44	0,45	0,46	0,47	0,63	0,60	0,61	0,63
MnO	0,09	0,06	0,07	0,09	0,02	0,03	0,03	0,09	0,10
MgO	1,85	1,91	1,89	2,06	2,05	2,13	1,90	1,97	1,37
CaO	6,93	4,93	4,34	4,49	4,93	4,30	2,67	1,97	1,88
Na ₂ O	2,26	2,33	2,25	2,30	2,20	2,34	2,37	2,34	2,71
K ₂ O	2,87	2,98	2,92	2,98	2,91	3,02	3,30	3,14	3,51
TiO ₂	0,53	0,56	0,58	0,59	0,55	0,59	0,58	0,60	0,43
P ₂ O ₅	0,14	0,15	0,14	0,14	0,12	0,13	0,13	0,10	0,07
P.c.*	7,71	6,02	5,71	6,29	6,40	5,76	4,27	4,24	4,90
Total	100,65	100,18	99,65	100,55	100,10	100,12	100,16	99,62	99,72

*Pérdida por calcinación a 925 °C

de la zona. Aunque no se cuenta con un relevamiento geotérmico completo, se pueden señalar los pozos surgentes de Talamuyo, en el departamento de Alberdi, que encontró niveles acuíferos a 450 m de profundidad con temperaturas de 38 °C; Taco Ralo, que explota agua semisurgente a 398 m de profundidad, con temperaturas de 39 °C; Viltrán, surgente con 42 °C; Los Páez, también surgente con 46 °C y Puesto del Medio, a 4 km al sur del anterior, con un caudal de 100 m³/h por surgencia natural y una temperatura de 50 °C a 412 m de profundidad, todos en el departamento Graneros (Iglesias et al., 1989).

El río Salí, que se origina en la provincia de Salta, recibe las aguas de numerosos ríos que drenan las laderas orientales de las Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaquíes. Ya en territorio tucumano drena el valle de Tapias-Trancas antes de llegar al embalse El Cadillal. A partir de este punto ingresa en su llanura como un río de carácter permanente con direcciones dominantes nort-sur y noroeste-sudeste y un marcado control estructural, desembocando en el embalse de río Hondo, límite con la provincia de Santiago del Estero. En este último tramo aumenta considerablemente el caudal porque drena la vertiente oriental de las sierras del Aconquija, recibiendo numerosos tributarios.

Composición de los sedimentos

Con el objeto de caracterizar la composición química de los sedimentos loésicos, se seleccionaron lugares de muestreo en afloramientos con buenos cortes verticales. Se identificaron y muestrearon por canaleta, 3 niveles en una barranca del arroyo Las Tinajas (muestras LT) y 5 niveles en una barranca del río Marapa (muestras RM). Además, en un área con fuertes anomalías positivas en la distribución de flúor y arsénico de sus aguas (Los Pereyra) se seleccionó un pozo de provisión de agua para muestrear los sedimentos de sus paredes (muestras LP) en canaleta hasta el nivel freático (10,20 m). Los resultados de los análisis químicos de esas muestras se consignan en la tabla I.

2. MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

Todas las operaciones de muestreo en los 98 puntos seleccionados (ver fig.1) y en el laboratorio de campaña y los procedimientos empleados para los análisis químicos de aguas han sido normalizados de acuerdo con pautas de U.S. Environmental Protection Agency (1993 a y b).

En el momento de la toma de muestra se determinó, in situ, los valores de temperatura, pH, conductancia específica, turbidez y oxígeno disuelto. Se tomaron cinco fracciones: la principal para su procesamiento en el laboratorio de campaña y otras cuatro menores para las determinaciones de D.Q.O. (demanda química de oxígeno),

nitrito, nitrito y oligoelementos. En el fraccionamiento y filtrado en el campo y en el laboratorio de campaña, y en las valoraciones alcalimétricas, se operó de acuerdo con los procedimientos del U.S. Geological Survey (Wood, 1976).

Todas las técnicas y procedimientos empleados para el análisis químico de las aguas en los laboratorios del INGENIOQUI (Instituto de Geoquímica) se basan en los métodos empleados por el U.S. Geological Survey (Skougstad et al., 1970) y por el Comité Conjunto de la American Public Health Association, American Waterworks Association y Water Pollution Control Federation (1992). Los procedimientos, normalizados de acuerdo con pautas de U.S. Environmental Protection Agency (1993 a y b) son los siguientes: calcio y magnesio por espectrometría de absorción atómica, sodio y potasio por espectrometría de emisión en llama, carbonato y bicarbonato por titulación potenciométrica con ácido sulfúrico (anhídrido carbónico por cálculo), sulfato por turbidimetría sin empleo de aditivos, cloruro, nitrato y flúor mediante electrodo selectivo, nitrito y sílice disuelta por espectrofotometría y arsénico y otros oligoelementos (vanadio, uranio, selenio, antimonio, boro, molibdeno y cromo) por ICP (espectroscopía de emisión con plasma inductivamente acoplado).

3. HIDROGEOQUÍMICA

Con el objeto de ordenar toda la información analítica disponible, las muestras analizadas fueron reunidas en cuatro grupos: 1) Aguas de niveles freáticos; 2) Aguas de niveles profundos; 3) Aguas de pozos surgentes; y 4) Aguas superficiales. Los parámetros fisicoquímicos medidos, iones que definen la composición catiónica y aniónica mayoritarias, los valores de dureza, demanda química de oxígeno (D.Q.O.), anhídrido carbónico y sólidos totales disueltos (S.T.D.) se consignan en la tabla II.

Además de las variaciones de composición observadas en los distintos grupos, los valores de sólidos totales disueltos marcan claras diferencias. En el diagrama de Piper (fig. 2) se definen las aguas superficiales y de acuíferos profundos como bicarbonatado sódicas, las aguas del nivel freático y de pozos surgentes como de tipo intermedio (sin anión dominante) fuertemente sódicas. El radio de la circunferencia que representa el valor de S.T.D. en las aguas del nivel freático es prácticamente el triple de los otros grupos.

El contenido de oligoelementos marca, además, claras diferencias en los distintos grupos. En tal sentido, flúor, arsénico, vanadio y uranio presentan valores relativamente altos en las aguas del nivel freático. Tanto la media (780,07 µg/l) como la mediana (620,5 µg/l) del flúor en aguas freáticas reflejan tal situación, siendo dichos valores menores en niveles profundos (563 y 229 µg/l,

FIGURA 2: DIAGRAMA DE PIPER CORRESPONDIENTE A LA COMPOSICIÓN MEDIA DE AGUAS

- (1) de los niveles freáticos,
- (2) de aguas de niveles profundos,
- (3) de aguas de pozos surgentes y
- (4) de aguas superficiales.

El valor de S.T.D. (sólidos totales disueltos) se ha representado con una circunferencia cuyo radio es proporcional a la escala de la izquierda (en partes por millón o miligramos por litro)

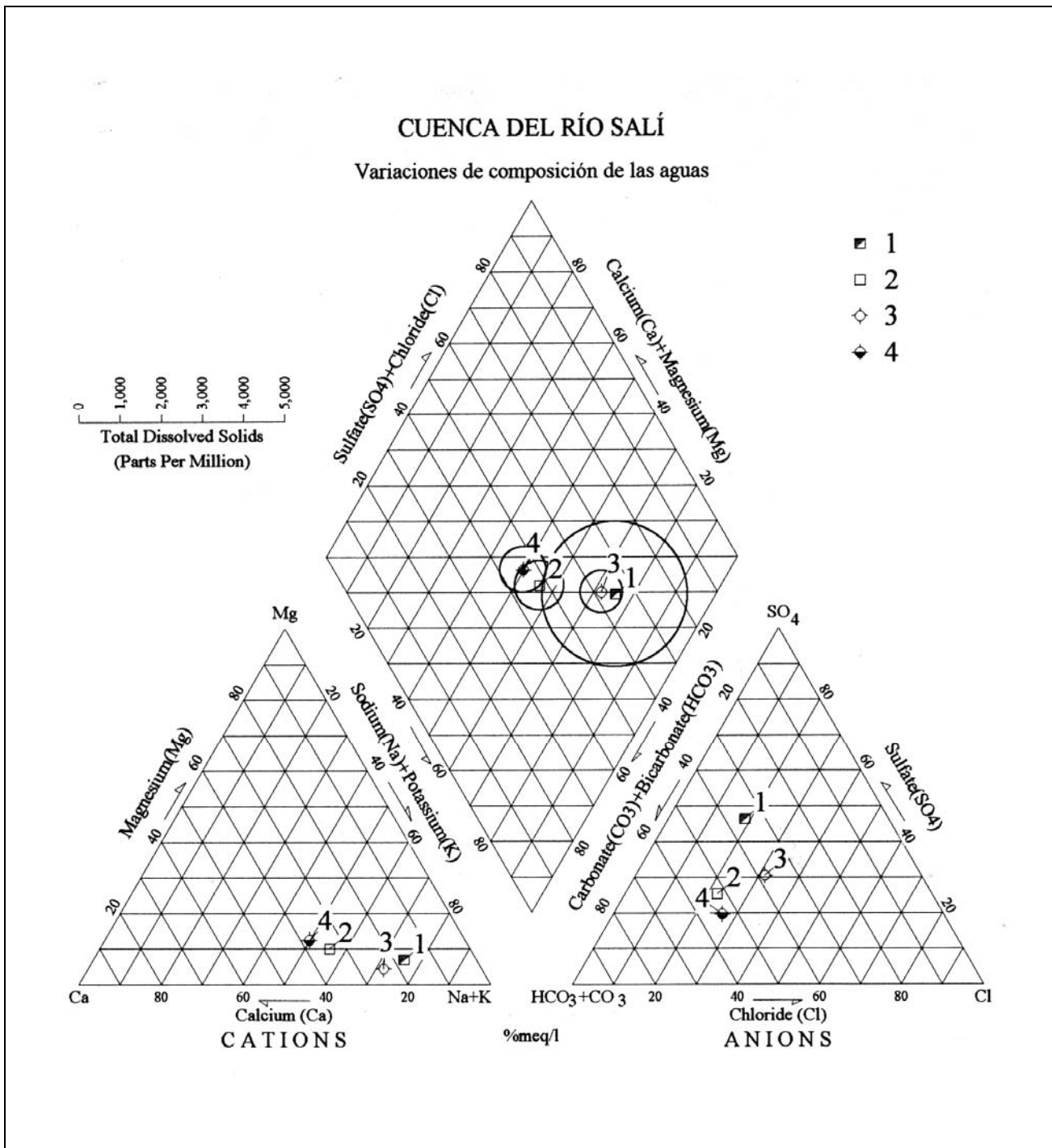


TABLA II: AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO SALÍ, PROVINCIA DE TUCUMÁN

Valores mínimos, máximos, media, mediana y media geométrica de parámetros fisicoquímicos, de composición iónica y de oligoelementos

Parámetro o ion	Aguas de los niveles freáticos					Aguas de niveles profundos				
	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Media geom.	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Media geom.
Temperatura (°C)	19,0	25,2	21,6	21,2	21,50205	19,6	42,0	24,1	22,3	23,6
Cond. específica (mmho/cm)	112	7110	1917,9	1335,0	1152,0	121,0	1570,0	645,0	540,5	481,6
Oxígeno disuelto (mgO ₂ /l)	1,8	6,1	3,5	3,0	3,3078	2,0	6,1	3,8	3,7	3,7
Turbidez (UNT)	0	275	18,5	2,5	-	0	105	4,5	-	-
pH (in situ)	6,28	8,72	7,51	7,61	7,488	6,72	9,24	7,76	7,73	7,74
Potencial redox (Eh) (mV)	163	445	289,3	286,0	282,153	90,0	570,0	302,7	300,0	284,5
Dureza (mg CaCO ₃ /l)	36,6	1373,2	279,9	194,2	200,688	13,2	391,2	150,5	124,3	125,7
D.Q.O.	0,34	7,84	1,70	0,95	1,2166	0,08	1,32	0,49	0,48	0,41
Calcio	9,78	444,9	80,466	59,9	58,057	4,49	125	46,55	40,9	38,63
Magnesio	2,07	80,2	19,179	12,65	12,655	0,49	19,2	8,3165	7,78	6,5341
Sodio	4,7	2271	387,84	217,6	134,19	4,97	261,4	85,476	39,95	44,394
Potasio	3,3	84,2	16,263	10,105	11,451	2,09	16	5,8608	4,945	5,5333
Carbonato	11,4	27,6	19,5	19,5	17,738	5,4	10,2	7,8	7,8	7,4216
Bicarbonato	50,0	1258,4	461,8	465,45	367,41	72,6	438,6	207,99	160,1	184,43
Sulfato	4,83	5788	523,35	155,75	147,6	7,45	267,7	87,325	58,2	48,897
Cloruro	4,67	1100	154,48	63,9	57,631	3,66	216	56,131	14,85	21,301
Nitrato	2,64	88,6	20,602	13,05	13,599	4,35	30,8	14,281	12,5	12,681
Nitrito	<5	712	43,126	11	14,972	<5	137	11,9	<5	6,4883
SiO ₂	28,2	137,6	69,083	68,3	65,899	2,38	132,3	56,715	55,2	48,446
S.T.D.	164,6	9238,2	1734,8	1195,8	1079,6	145,6	1245,8	569,82	577,3	483,04
CO ₂	5,52	63	20,461	17,6	17,775	1,4	45,1	11,94	7,82	7,5151
Oligoelementos										
F	50	3790	780,07	620,5	483,67	51	7340	563	229	256,2
As	12,2	1655	159,21	45,75	63,898	11,4	107	37,87	33,7	33,12
V	30,7	300	95,567	77,25	83,734	48,4	113	74,73	72,4	72,4
U	0,032	125	24,354	14,2	6,7569	0,115	13,2	3,763	3,265	2,098
B	34	9546	1590,9	489,5	538,18	35	1399	304	215,5	190,5
Be	<0,1	<0,1	-	-	-	<0,1	<0,1	-	-	-
Se	0,2	9	2,2857	2,05	1,4562	0,2	3,5	2,1	2,05	1,89
Sb	0,04	0,46	0,1769	0,17	0,1469	0,04	0,3	0,11	0,095	0,095
Mo	0,2	727	70,374	10,85	11,081	0,4	93	11,12	4	4,019
Cr	79,4	232	160,7	163,5	154,75	129	250	196,8	199	194,3

Valores de D.Q.O., cationes, aniones, SiO₂, S.T.D. y CO₂ en miligramos por litro; nitrato y oligoelementos en microgramos por litro

TABLA II (CONTINUACIÓN): AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO SALÍ, PROVINCIA DE TUCUMÁN

Valores mínimos, máximos, media, mediana y media geométrica de parámetros fisicoquímicos, de composición iónica y de oligoelementos

Parámetro o ion	Aguas de pozos surgentes					Aguas superficiales				
	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Media geom.	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Media geom.
Temperatura (°C)	20,5	45,1	27,5	23,6	26,60546	23,6	34,2	28,5307	28,8	28,332996
Cond. específica (mmho/cm)	131	1180	625,8	641,0	491,0412	145	1660	697,076	679	549,00978
Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l)	1,1	5,4	3,3	3,8	3,0586	0	6,9	2,52154	2,5	
Turbidez (UNIT)	0	27	1,9	0,0		5	280	68,3846	27	33,67936
pH (in situ)	6,79	8,93	8,11	8,11	8,09	6,83	8,42	7,7438	7,81	7,7281
Potencial redox (Eh) (mV)	100	329	282,1	302	273,347	-221	196	7,38462	39	
Dureza (mg CaCO ₃ /l)	17,6	188,1	92,7	75,9	70,1939058	57,9	291,2	178,4615	198,2	159,800191
D.Q.O.	0,14	0,62	0,41	0,39	0,38	1,66	46,2	13,417	12,4	8,9743
Calcio	6,41	62,1	31,37	23,6	24,19	7,58	94,2	49,798	51,3	41,471
Magnesio	0,29	9,48	3,505	4,13	2,00	2,92	19	9,96	9,97	8,652
Sodio	6,21	193,7	106,6	117,3	78,98	7,72	154,2	64,988	77,2	43,546
Potasio	1,78	7,78	4,158	4,28	3,80	4,26	45,1	17,482	11,5	13,339
Carbonato	1,2	3,6	2,6	3	2,35	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Bicarbonato	79,9	246,4	148,6	140,3	141,65	95,2	428,8	222,23	185,4	198,91
Sulfato	5,54	209	97,27	85,5	60,60	1,18	150,8	64,612	75	33,72
Cloruro	4,67	194	73,74	62,7	37,16	2,34	270	64,027	44,4	27,81
Nitrato	3,94	13,7	7,099	6,72	6,66	0,23	30,7	8,1615	8,05	4,3385
Nitrito	<5	159	25,42	<5	8,89	<5	1254	11,202	<5	15,467
SiO ₂	21,0	74,3	41,39	35,2	37,94	24,9	82,9	52,338	54,4	49,787
S.T.D.	184,0	792,1	514,78	607,5	454,94	198	1034,7	559,85	560,9	495,68
CO ₂	1,47	26,7	4,969	3,74	3,49	2,33	323,3	33,994	6,605	8,1612
Oligoelementos										
F	133	2170	569,76	214	354,54	91	582	257,6	201	225,8
As	16,2	76,9	36,441	26,5	32,259	14,4	39	23,2	23	22,11
V	44,8	162	77,459	63,8	72,524	30,3	55,2	43,638	43,4	43,162
U	0,104	6,19	1,7792	1,29	1,1653	0,048	11,1	2,6166	1,88	1,1614
B	60	904	302,35	225	217,82	55	674	268,54	293	200,04
Be	<0,1	<0,1	-	-	-	<0,1	<0,1	-	-	-
Se	0,2	3,6	2,0765	2,1	1,7808	2,1	3,3	2,5846	2,7	2,5606
Sb	0,03	0,29	0,11	0,09	0,0955	0,06	0,23	0,1177	0,11	0,117
Mo	0,4	29,9	10,129	5,5	6,0454	0,2	17,6	3,9077	1,6	1,8031
Cr	110	218	177,6	178	175,33	112	165	146,9	153	146,21

Valores de D.Q.O., cationes, aniones, SiO₂, S.T.D. y CO₂ en miligramos por litro; nitrato y oligoelementos en microgramos por litro.

respectivamente) y en aguas de pozos surgentes (569,76 y 214 $\mu\text{g/l}$, respectivamente). Las aguas superficiales presentan valores aún menores, tanto en la media (257,6 $\mu\text{g/l}$) como en la mediana (201 $\mu\text{g/l}$). Los valores máximos de F para cada grupo presentan relaciones distintas: 3790 $\mu\text{g/l}$ para los niveles freáticos, 7340 $\mu\text{g/l}$ en aguas de niveles profundos, 2170 $\mu\text{g/l}$ con aguas de pozos surgentes y de sólo 582 $\mu\text{g/l}$ en aguas superficiales. Son interesantes las oportunas comparaciones con contenidos determinados en otras áreas en la Llanura Chaco Pampeana. En aguas freáticas de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba, los contenidos máximos de F llegan a 6.290 $\mu\text{g/l}$, con una media de 1.649 $\mu\text{g/l}$ y una media geométrica de 1.187 $\mu\text{g/l}$ (Nicolli et al., 1985 y 1989); en el norte de la provincia de La Pampa los contenidos son mucho mayores (máximo: 29.200 $\mu\text{g/l}$; mediana 3.780 $\mu\text{g/l}$) (Nicolli et al., 1997; Smedley et al., 1998).

Los contrastes son aún más notables en el caso del *arsénico*. En efecto, los valores de la media y la mediana para aguas freáticas de la cuenca del Salí son 159,21 y 45,75 $\mu\text{g/l}$, respectivamente, mucho mayores que para niveles profundos (37,87 y 33,7 $\mu\text{g/l}$) y de pozos surgentes (36,441 y 26,5 $\mu\text{g/l}$); en las aguas superficiales son menores aún (23,2 y 23 $\mu\text{g/l}$). Los valores máximos presentan la misma tendencia: 1.655 $\mu\text{g/l}$ en aguas del nivel freático, 107 $\mu\text{g/l}$ en niveles profundos, 76,9 $\mu\text{g/l}$ en pozos surgentes y 39 $\mu\text{g/l}$ en las aguas superficiales. Las referencias en aguas freáticas de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba son: contenido máximo, 3.810 $\mu\text{g/l}$, con una media de 418 $\mu\text{g/l}$ y una media geométrica de 164 $\mu\text{g/l}$ (Nicolli et al., 1985 y 1989). En el norte de La Pampa el contenido máximo llega a 5.280 $\mu\text{g/l}$ con una mediana de 140 $\mu\text{g/l}$ (Nicolli et al., 1997; Smedley et al., 1998).

Los contenidos de *vanadio* y *uranio* son también significativamente mayores en las aguas freáticas: valores máximos (V= 300 $\mu\text{g/l}$; U= 125 $\mu\text{g/l}$), media (V= 95,567 $\mu\text{g/l}$; U= 24,354 $\mu\text{g/l}$) y mediana (V= 77,25 $\mu\text{g/l}$; U= 14,2 $\mu\text{g/l}$). También en esos casos las referencias en las provincias de Córdoba y La Pampa indican contenidos significativamente más altos. En la primera de las áreas los contenidos máximos de V llegan a 1.715 $\mu\text{g/l}$ con una media de 457 $\mu\text{g/l}$ y una media geométrica de 281 $\mu\text{g/l}$; el contenido máximo de U llega a 166 $\mu\text{g/l}$, con media de 42,5 y media geométrica de 29,5 $\mu\text{g/l}$ (Nicolli et al., 1985 y 1989). En el norte de La Pampa son aún mayores: valor máximo de V, 5.430 $\mu\text{g/l}$, y mediana 540 $\mu\text{g/l}$; valor máximo de U, 248 $\mu\text{g/l}$, y mediana 31 $\mu\text{g/l}$ (Nicolli et al., 1997; Smedley et al., 1998).

En la cuenca del río Salí los contenidos de *boro* son muy variables pero, en general, *significativamente altos* en todos los grupos de aguas considerados, en particular, *el valor máximo en aguas freáticas*, 9.546 $\mu\text{g/l}$, y los valores de la

media (1.590,9 $\mu\text{g/l}$) y de la mediana (489,5 $\mu\text{g/l}$). Su distribución en las aguas freáticas puede observarse en la fig. 5. En los niveles profundos decrece significativamente (máximo: 1.399 $\mu\text{g/l}$; media: 304 $\mu\text{g/l}$ y mediana: 215,5 $\mu\text{g/l}$), al igual que en las aguas de pozos surgentes (máximo: 904 $\mu\text{g/l}$; media: 302,35 $\mu\text{g/l}$ y mediana: 225 $\mu\text{g/l}$); las aguas superficiales presentan un máximo de 674 $\mu\text{g/l}$, una media de 268,54 $\mu\text{g/l}$ y una mediana de 293 $\mu\text{g/l}$. Las determinaciones de boro en aguas freáticas del norte de La Pampa destacan 13.800 $\mu\text{g/l}$ como valor máximo, 2.960 $\mu\text{g/l}$ como mediana y 2.570 $\mu\text{g/l}$ como media geométrica (Nicolli et al., 1997; Smedley et al., 1998).

En cuanto a los otros oligoelementos, es necesario destacar que se prestó atención al *berilio*, con valores anómalos en aguas freáticas del norte de La Pampa (Nicolli et al., 1997; Smedley et al., 1998) pero *en todas las muestras de la cuenca del río Salí se encontraron contenidos por debajo del límite de detección* (0,1 $\mu\text{g/l}$).

El *selenio* no muestra diferencias significativas en los cuatro grupos de aguas considerados en la cuenca del Salí, siendo sus contenidos algo inferiores a los de las aguas en las provincias de Córdoba y La Pampa; en cambio, el *antimonio* presenta en aguas de niveles freáticos, un contenido máximo de 0,46 $\mu\text{g/l}$, con una media de 0,1769 $\mu\text{g/l}$ y una mediana de 0,17 $\mu\text{g/l}$, significativamente mayores que en aguas de niveles profundos, en pozos surgentes o en aguas superficiales. Pero, a la vez, esos valores son sensiblemente menores que en la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba (máximo 29,2 $\mu\text{g/l}$; media 3,99 $\mu\text{g/l}$ y media geométrica 2,38 $\mu\text{g/l}$; (Nicolli et al., 1985 y 1989). En el norte de La Pampa son significativamente menores (Smedley et al., 1998): máximo 0,92 $\mu\text{g/l}$; mediana 0,10 $\mu\text{g/l}$.

El *molibdeno*, por su parte, también presenta, en la cuenca del río Salí contenidos muy variables pero, en general, muy altos en aguas de niveles freáticos, con un valor máximo de 727 $\mu\text{g/l}$, una media de 70,374 $\mu\text{g/l}$ y una mediana de 10,85 $\mu\text{g/l}$. Esos valores son significativamente mayores que en las aguas de los otros grupos, pero inferiores a los del norte de La Pampa (máximo 991 $\mu\text{g/l}$; mediana 61 $\mu\text{g/l}$) (Nicolli et al., 1997; Smedley et al., 1998) y muy inferiores a los de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba (Nicolli et al., 1985 y 1989): máximo 6.280 $\mu\text{g/l}$, media 299 $\mu\text{g/l}$ y media geométrica 77,7 $\mu\text{g/l}$.

Cuando se considera el origen o la fuente de los oligoelementos presentes en las aguas de la cuenca, en particular en las de niveles freáticos, debe tenerse en cuenta la composición de los sedimentos. Se trata, en general, de limos areno-arcillosos o de arenas limo-arcillosas, con una alta proporción de componentes de origen piroclástico y de composición dacítica, en la mayor parte de los casos. Un buen ejemplo son las muestras del perfil analizado en

un pozo de agua de Los Pereyra (muestras LP 1 a LP 18, en tabla I). Esas muestras son similares a los sedimentos limo-loésicos de las áreas estudiadas en la Llanura Chaco Pampeana: llanura sudoriental de Córdoba (Nicolli *et al.*, 1985 y 1989) y norte de la provincia de La Pampa (Nicolli *et al.*, 1997; Smedley *et al.*, 1998). En los otros puntos de muestreo (barrancas del arroyo Las Tinajas y del río Marapa) las composiciones son más diversas.

Los componentes de origen volcánico de esos sedimentos, en especial los vidrios, son los que producen el aporte de los oligoelementos contaminantes, en particular, arsénico, flúor, selenio y antimonio, y los otros oligoelementos asociados (vanadio, uranio, boro y molibdeno). No se reconoce otra fuente de esos oligoelementos, como ocurre por ejemplo en Obuasi (Ghana) donde los sulfuros (principalmente arsenopirita) por procesos de oxidación, aportan fundamentalmente arsénico a las aguas (Smedley *et al.*, 1996).

Los procesos de lixiviación en los sedimentos limo-loésicos están favorecidos por el aumento en los valores del pH de las aguas y de los contenidos de bicarbonato, factores que facilitan la disolución de los vidrios volcánicos. En el caso de las aguas freáticas de la cuenca del Salí los valores de pH son altos (media: 7,51; mediana: 7,61; máximo: 8,72) y los contenidos de bicarbonato son, comparativamente, mucho mayores que en las aguas de los otros grupos. En efecto, en las aguas freáticas la media es 461,8 mg/l, la mediana 465,45 mg/l y el valor máximo 1.258,4 mg/l; esos valores son significativamente mayores que en las aguas de niveles profundos, de pozos surgentes o de aguas superficiales (ver tabla II). Correspondientemente, los contenidos medios, las medianas y los valores máximos de arsénico y flúor (y oligoelementos asociados) son significativamente mayores en las aguas freáticas.

En los niveles freáticos las aguas son fuertemente oxidantes (media de oxígeno disuelto: 3,5 mg O₂/l, máximo: 6,1 mg O₂/l; media de Eh: 289,3 mV, máximo: 445 mV). También lo son las aguas de los otros grupos. En esos medios, la especie con el estado de oxidación mayor del arsénico (As^V) debe dominar claramente sobre la otra especie presente (As^{III}) favoreciendo la migración de ese oligoelemento. Esa gran movilidad puede estar limitada, únicamente, por la capacidad de sorción de ciertos minerales, fenómeno que será descrito en el punto índices de saturación.

Índices de saturación

Oportunas comparaciones pueden efectuarse entre los cuatro grupos de aguas considerados, si se atiende a su composición media y si se apela, en cada caso, a los cálculos de índices de saturación. Para tal propósito se recurrió al programa de computación PHREEQC (Parkhurst, 1995)

que calcula los índices de saturación para cada especie considerada, basada en sus constantes de equilibrio cuyos valores logarítmicos se consignan.

La tabla III incluye los valores obtenidos destacando que, en las aguas freáticas, se han calculado 16 fases que se presentan como sobresaturadas. En orden decreciente de los índices de saturación, ellas son: hematita, mica potásica, gohetita, caolinita, montmorillonita cálcica, illita, Fe(OH)₃(a), feldespato potásico, gibbsita, albita, cuarzo, dolomita, calcita, aragonita, calcedonia y rodocrosita.

En las aguas de niveles profundos, excepto albita y rodocrosita, se presentan las mismas fases sobresaturadas, a las que se agrega talco. En las aguas de pozos surgentes son dos menos las fases sobresaturadas (montmorillonita cálcica y gibbsita).

En las aguas superficiales son 17 las fases sobresaturadas: hematita, gohetita, mica potásica, caolinita, Fe(OH)₃(a), montmorillonita cálcica, illita, talco, dolomita, cuarzo, feldespato potásico, rodocrosita, calcita, siderita, gibbsita, aragonita y calcedonia.

Es muy importante consignar que, mediante estos cálculos, se ha podido comprobar lo que, experimentalmente, se ha precisado en otras áreas de la Llanura Chaco Pampeana, como la presencia de variadas especies minerales con una alta capacidad de sorción. A la ocurrencia de caolinita, montmorillonita cálcica e illita se le agrega la presencia de óxidos y oxihidróxidos de aluminio y hierro, también con una alta capacidad de sorción, como gibbsita, hematita y gohetita. Estas especies juegan un papel fundamental en la distribución de arsénico y otros oligoelementos, en particular en los acuíferos freáticos, ya que su presencia restringe la movilidad de los oligoelementos contaminantes por su capacidad de sorción y, en consecuencia, regulan su distribución en las aguas de esos acuíferos.

4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

En la evaluación de la calidad del agua de la cuenca del río Salí es fundamental la consideración de los contenidos de oligoelementos presentes. El flúor, considerado como un elemento esencial para la salud humana, para la prevención de caries dentales es adicionado a pastas dentífricas y al agua potable. En aguas de bebida, son valores tolerables los que no superan 1.500 µg/l. Este valor se considera como máximo en las normas de la Organización Mundial de la Salud (W.H.O., 1993) para aguas de consumo humano. El mismo valor, como máxima concentración admisible, ha sido adoptado por la CEC (Comisión para las Comunidades Europeas). El establecimiento de tales límites se debe a que la ingesta de agua con contenidos de flúor más altos es perjudicial, ya que puede provocar fluorosis dental (dientes moteados, castaño amarillentos o castaño oscuros, dependiendo del avance de la enfermedad) o fluorosis

TABLA III: ÍNDICES DE SATURACIÓN

Fase	Aguas de los niveles freáticos			Aguas de niveles profundos			Aguas de pozos surgentes			Aguas de niveles superficiales		
	SI	Log IAP	Log KT	SI	Log IAP	Log KT	SI	Log IAP	Log KT	SI	Log IAP	Log KT
Al(OH) ₃ (a)	-1,27	9,76	11,02	-2,43	8,42	10,86	-2,86	7,78	10,64	-2,26	8,32	10,57
Albira	0,81	5,61	4,80	-1,03	3,67	4,70	-1,54	3,02	4,56	-1,20	3,33	4,52
Alumina	-1,78	-2,75	-0,98	-8,04	-9,33	-1,29	-10,63	-12,34	-1,71	-7,58	-9,41	-1,83
Anhidrita	-1,72	-6,07	-4,35	-2,47	-6,83	-4,36	-2,58	6,95	-4,37	-2,58	-6,96	-4,38
Anortita	-1,29	24,94	26,23	-3,22	22,56	25,78	-3,68	21,50	25,17	-2,73	22,26	24,99
Aragonita	0,35	-7,97	-8,32	-0,27	-8,06	-8,33	0,29	-8,06	-8,35	0,32	-8,04	-8,36
Montmorillonita-Ca	4,59	12,71	8,12	1,47	9,34	7,87	-0,12	7,41	7,54	1,55	8,99	7,44
Calceita	0,50	-7,97	-8,46	0,41	-8,06	-8,47	0,44	-8,06	-8,49	0,46	-8,04	-8,50
Calcedonia	0,32	-3,27	-3,59	0,20	-3,36	-3,56	0,02	-3,50	-3,52	0,12	-3,39	-3,51
Clorita (14 A)	-2,13	67,53	69,66	-2,42	66,29	68,72	-1,37	66,09	67,46	-0,97	66,11	67,08
Crisolito	-4,47	28,16	32,63	-3,32	28,99	32,31	-2,27	29,62	31,89	-2,76	29,01	31,77
CO ₂ (g)	-1,77	-19,93	-18,16	-2,35	-20,30	-18,15	-2,85	-20,99	-18,14	-2,30	-20,45	-18,14
Dolomita	0,68	-16,33	-17,01	0,41	-16,65	-17,07	0,30	-16,85	-17,15	0,61	-16,56	-17,17
Fe(OH) ₃ (a)	2,65	20,64	17,99	2,26	20,20	17,93	1,95	19,81	17,85	1,87	19,70	17,83
Fluorita	-1,29	-11,93	-10,64	-1,66	-12,27	-10,61	-1,85	-12,42	-10,57	-2,36	-12,92	-10,56
Gibbsita	1,45	9,76	8,30	0,26	8,42	8,16	-0,19	7,78	7,97	0,40	8,32	7,91
Gohertia	8,41	20,64	12,22	8,12	20,20	12,07	7,93	19,81	11,87	7,88	19,70	11,81
Yeso	-1,49	-6,07	-4,58	-2,24	-6,83	-4,58	-2,37	-6,95	-4,58	-2,38	-6,96	-4,58
H ₂ (g)	-24,58	-24,58	0,00	-25,74	-25,74	0,00	-25,74	-25,74	0,00	-19,53	-19,53	0,00
Hausmannita	-10,23	51,65	61,88	-12,04	49,21	61,25	-7,08	53,34	60,42	-11,31	48,85	60,17
Hernatita	18,82	41,28	22,46	18,25	40,39	22,14	17,89	39,61	21,73	17,79	39,39	21,60
Illita	4,09	16,32	12,22	0,98	12,93	11,96	-0,45	11,16	11,60	1,38	12,88	11,50
Jarosit-K	-0,46	29,90	30,36	-4,00	25,99	29,98	-5,74	23,74	29,48	-4,60	24,73	29,33
Feldespat-K	1,81	4,00	2,19	0,14	2,25	2,12	-0,64	1,38	2,02	0,53	2,52	1,99
Mica-K	10,30	23,51	13,21	6,27	19,10	12,83	4,60	16,94	12,34	6,96	19,16	12,19
Kaolinita	5,24	12,97	7,73	2,61	10,12	7,51	1,34	8,56	7,22	2,72	9,86	7,13
Manganita	-4,03	21,31	25,34	-4,65	20,69	25,34	-3,27	22,07	25,34	-5,80	19,54	25,34
Melanterita	-7,43	-9,69	-2,25	-9,71	-11,93	-2,22	-10,77	-12,95	-2,18	-7,27	-9,43	-2,17
O ₂ (g)	-35,12	49,16	84,28	-31,94	51,48	83,42	-30,81	51,48	82,29	-42,89	39,06	81,95
Piroclita	-6,18	9,02	15,20	-7,38	7,82	15,20	-6,00	9,20	15,20	-5,43	9,77	15,20
Pirolucita	-8,33	33,60	41,93	-7,96	33,56	41,52	-6,04	34,94	40,98	-11,52	29,30	40,82
Cuarzo	0,76	-3,27	-4,03	0,63	-3,36	-3,99	0,44	-3,50	-3,94	0,54	-3,39	-3,93
Rodocrosita	0,21	-10,91	-11,12	-1,55	-12,67	-11,13	-0,66	-11,80	-11,14	0,47	-10,67	-11,14
Sepiolita	-2,53	13,32	15,85	-2,06	13,73	15,78	-1,78	13,91	15,69	-1,98	13,69	15,67
Sepiolita (d)	-5,34	13,32	18,66	-4,93	13,73	18,66	-4,75	13,91	18,66	-4,97	13,69	18,66
Siderita	-0,71	-11,58	-10,87	-2,29	-13,17	-10,88	-3,15	-14,06	-10,91	0,40	-10,51	-10,91
SiO ₂ (a)	-0,53	-3,27	-2,74	-0,64	-3,36	-2,72	-0,81	-3,50	-2,69	-0,70	-3,39	-2,68
Talco	-0,17	21,62	21,79	0,77	22,27	21,50	1,50	22,62	21,12	1,23	22,23	21,00

en huesos. La *fluorosis dental* implica no sólo decoloración del esmalte dental sino debilitamiento o eventual pérdida de piezas dentarias, en general por ingesta crónica de flúor en agua de bebida con concentraciones superiores a 2.000 µg/l. Tales condiciones afectan el crecimiento normal de los dientes y, por lo tanto, sus efectos son más pronunciados en niños de corta edad, aunque también se hace sentir en adultos. La fluorosis ósea, menos común, se hace presente, en general, en poblaciones expuestas al consumo de aguas con contenidos mayores que 5.000 µg/l. Se manifiesta por mayor fragilidad ósea, en particular de miembros y columna, y mayores tiempos de curación de fracturas.

Si se considera el efecto del flúor, más que un 16% de las muestras estudiadas están fuera de norma en las aguas del nivel freático. Ellas son los números 93, 95, 98, 169, 174 y 175, correspondiendo el contenido máximo (3.790 µg/l) a la muestra 85 (ver fig. 3). En tanto que sólo un 3,7% de las aguas de niveles profundos están en esas condiciones (muestra 184: 7.340 µg/l) y un 11,8% de las aguas de los pozos surgentes (muestras 57 y 155). Las aguas superficiales presentan un máximo de 582 µg/l (muestra 260).

El *arsénico* es tóxico y carcinogénico (Brown *et al.*, 1989). Consecuentemente, la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) y la CEC (Commission for the European Communities, 1980) establecen en 50 microgramos por litro el contenido máximo de arsénico en aguas de bebida. Sin embargo la OMS (Organización Mundial de la Salud) ha reducido el límite recomendado a un *valor provisional de 10 microgramos por litro* (W.H.O., 1993) que modifica la norma anterior (W.H.O., 1981) en atención a las últimas investigaciones que destacan el riesgo de contraer cáncer por consumo de agua con contenidos mayores. Estas normas han sido largamente discutidas: muchos investigadores han promovido la reducción de los límites, establecidos por la USEPA, hasta los valores recomendados por la OMS. Algunos van mucho más allá, tratando de que se establezcan límites tan bajos como 2 microgramos por litro, tal como se ha discutido en un artículo editorial de la revista *Epidemiology* (Cantor, 1996).

Las enfermedades de la piel son los más típicos y numerosos casos de patologías por exposición crónica al arsénico contenido en aguas de bebida. Las primeras manifestaciones son desórdenes en la pigmentación e hiperqueratosis; luego se desarrollan variados tipos de carcinomas primarios (células escamosas, células basales o quistes adenoideos) pero están excluidos los melanomas (Besuschio *et al.*, 1980). También se ha visto que son comunes las manifestaciones internas en el árbol respiratorio y el árbol urinario del cuerpo humano, en particular en membranas de mucosas del estómago, lengua, mucosa oral, mucosa de vejiga, etc.

Al respecto, el establecimiento de un límite adecuado

ha constituido un problema espinoso, en cuanto a la evaluación del riesgo; la determinación de un nivel de seguridad del arsénico en agua potable, si existe, es controvertido. Las nuevas evidencias de cánceres internos (particularmente de vejiga, pulmones, riñones e hígado) surgen de varios estudios relacionados provenientes del sudoeste de Taiwan (Chen *et al.*, 1988; Chen y Wang, 1990; Chen *et al.*, 1992; Chion *et al.*, 1995). Se ha calculado el riesgo de vida por cáncer de hígado, pulmón, riñón o vejiga, suponiendo un consumo de un litro diario de agua con 50 microgramos de arsénico y se ha demostrado que, para el caso de cánceres de vejiga, supera ampliamente el nivel aceptable de exposición para cancerígenos ambientales (Smith *et al.*, 1992). Esos hallazgos apoyan el establecimiento de una norma más estricta en los Estados Unidos.

Más que un 45% de las muestras de aguas freáticas de la cuenca del río Salí tienen contenidos que exceden los límites establecidos para arsénico por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (ver fig. 4). Los mayores valores comprobados son 583 µg/l (muestra 95), 1.654 µg/l (muestra 153) y 1.655 µg/l (muestra 81). En las aguas de niveles profundos un 22% de las muestras exceden ese límite (máximo 107 µg/l en la muestra 184) y en aguas de pozos surgentes un 35% están fuera de norma (máximo 76,9 µg/l en la muestra 57). Las aguas superficiales cumplen con las normas de la USEPA (1999) con un máximo de 39 µg/l en la muestra 259.

Las normas de la USEPA establecen como límite máximo de selenio los 50 µg/l, siendo 9 µg/l el valor máximo encontrado en aguas freáticas de la cuenca del río Salí. Otro tanto ocurre con el antimonio, con un valor máximo establecido por la USEPA en 6 µg/l, siendo el valor máximo, encontrado en esa cuenca, de 0,46 µg/l (nivel freático). Para V, U, B y Mo no se han dado a conocer normas restrictivas de la USEPA.

Una mención especial merecen los contenidos de *cro-mo* en las aguas de la cuenca, tomando en consideración las normas de la USEPA (1999) que establecen como *valor máximo* 100 µg/l. En las aguas del nivel freático la media alcanza los 160,7 µg/l con un valor mínimo de 79,4 µg/l y máximo de 232 µg/l. Su distribución puede observarse en la fig.6. En las aguas de niveles profundos (mínimo: 129 µg/l, máximo: 250 µg/l) el valor de la media es 196,8 µg/l. Las aguas de pozos surgentes presentan un mínimo de 110 µg/l, un máximo de 218 µg/l y una media de 177,6 µg/l. En las aguas superficiales (mínimo: 112 µg/l, máximo: 165 µg/l) la media alcanza 146,9 µg/l. Como puede apreciarse, el panorama es preocupante, por cuanto es muy alta la proporción de muestras fuera de las normas: la totalidad de las muestras de aguas superficiales, de niveles profundos y de pozos surgentes y, de las 42 muestras de aguas freáticas, sólo 5 (es decir un 11,9%) cumplen con las normas. En este caso, causas antrópicas son las que provocan el fenómeno (falta de control de efluentes o vertidos directos por parte de industrias, en

FIGURA 3: DISTRIBUCIÓN DE FLÚOR EN AGUAS FREÁTICAS

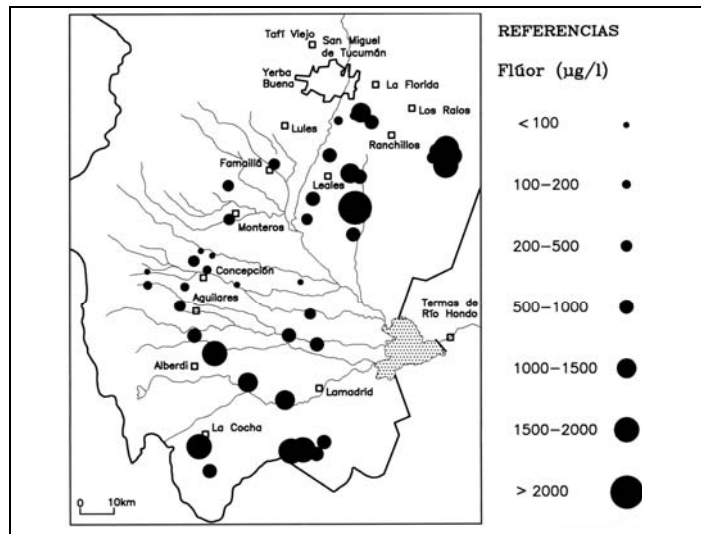


FIGURA 4: DISTRIBUCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS FREÁTICAS

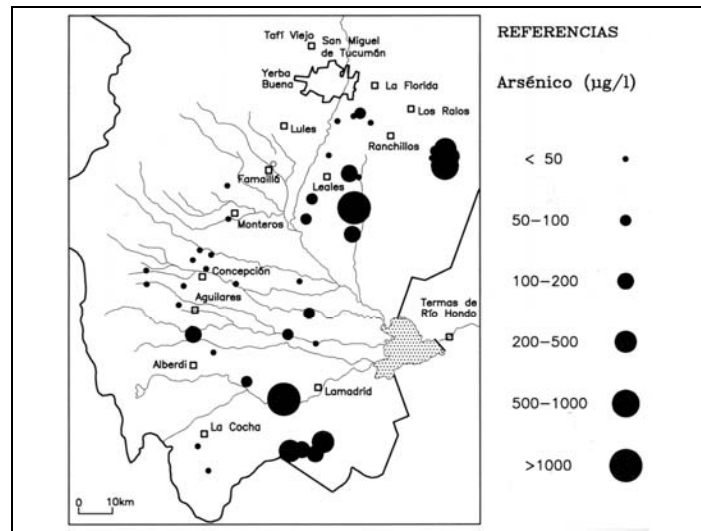


FIGURA 5: DISTRIBUCIÓN DE BORO EN AGUAS FREÁTICAS

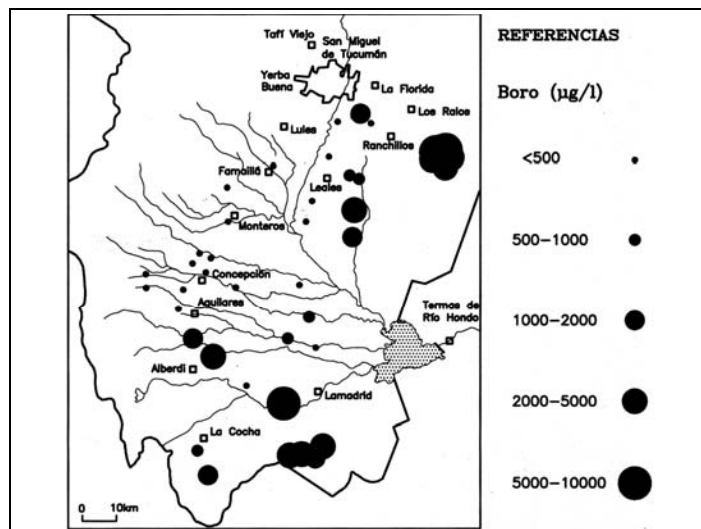
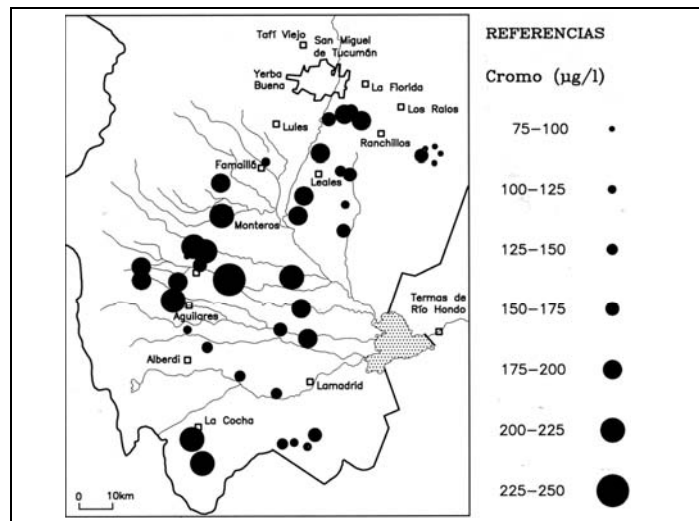


FIGURA 6: DISTRIBUCIÓN DE CROMO EN AGUAS FREÁTICAS



diversos lugares). Por otra parte, como se trata, en todos los grupos de aguas considerados, de aguas oxidantes, el cromo se presenta con el estado de oxidación mayor (Cr^{VI}) predominando sobre la forma trivalente (Cr^{III}) y, en consecuencia, la movilidad de este oligoelemento en esos medios es máxima. La aparición de *dermatitis alérgicas*, y otras patologías asociadas, suelen relacionarse con la ingesta de agua con altos contenidos de cromo.

Si se examina los valores correspondientes a los sólidos totales disueltos (S.T.D.) se comprueba la extrema variabilidad de las aguas freáticas de la cuenca (van de 164,6 a 9238 µg/l). Los límites de los tipos de aguas de acuerdo con los contenidos de S.T.D. y los de los valores de dureza, son los establecidos por el U.S. Geological Survey (*Hem, 1985*). La media (1.734,8 µg/l) y la mediana (1.195,8 µg/l) corresponden a aguas ligeramente salinas, en tanto que un 40,5% de las muestras son aguas no salinas, un 45,2% son aguas ligeramente salinas y un 14,3% son aguas moderadamente salinas. Considerando los valores de dureza, se define una gran variabilidad, con valores extremos en 36,6 y 1.373,2 mg $CaCO_3/l$; un 9,5% de las aguas freáticas son blandas, un 21,4% aguas moderadamente duras, un 14,3% aguas duras y un 54,8% aguas muy duras. En las aguas de niveles profundos, la variabilidad en los valores de S.T.D. es menor: entre 145,6 y 1.245,8 mg/l con una media de 569,82 mg/l y una mediana de 577,3 mg/l (aguas no salinas) valores significativamente menores que en las aguas freáticas. Un 92,3% de las muestras son no salinas y un 7,7% ligeramente salinas.

Para analizar la calidad de las aguas en atención a los contenidos de iones mayoritarios, deben tomarse en cuenta las normas complementarias de la USEPA (*Secondary Standard*) que limitan los contenidos de sulfato y cloruro a 250 mg/l y los S.T.D. a 500 mg/l. Consecuentemente, los valores de la media para sulfato, 523,35 mg/l en aguas freáticas y un valor máximo de 5.788 mg/l (23 veces el límite) indican que hay una alta proporción de muestras fue-

ra de norma (23,8%); si se considera la media de contenidos de cloruro (154,48 mg/l) con un contenido máximo de 1.100 mg/l se comprueba que existe una menor proporción fuera de normas (19,0%). Estos valores y proporciones son mucho mayores que en aguas de niveles profundos: la media de sulfato es 87,325 mg/l y sólo un 2,4% está fuera de norma. La media de cloruro es de sólo 56,131 mg/l, y todas las muestras están dentro de la norma. Si se consideran los contenidos de S.T.D., entre las aguas freáticas (media: 1734,8 mg/l) un 23,8% están comprendidas en la norma, en tanto que en las aguas profundas (media: 569,82 mg/l) un 42,3% entran en la misma norma.

Contaminación de las aguas superficiales

La Dirección General de Saneamiento Ambiental (DGSA) del Sistema Provincial de Salud (SIPROSA) de la provincia de Tucumán realizó un seguimiento de DBO (demanda biológica de oxígeno) y oxígeno disuelto, en algunos cursos superficiales de la cuenca entre 1991-94 y 1997. Los resultados se consignan en un informe interno (*Luján, 1997*) en el que se expresa el deterioro progresivo de la calidad del agua en diversos puntos del río Salí, por la relación entre DBO de los años 1991 y 1997, que en algunos casos crece según el factor 10. Contrariamente, el mismo parámetro muestra una mejoría en 1997 en diversos puntos de algunos de sus tributarios (ríos Gastona, Colorado, Seco y Chico).

Analizando los valores de oxígeno disuelto medidos en el presente trabajo, en las aguas del río Salí se comprueba la gravedad de la situación ya que, en los puntos controlados, los valores son muy bajos: 1,0 mg/l en San Miguel de Tucumán (puente autopista – Los Vázquez) y 0,0 en los otros puntos de control (puente sobre ruta provincial 323 y Los Britos, sobre margen izquierdo, antes de su desembocadura en embalse de Río Hondo), valores que coinciden con las medidas de *Luján (1997)*. Hay cursos que tienen valores también muy bajos: río Seco (0,11 mg/l),

río Colorado (0,61 mg/l) y río Gastona (0,89 mg/l); algunos, valores mayores (río Balderrama: 2,5 mg/l; río Chico: 2,8 mg/l) y otros, mayores aún (arroyo Matazambi: 3,37 mg/l; río Marapa: 4,4 mg/l). En el embalse de Río Hondo se registra 4,2 mg/l y los valores más grandes en río Lules (6 mg/l) y río Dulce (6,9 mg/l).

Por primera vez se han determinado, en aguas de la cuenca, los valores del potencial redox (Eh). Se destacan los muy bajos valores encontrados en las aguas superficiales (media: 7,38 mV) y la aparición de valores negativos (mínimo: -221 mV); éste corresponde al río Salí (San Miguel de Tucumán, puente sobre autopista-Los Vázquez). Los otros valores negativos corresponden al río Salí (puente sobre ruta provincial 323 y Los Britos, con -201 y -155 mV, respectivamente) y al río Colorado (puente sobre ruta nacional 157, con -144 mV). Se encontraron otros valores muy bajos (26 a 86 mV) en los ríos Balderrama, Seco y Chico, y bajos (101 a 140 mV) en el arroyo Matazambi, y ríos Marapa y Dulce. En el embalse de Río Hondo se registró un Eh de 140 mV y el mayor valor corresponde al río Lules (196 mV).

Los valores de D.Q.O. (demanda química de oxígeno) son muy altos en todas las aguas superficiales muestreadas. El máximo, 46,2 mg/l, corresponde también al río Salí (San Miguel de Tucumán) y el mínimo al río Lules (1,66 mg/l); la media, 13,417 mg/l, es significativamente mayor que la correspondiente a los otros grupos de aguas de la cuenca (aguas freáticas: 1,70 mg/l; aguas de niveles profundos: 0,49 mg/l; aguas de pozos surgentes: 0,41 mg/l).

Los muy significativos cambios observados en este grupo de parámetros considerados en las aguas superficiales (oxígeno disuelto, Eh y D.Q.O.) deben atribuirse a la fuerte carga contaminante vertida, en general, sin mayores controles, en los efluentes de las plantas industriales (citrícolas, embotelladoras, papeleras, textiles y primordialmente, frigoríficos, ingenios azucareros y destilerías de alcohol). Debe tenerse en cuenta que el muestreo de aguas se verificó en octubre-noviembre de 1998, época coincidente con la zafra azucarera, cuando los vertidos de esos establecimientos son mayores.

5. CONCLUSIONES

De la evaluación de todos los parámetros y iones analizados, así como de los contenidos de oligoelementos, surgen las considerables diferencias que existen entre los distintos grupos de aguas considerados durante la presente investigación en la cuenca del río Salí.

- Las aguas de los niveles freáticos presentan, en general, valores de esos parámetros o contenidos de arsénico y flúor que las colocan fuera de las normas para aguas de bebida. En efecto, más del 45% de las aguas

freáticas están fuera de las normas de la USEPA, con valores máximos que llegan a 1.655 µg/l (más de 33 veces el límite máximo); 16% de esas aguas están fuera de esas normas si consideramos sus contenidos de flúor, cuyo valor máximo alcanza a 3.790 µg/l (más que el doble del límite máximo).

- En atención a los contenidos de los mismos oligoelementos, se observa también el deterioro de las aguas de niveles profundos y de pozos surgentes, ya que un 22 y un 35% de las muestras de esos grupos de aguas, respectivamente, están fuera de las normas de la USEPA para arsénico, con valores máximos que llegan a 76,9 µg/l en los pozos surgentes y a 107 µg/l en los acuíferos profundos. Si se consideran los contenidos de flúor, sólo una pequeña proporción de las aguas de pozos profundos quedan fuera de norma (3,7%) con un máximo muy alto (7.340 µg/l) y un 11,8% de las aguas de pozos surgentes están en idéntica condición, con un máximo de 2170 µg/l (casi un 45% más que el límite máximo). Todas las aguas superficiales cumplen con las normas de la USEPA si se toman en consideración los contenidos de flúor y arsénico.
- Si bien no se han dado a conocer normas de la USEPA para vanadio, uranio, boro y molibdeno, es necesario poner de manifiesto que sus contenidos son considerablemente inferiores a otras áreas estudiadas en la Llanura Chaco Pampeana. No obstante, se destacan los altos contenidos de boro, en particular en aguas freáticas (máximo: 9.546 µg/l; media: 1.590,9 µg/l) que decrece significativamente en aguas de pozos profundos (máximo: 1.399 µg/l; media: 304 µg/l) y de pozos surgentes (máximo: 904 µg/l; media: 302,35 µg/l). En las aguas superficiales los valores son menores aún.
- Las aguas de los cuatro grupos considerados cumplen las normas de la USEPA en cuanto a sus contenidos de selenio y antimonio. El primero no muestra diferencias significativas en esos grupos, en tanto que el antimonio presenta valores significativamente mayores en las aguas freáticas.
- De manera análoga a otras áreas estudiadas en la Llanura Chaco Pampeana, los componentes piroclásticos de los sedimentos limo-loésicos (en particular los vidrios volcánicos) constituyen la fuente de flúor, arsénico y otros oligoelementos contaminantes (selenio y antimonio) y de oligoelementos asociados (vanadio, uranio, boro, molibdeno). Tales sedimentos son mayoritariamente de composición dacítica (perforación en área de Los Pereyra) produciéndose variaciones de composición en otras áreas. Los procesos de lixiviación en los sedimentos limo-loésicos

están favorecidos por el aumento del pH y de los contenidos de bicarbonato en las aguas, fenómeno más agudizado en las aguas freáticas (media del pH: 7,51, máximo: 8,72; media de bicarbonato: 461,8 mg/l, máximo: 1.258,4 mg/l).

- En aguas universalmente oxidantes en todos los niveles (en las freáticas los máximos son 6,1 mg O₂/l y 445 mV como valor de Eh; medias: 3,5 mg O₂/l y 289,3 mV, respectivamente) la especie con el estado de oxidación mayor del arsénico (As^V) domina claramente sobre la otra especie presente (As^{III}) favoreciendo la migración de ese oligoelemento. Un factor de control se ha determinado para esos medios, por el cálculo de los índices de saturación de los cuatro grupos de aguas que revela la ocurrencia de fases minerales con una alta capacidad de sorción, como minerales de las arcillas (caolinita, montmorillonita cálcica e illita) y óxidos y oxihidróxidos de aluminio y hierro (gibbsita, hematita y gohetita). Esas especies juegan un papel primordial en la distribución del arsénico (y otros oligoelementos asociados, como selenio, antimonio y uranio) ya que su presencia limita la gran movilidad de esos oligoelementos y, consecuentemente, regulan su distribución en las aguas.
- Una mención especial merece la contaminación con cromo, generalizada en todas las aguas de la cuenca del río Salí, no sólo por la magnitud de los contenidos, sino por su naturaleza, claramente de origen antrópica, a diferencia de los procesos naturales

que dan origen a las fuertes anomalías observadas en la distribución de arsénico y flúor. La totalidad de las muestras correspondientes a niveles profundos, a pozos surgentes y a aguas superficiales y más que un 88% de las aguas freáticas, están fuera de las normas de la USEPA (contenido máximo: 100 µg/l). Esta contaminación generalizada en toda la cuenca se explica por el hecho de que, aún cuando las fuentes sean pocas y puntuales, en un ambiente con aguas francamente oxidantes en todos los niveles, el cromo se presenta con su estado de oxidación mayor (Cr^{VI}) y, en consecuencia, su movilidad en esos medios es máxima.

- Los contenidos de cromo en las aguas de niveles profundos presentan una media de 196,8 µg/l y un máximo de 250 µg/l; las aguas de pozos surgentes tienen una media de 177,6 µg/l y un máximo de 218 µg/l; en las aguas freáticas la media es 160,7 µg/l y el valor máximo es 232 µg/l, y las aguas superficiales presentan una media de 146,9 µg/l, con un valor máximo de 165 µg/l.

6. AGRADECIMIENTOS

Parte de los gastos originados por la presente investigación han sido atendidos con fondos de un subsidio del CONICET otorgado para el desarrollo del proyecto "Contaminación con arsénico, selenio y flúor en cuencas hídricas chacopampeanas" (PIP N° 4430).

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATERWORKS ASSOCIATION (AWWA) Y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF), 1992.
Métodos normalizados para el análisis para aguas potables y residuales.
Trad. del Inglés, Ed. Díaz de Santos, Barcelona, 760 p.
- BESUSCHIO, S. C., A.C. PÉREZ DESANZO Y M. CROCCI, 1980.
Epidemiological Associations Between Arsenic and Cancer in Argentina.
Biolog Trace Element Res., v. 3, p. 41-55.
- BROWN, K.G., K.E. BOYLE, C.W. CHEN Y H.J. GIBB, 1989.
A dose-response analysis of skin cancer from inorganic arsenic in drinking water.
Risk Anal., v. 9, p. 519-528.
- CANTOR, K.P., 1996.
Arsenic in Drinking Water: How Much is Too Much?
Epidemiology, v. 7, p. 113-114.
- CHEN, C.J. Y C.J. WANG, 1990.
Ecological correlation between arsenic level in well water and age adjustment mortality from malignant neoplasms.
Cancer Res., v. 50, p. 5470-5474.
- CHEN, C.J., T.L. KUO Y M.M. WU, 1988.
Arsenic and cancers (Letter).
Lancet, v. 1, p. 414-415.

- CHEN C.J., C.W. CHEN, M.M. WU Y T.L. KUO, 1992.
Cancer potential in liver, lung, bladder and kidney due to ingested inorganic arsenic in drinking water.
Br.J. Cancer, v.66, p. 888-892.
- CHEN, S.-L., S.R. DZENG, M.-H. YANG, K.-H. CHIU, G.-M. SHIEH Y C.M. WAI, 1996.
Arsenic species in groundwaters of the Blackfoot disease area, Taiwan.
Environ. Sci. Technol., v. 28, p. 877-881.
- CHIOU H.Y., Y.M. HSUEH, K.F. LIAW, S.F. HORNG, M.H. CHIANG, Y.S. PU, J.S.N. LIN, C.H. HUANG Y C.J. CHEN, 1995.
Incidence of internal cancers and ingested inorganic arsenic: a seven-year follow-up study in Taiwan.
Cancer Res., v. 55, p. 1296-1300.
- FERGUSON, J.E., 1990.
The Heavy Elements Chemistry, Environmental Impact and Health Effects.
Pergamon, N.York, 614 p.
- GONZÁLEZ, J.A., 1999.
El estado ambiental en Tucumán y su incidencia en la economía provincial.
Gerencia Ambiental, año 6, N° 60, p. 694-699.
- HEM, J.D., 1985.
Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.
U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 264 p.
- HOPENHAYN-RICH, C., M.L. BIGGS, A. FUCHS, R. BERGOGLIO, E. TELLO, H. B. NICOLLI Y A.H. SMITH, 1996.
Bladder Cancer Mortality Associated With Arsenic in Drinking Water in Córdoba, Argentina.
Epidemiology, v. 7, p. 117-124.
- LUJÁN, J.C., 1997.
Informe sobre la contaminación de algunos puntos críticos del río Salí y sus tributarios y su relación con los efluentes industriales líquidos (comparación entre 1991-95 y 1997).
Inf. técnico int. SI.PRO.SA., Dirección Gral. de Saneamiento Ambiental, S.M. de Tucumán, 6 p.
- NICOLLI, H.B., T.E. O'CONNOR, J.M. SURIANO, M.M.L. KOUKHARSKY, M.A. GOMEZ PERAL, L.M. BERTINI, I.M. COHEN, L.I. CORRADI, O.A. BALEANI Y E.G. ABRIL, 1985.
Geoquímica del arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba.
Miscelánea n° 71, Acad. Nac. Ciencias, Córdoba, 112 p.
- NICOLLI, H.B., J.M. SURIANO, M.A. GOMEZ PERAL, L.H. FERPOZZI Y O.M. BALEANI, 1989.
Groundwater Contamination With Arsenic and Other Trace Elements in an Area of the Pampa, Province of Córdoba, Argentina.
Environ. Geol. Water Sci., v. 14, p. 3-16.
- NICOLLI, H.B., P.L. SMEDLEY Y J.O. TULLIO, 1997.
Aguas subterráneas con altos contenidos de flúor, arsénico y otros oligoelementos en el norte de la provincia de La Pampa: estudio preliminar.
Cong. Int. sobre Aguas y Workshop sobre Química Ambiental y Salud, III-40, Buenos Aires.
- PARKHURST, D.L., 1995.
User's guide to PHREEQC-A computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations.
U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4227, 151 p.
- SMEDLEY, P.L., W.M. EDMUNDS Y K.B. PELIG-BA, 1996.
Mobility of arsenic in groundwater in the Obuasi gold-mining area of Ghana: some implications for human health.
En: J.D. Appleton, R. Fuge y G.J.H. McCall (eds), Environmental Geochemistry and Health, Geological Society Sp. Publication N° 113, p. 163-181.

- SMEDLEY, P.L., H.B. NICOLLI, A.J. BARROS Y J.O. TULLIO, 1998.
Origin and mobility of arsenic in groundwater from the Pampean Plain, Argentina.
Proceedings 9th Symp. on Water-Rock Interaction, Taupo, N. Zealand. E.B. Arehart y J.R. Hulston (eds.); A.A. Balkema, Rotterdam, p. 275-278.
- SMITH, A.H., C. HOPENHAYN-RICH, M.N. BATES, H.M. GOEDEN, I. HERTZ-PICCIOTO, H.M. DUGGAN, R. WOOD, M.J. KOSNET Y M.T. SMITH, 1992.
Cancer risks from arsenic in drinking water.
Environ. Health Perspect., v. 97, p. 259-267.
- STAPPENBECK, R., 1915.
Las Aguas Subterráneas del Sur de la Provincia de Tucumán.
Boletín Oficial de la Casa de Gobierno de la Provincia de Tucumán, t. 17, p. 1-37; Tucumán.
- STAPPENBECK, R., 1916.
El Agua Subterránea en el Cono de Deyección de Tucumán.
Boletín Oficial de la Casa de Gobierno de la Provincia de Tucumán, N° 5; Tucumán.
- STAPPENBECK, R., 1921.
Reseña hidrogeológica del nordeste de la provincia de Tucumán y partes adyacentes.
Dirección General de Mineralogía, Geología e Hidrología, t. 1, p. 215-227; Buenos Aires.
- TINEO, A., J. GARCÍA, C. FALCÓN, C. D'URSO Y G. RODRIGUEZ, 1995.
Hidrogeología del cono aluvial del río Salí, provincia de Tucumán, Argentina.
9° Cong. Latinoamericano de Geología, Caracas.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1982.
Maximum contaminant levels (subpart B of part 141, National interim primary drinking-water regulations).
U.S. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 100 to 149, revised as of July 1, 1982, p. 315-318.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1993 a.
Subsurface Characterization and Monitoring Techniques.
A Desk Reference Guide Volume I: Solids and Ground Water, Appendices A and B. EPA/625/R-93/003 a.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1993 b.
Subsurface Characterization and Monitoring Techniques.
A Desk Reference Guide Volume II: The Vadose Zone, Field Screening and Analytical Methods, Appendices C and D. EPA/625/R-93/003 b.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1999.
Current Drinking Water Standards, National Primary and Secondary Drinking Water Regulations.
EPA, Office of Ground Water and Drinking Water, 9 p.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 1979.
Methods for determination of inorganic substances in water and fluvial sediments.
En: M.W. Skougstad, M.J. Fishman, L.C. Friedman, D.E. Erdmann, y S.S. Duncan (eds.), U.S. Geol. Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 5, chapter A 1, 626 p.
- W.H.O., 1981.
Environmental Health Criteria 18: Arsenic.
World Health Organisation, Geneva.
- W.H.O., 1993.
Guidelines for drinking-water quality.
Volume I: Recommendations. Second edition, World Health Organisation, Geneva.
- WOOD, W.W., 1976.
Guidelines for collection and field analysis of groundwater samples for selected unstable constituents.
U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 1, chapter D 2, 24 p.



Ordenamiento territorial de la reserva hídrica de Finca Las Costas en base a sus características geoambientales

Núñez, Virgilio ³ - Marcuzzi, Jorge J. ^{1,2} - Torrejón, David E. ^{1,2} - Bejerman, Norberto J. ^{2,4}

Resumen

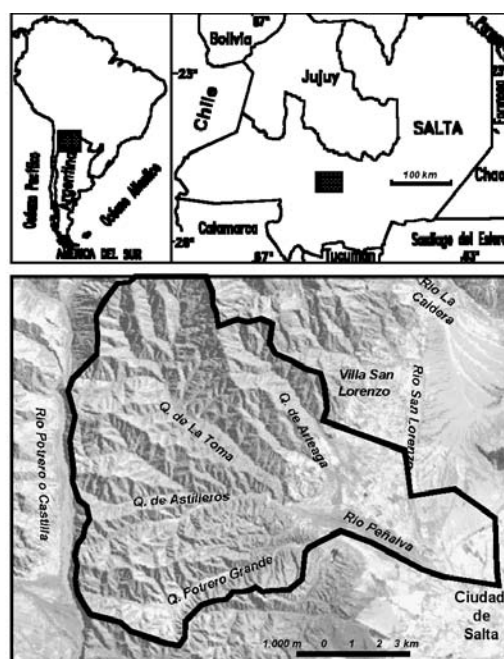
Históricamente, Finca Las Costas, ha sido utilizada para suministrar agua potable a un importante sector de la ciudad de Salta; con tal motivo, en 1995, el gobierno de la provincia declaró a la cuenca como reserva hídrica permanente e intangible, reserva ecológica y natural y patrimonio cultural. Se exponen una serie de aspectos teóricos vinculadas a la ordenación territorial, a los que se considera relacionados con aspectos geológicos estructurales. Se ofrecen además, modelos digitales y mapas temáticos; los mapas fueron obtenidos por procesamiento digital de una imagen satelital LANDSAT TM y mediante la utilización de herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). A partir de métodos de evaluación multi-criterio, se definieron cuatro alternativas y una serie de criterios, para abordar la ordenación del territorio en estudio; el objetivo - alternativa - considerado como primordial, es la provisión de agua potable para la ciudad de Salta.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca de Finca Las Costas, se ubica en el sector centro - oeste del Valle de Lerma; este, ocupa el centro de la Provincia de Salta (entre los 25° 17' y 26° 22' de latitud sur y los 65° 25' y 65° 42' de longitud oeste) y es asiento de la Ciudad Capital en el Departamento homónimo. (Núñez, et al. 2000).

El Departamento Capital concentra en la actualidad la mayor proporción de la población de la provincia.

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN



Entregado: 03 de Noviembre de 2000 ■ Aceptado: 19 de Diciembre de 2000

1. Dirección de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Provincia de Salta (DMAyRN).
2. Proyecto N° 793. Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA).
3. Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED). Universidad Nacional de Salta. Proyecto N° 697 del CIUNSA.
4. Dirección Provincial de Vialidad - Provincia de Córdoba.

e-mail: jmarcuzzi@impsat1.com.ar

Según datos del Censo de Población y Vivienda de 1991, el Departamento Capital, tenía una población total de 377.015 habitantes lo que representaba el 43 % de la población provincial total. En la actualidad, la ciudad capital tiene una población que puede estimarse en el orden de 500.000 habitantes.

La cuenca de Finca Las Costas se ubica al oeste de la Ciudad de Salta (Fig. 1) y se accede a ella por la ruta provincial 28, que conecta a la capital salteña con la Villa de San Lorenzo.

Es necesario destacar, que la cuenca de Finca Las Costas es un área con una fuerte componente natural, o de utilización agro-silvo-pastoril y sirve como cuenca receptora de precipitaciones, utilizada para proveer de agua con destino al consumo humano (Marcuzzi, et al. 2000).

“La propiedad de Finca Las Costas, fue adquirida por transferencia de servicios de Obras Sanitarias de la Nación a la Provincia de Salta (Ley Provincial 5.540/80). El poder de policía y la explotación del recurso hídrico estaba a cargo de la Dirección de Obras Sanitarias de Salta. En la actualidad la Empresa Aguas de Salta S. A. posee la concesión de la explotación del recurso hídrico en Finca Las Costas, otorgada por el gobierno provincial.” (Núñez, et al. 2000).

En 1995, el Gobierno de la Provincia de Salta declaró a la cuenca de Finca Las Costas como área de Reserva Permanente e Intangible - Decreto Provincial N° 488/98 y conforme a lo establecido en el Decreto N° 2.327/95. Por otra parte, Finca Las Costas constituye una Reserva Ecológica y Natural y Patrimonio Cultural, al encuadrarse en lo dispuesto por el artículo N° 51 de la Constitución Provincial y la Ley N° 6.649.

La ordenación del territorio consiste en buscar en las actividades de planeamiento el óptimo real, normalmente difícil de definir y de alcanzar, donde los aspectos físicos y biológicos son la base de dicho objetivo. Se debe asignar a los factores del medio un significado y peso propios, en concordancia con los objetivos planteados para el proyecto de ordenación de un espacio geográfico determinado.

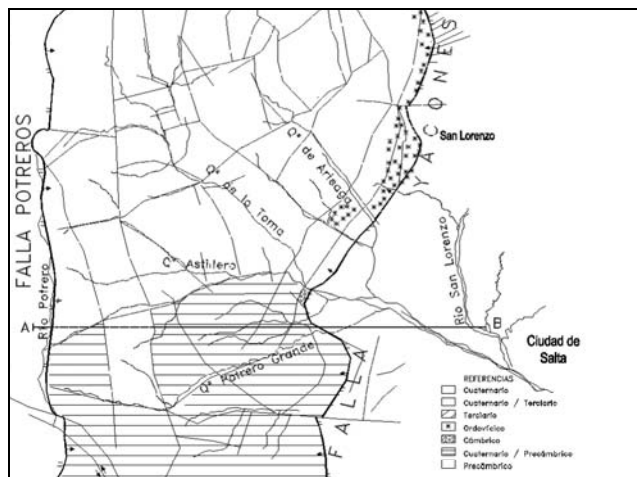
En un principio, los problemas a resolver por la planificación se relacionaban con la localización de industrias y de centros urbanos desde un enfoque técnico y socioeconómico, casi con exclusividad. La necesidad de incorporar los factores medioambientales, encaminó la investigación hacia el desarrollo de modelos de localización no solo basados en el óptimo técnico y económico, sino además en minimizar los impactos o efectos indeseables sobre el entorno natural.

Para el caso que nos ocupa, se expone, la conveniencia de utilizar la planificación física con base ecológica. Se explican los criterios y enfoques metodológicos, que servirán al lector, como marco conceptual para interpretar cabalmente los resultados que se exponen en este trabajo.

2. GEOLOGÍA

El área de estudio (Fig. 2), se encuentra en la Serranía de Lesser en el ámbito de Cordillera Oriental (Turner y Mon, 1979). Durante su evolución geológica esta unidad morfoestructural ha sufrido un intenso plegamiento y fallamiento y el sector de Finca las Costas coincide con una faja de máxima deformación dentro del sector central de la misma (Moya M.C. et al, 2000). Como resultado de la tectónica la unidad orográfica presenta una orientación submeridiana cuyo borde occidental está controlado por la falla Potrero en la Qda. homónima. En la parte central las expresiones fisiográficas son el resultado de la presencia de fracturas menores y que están representadas por pequeños valles y quebradas de orientación este-sudeste. Entre las principales se pueden citar la Qda. de Arteaga, Qda. de La Toma, Qda. de Astillero y Qda. de Potrero (Fig. 2). El límite oriental también es de carácter tectónico representado por la Falla Yacones, de expresión regional, que pone en contacto las formaciones del Proterozoico superior y Paleozoico inferior, por medio de cabalgamientos, con el Terciario y Cuaternario. Las principales fallas que controlan el relieve son inversas y tienen orientación submeridiana; en el borde occidental los planos de falla buzan hacia el este y en el oriental lo hacen hacia el oeste, consecuencia de fracturas antitéticas (Li M. 1994). El esquema general puede resumirse en la presencia de escamas tectónicas con sobrecorrimientos vinculados con una falla de suela correspondiente a la Falla Potrero (Li M, 1994).

FIGURA 2: GEOLOGÍA DEL ÁREA



Las formaciones que predominan en la parte occidental son de edad precámbrica superior, estas conforman el basamento rocoso y está integrado por leptometamorfitas, incluidas en el Grupo Lerma, Formación Puncoviscana, (Turner y Mon, 1979 op cit), constituido por grauvacas y pelitas, con rumbo general entre N 330° E, hasta casi meridiano. El clivaje primario es muy

marcado, especialmente en las lutitas. Más al este en discordancia angular se apoyan sedimentos marinos del Grupo Mesón (Cámbrico), del que solo se ha reconocido la unidad intermedia correspondiente a la Formación Campanario. Litológicamente está conformada por cuarcitas verde grisáceas, micáceas, con estratificación tabular mediana a fina, e intercalaciones de areniscas finas y pelitas verdes. También afloran areniscas moradas de grano fino, con estratificación tabular mediana. En algunos sectores estas cuarcitas se inclinan hacia el oeste con ángulos promedio de 80°. Luego continúa el Ordovícico (*Grupo Santa Victoria, Turner y Mon, 1979, op cit*) que suprayace mediante contacto por fallas al Grupo Mesón, o se apoya sobre el basamento precámbrico, representado bancos de areniscas cuarzosas medianas a finas, pardo amarillenta y bancos tabulares de conglomerados polimícticos. La secuencia continúa con lutitas arenosas gris verdoso a verde amarillento.

Por último afloran formaciones del Terciario (*Grupo Orán, Russo, 1972*), que definen el borde oriental del Cordón de Lesser. En la zona de estudio, aflora solamente la Formación Piquete, perteneciente al Subgrupo Jujuy, constituido por una alternancia de conglomerados gruesos y areniscas arcillosas intercalados con algunos bancos de toba blanca.

El cuaternario se depositó sobre todas las unidades estratigráficas descriptas, en forma discordante y tiene mayor desarrollo de espesores hacia el este. Estos sedimentos se encuentran en las laderas, representados por pequeños conos aluviales y eluviales, detritos de falda, depósitos aterrizados y de cauces fluviales, que han dado lugar la presencia de suelos poco desarrollados. Presentan granulometrías del rango de los bloques, arenas y limos-arcillosos, cuyo predominio depende de la ubicación morfológica.

Como consecuencia del esquema geológico descrito, el relieve es más vigoroso en el sector oeste, donde sobresalen los relieves constituidos por las formaciones del Cámbrico dado su mayor competencia y resistencia a la erosión, luego este decrece sensiblemente hacia el este debido en parte al dominio de formaciones menos resistentes. El esquema mencionado también es responsable de la inestabilidad del relieve, que se evidencia por la generación de deslizamientos de laderas, reptación de suelos, presencia de cárcavas y otras formas de la dinámica hídrica de cursos de agua de gran pendiente.

En el borde oriental de las Sierras de Lesser se presentan conos eluviales coalescentes que forman una suerte de planicie de pie de monte. Es común observar los depósitos cuaternarios sobre las rocas terciarias. En estos existe actividad agrícola y una urbanización dispersa, que se densifica hacia el extremo oriental donde se encuentra la ciudad de Salta. Estos conos se hallan recortados por erosión y se pueden distinguir al menos cuatro niveles erosivos escalonados encajados entre sí. Regionalmente se

observan evidencias morfológicas que permiten afirmar la importancia de la tectónica y neotectónica en el modelado del área.

3. METODOLOGÍA

Se parte de la necesidad de una *planificación* física con sustento ecológico. Planificación, porque supone un estudio racional de diagnóstico, predicción, evaluación y definición de soluciones; *física*, porque se aplica a recursos territoriales con expresión espacial; con *base ecológica*, porque el material que utiliza lleva consigo toda la problemática de sistemas organizados a través de relaciones bióticas y abióticas.

Por tal motivo, se utiliza una visión sistémica como herramienta en la búsqueda de los componentes del sistema que son significativos, importantes y en un nivel coherente, considerando a la ecología como una visión conjunta y global de los componentes y de sus relaciones recíprocas, para eliminar del conjunto todo el ruido posible, que apenas aporte información.

La Reserva Hídrica de Finca Las Costas, esta modificada por el hombre, cuyos intereses definen alteraciones de diferente intensidad que impactan el medio ambiente. La planificación debe contemplar no sólo los intereses humanos, sino también la capacidad del ambiente para soportar determinados usos y en las condiciones, que no deterioren al sistema natural que provee los recursos - no sólo cantidad sino también calidad - requeridos por el hombre para satisfacer sus necesidades.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se emplearon algunas herramientas que provee la *Ecología del Paisaje (EP)*. A partir de esta concepción, se consideró que un paisaje es una entidad holística, donde, además, de ciertos componentes interactuantes como: clima, litología, suelo, vegetación, animales y procesos, se incluyen también las actividades culturales.

La *EP* se basa en la concepción sistémica y holística de la realidad, en particular del paisaje. Este marco teórico considera que la realidad está compuesta por unidades ordenadas en una estructura sistémica de jerarquías (*Etter., 1992*). Para clasificar el espacio analizado en unidades de paisaje, se emplearon imágenes de sensores remotos como fuente de información primaria. Posteriormente, esta información fue confirmada o rectificada con chequeos de campo y cruzando información de otras fuentes.

Para caracterizar los diferentes paisajes, se utilizaron los conceptos de uso y cobertura del suelo, creando, para tal fin, una jerarquía que permita la comprensión de los diferentes niveles de detalle. De esta manera, se discriminaron aquellos parámetros requeridos para el análisis de la actividad agropecuaria. Las categorías seleccionadas corresponden a uso y cobertura sin discriminación de cada una en particular.

Se reconocen dos partes fundamentales en un paisaje: el *fenosistema* y el *criptosistema*. El primero, corresponde al conjunto de las características reunidas en patrones visibles, compuestos por aspectos fisonómicos o estructurales externos; mientras el segundo, está caracterizado por los procesos, interrelaciones y flujos de todo tipo, que subsisten al fenosistema, no son visibles pero pueden ser registrados. Las geoformas y las diferentes coberturas del suelo son los elementos que caracterizan al fenosistema. Para identificar estas se tomó como base el trabajo realizado por *Marcuzzi et al., en 1996*, para el ordenamiento territorial del Gran Salta. En el *criptosistema*, se consideran también a las acciones derivadas de decisiones que toman los actores y que modifican procesos, interrelaciones y flujos, naturales y culturales.

Se utilizaron herramientas de los sistemas de información geográfica para la creación de los modelos instrumentales, necesarios para alcanzar los objetivos de ordenación territorial propuestos. También se incluyeron, inventarios de: las características físico-químicas y biológicas del ambiente; las actividades antrópicas; y las condiciones de utilización de los recursos naturales.

De acuerdo con los fundamentos teóricos, antes expuestos, se analizó la información para concretar el ordenamiento territorial, utilizando como soporte analítico el

método de Evaluación Multicriterio (*EMC*). La *EMC* consiste en la evaluación de un universo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos donde las decisiones surgen de una ponderación expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia, de acuerdo a varios criterios.

3.1 Evaluación Multicriterio (EMC)

“La toma de decisiones multicriterio se puede entender como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios. Estos criterios pueden representar diferentes aspectos de la teleología: objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad (*Colson y De Bruin, 1989: 1201*).” (*Barredo Cano, 1996*).

El método de Evaluación Multicriterio (*EMC*), se basa en la evaluación de alternativas a partir de la confrontación de una serie de criterios. Para Finca Las Costas se consideraron cuatro alternativas de uso del suelo, de las cuales algunas se practican actualmente. En los cuadros siguientes se enuncian primero las alternativas consideradas, y las actividades actuales y/o propuestas en cada una de ellas, y en el segundo, los criterios a evaluar para cada alternativa planteada, a los fines de aplicar la *EMC*.

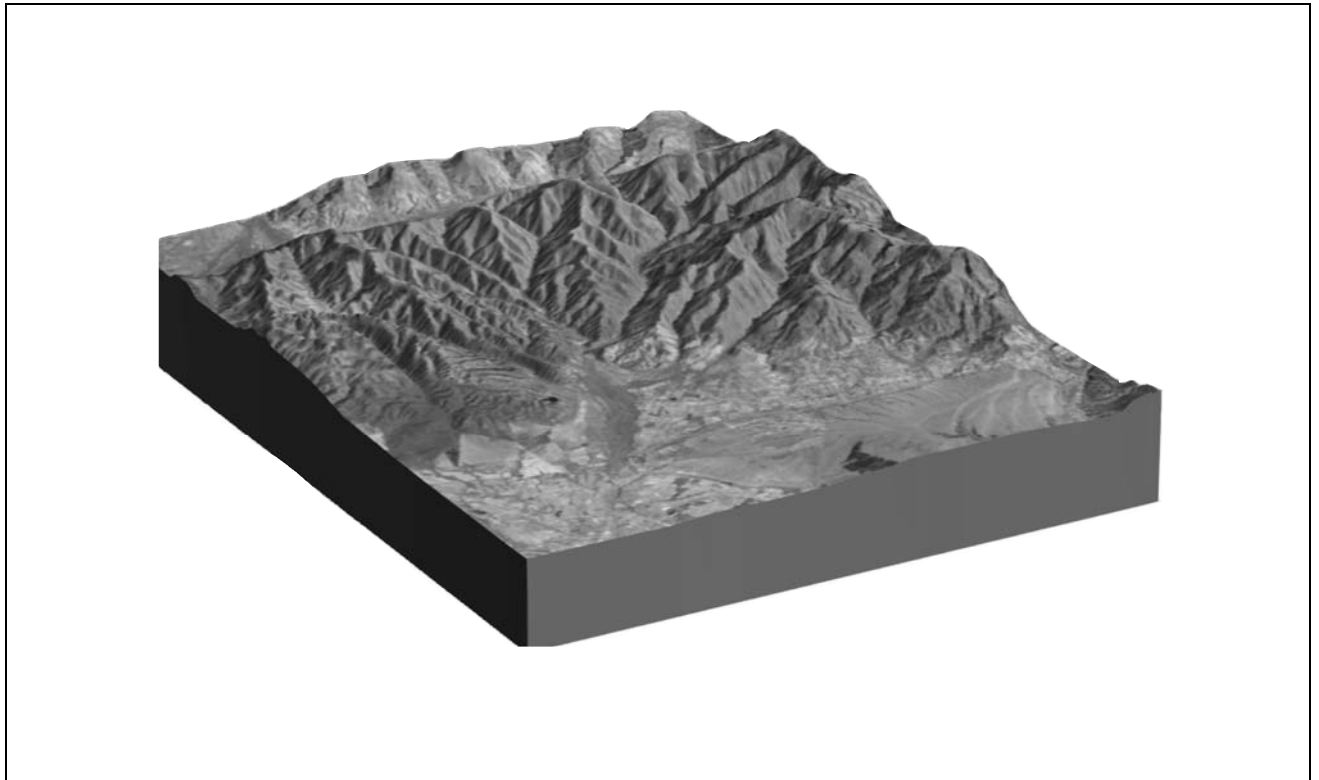
Cuadro de alternativas y actividades para la EMC

Alternativas	Actividades	
	Actuales	Propuestas
I Producción Agrícola	Maíz, papa, arveja, hortalizas, pasturas, silvicultura	Floricultura, fruticultura, Aromáticas y medicinales, Lombricultura, producción de compost, Apicultura y Piscicultura.
II Producción Ganadera	Vacuno, caprino y ovino	Vacuno, caprino y ovino
III Producción Agua Potable para la Ciudad de Salta	Actual	Similar a la actual
IV Actividades Turísticas y Recreativas	Actual. Camping, sendas de interpretación, miradores	Camping. sendas de interpretación, miradores

Cuadro de criterios para la evaluación de alternativas

Criterios	Alternativas			
	I	II	III	IV
Topografía (pendientes)	•	•		•
Disponibilidad de Agua	•	•	•	
Condiciones Climáticas Adversas (Heladas)	•			
Calidad de los Suelos (Fertilidad)	•			
Disponibilidad de Alimentos		•		
Disponibilidad de Suplemento Dietario		•		
Calidad Química y Biológica del Agua			•	
Aporte de Sedimentos			•	
Eficiencia de la Captación de Agua Superficial			•	
Fragilidad de Ambiente				•
Infraestructura Vial				•
Oferta de Ambientes y Paisajes				•

FIGURA 3: MODELO DIGITAL DEL RELIEVE DE FINCA LAS COSTAS



3.1.1 Asignación de Valores

Para realizar el análisis propuesto, se asignan valores a los criterios, para ello se consideró un intervalo entre diez y cero (10 y 0); siendo el mayor valor (10) para la preferencia más adecuada y el menor (0) para la peor condición. Los valores de cada preferencia se consignan en la última columna de las tablas de valoración de criterios, que se observan seguidamente. Luego con los valores asignados a cada preferencia de las alternativas consideradas se realiza la Evaluación Multicriterio (EMC), empleando un sistema de Matrices de Evaluación.

En el presente trabajo, solamente para la primera alternativa y a modo de ejemplo, se realiza un análisis detallado de la valoración de los criterios.

Alternativa I: Producción Agrícola

a. Topografía (Pendientes)

Se clasificaron las pendientes considerando la protección de los suelos contra la erosión hídrica y según el tipo de metodología utilizada para el riego, entonces se tiene: < 0,15 %, riego cero; 0,15 a 0,6 %, riego entre bordes o melgas en pendiente; 0,7 a 5 %, riego por surcos en pendiente; > 5 %, riego por goteo o aspersión.

En la tabla inferior, se puede observar la distribución espacial de las cuatro clases de pendientes que se definieron para las actividades agrícolas; la superficie en hectáreas y la proporción de cada clase sobre el área total de la Finca. Para este caso, se consideró que la menor pendiente aceptable para evitar pérdidas de suelo, es la < 0,6 %.

Clase	Frecuencia	Superficie (ha)	Proporción	Preferencia	Valores
< 0,6 %	933	83.97	0.01	Alta	10
0,7 - 5 %	22549	2029.41	0.18	Media	5
6 - 10 %	4571	411.39	0.04	Baja	3
> 10 %	97835	8805.15	0.78	Indeseable	1
Totales	125888	11329.92	1.00		

Fajas de rigurosidad de las heladas en función de la altitud; intervalos de temperaturas de 1.5 °C

Rigurosidad de las heladas	Preferencia	Valores (\bar{X}_{ij})
faja 1	Baja	8
faja 2	Media	6
faja 3	Alta	4
faja 4	Indeseable	2

b. Condiciones Climáticas Adversas (Heladas)

Según el análisis de las fuentes disponibles, *Bianchi, A.R.; et al. (1996)*, cabe esperar que las temperaturas bajo cero alcancen valores más rigurosos en las posiciones de mayores altitudes del sector serrano. Se construyó un modelo sencillo para establecer fajas altitudinales con creciente rigurosidad de las temperaturas menores a 0° C. Los valores adoptados se presentan en la tabla correspondiente.

c. Disponibilidad de Agua (por Riego y/o por Precipitaciones)

Las explotaciones agrícolas tienen prácticamente riego todo el año, salvo algunas áreas pedemontanas. En cuanto a las precipitaciones, tomando como límite crítico los 700 mm para cultivo a secano, tampoco existen problemas porque la media anual histórica es de 813 mm.

Disponibilidad de agua	Preferencia	Valores (\bar{X}_{ij})
Riego todo el año	Suficiente	10
Riego no permanente	Parcial	5
Sin riego (por precipitaciones)	Insuficiente	4
Sin riego y sin precipitaciones	No disponible	0

d. Calidad de los Suelos (Fertilidad)

A partir de la disponibilidad de N, P y K las muestras de suelo suelen clasificarse en tres clases de fertilidad: Alta, Moderada y Baja. Para el caso presente,

dado que existe una importante superficie constituida por suelos no desarrollados o de escaso desarrollo, se ha considerado conveniente incluir una cuarta clase, que contempla los suelos no desarrollados.

Fertilidad	N %	P (ppm)	K (mlq/100)	Preferencia	Valores (\bar{X}_{ij})
Alta	> 0,20	> 30	> 0,30	Alta	10
Moderada	0,12 - 0,20	10 - 30	0,15 - 0,30	Moderada	7
Baja	< 0,12	< 10	< 0,15	Baja	4
				Nula	0

Clases de Fertilidad de los Suelos

Todos los suelos de Finca Las Costas, poseen similares características en cuanto a la fertilidad, que corresponde de moderada a baja; se considera entonces que la preferencia corresponde a una fertilidad baja.

Alternativa II: Producción Ganadera

Este factor, principalmente esta en función de la capacidad del ambiente para soportar actividades ganaderas, en las condiciones actuales, sin deteriorar el ambiente.

a. Topografía

Las pendientes son fundamentales en la alternativa,

luego del análisis se constató que en el sector serrano dominan las pendientes desfavorables para la actividad ganadera en forma eficiente (57 % considerando toda la finca y 71 % tomando en cuenta solo el área serrana), ya que la pérdida de energía por parte de los animales es muy importante al tener que desplazarse en laderas pronunciadas, además el efecto del pisoteo sobre la estructura del suelo y la consiguiente pérdida por erosión.

Toda la información de pendientes y aspecto, se obtuvo a partir del modelo digital de terreno presentado en la Fig. 3.

b. Disponibilidad de Alimento

Las preferencias se fijaron en función de la carga animal más adecuada y la más aconsejable para las condiciones que presenta el área serrana de la finca.

La capacidad de carga se midió para una hectárea en Equivalente Vaca (EV), que corresponde a una res bobina de 400 kilogramos con un ternero al pie. El ganado caprino, cuya capacidad de carga es en la práctica equivalente a la del ganado ovino, tiene la potencialidad de dañar arbustos y árboles de lenta regeneración por lo que no se le debe permitir el acceso a sectores con fuertes inclinaciones teniendo en cuenta el concepto de bosque protector.

c. Disponibilidad de Suplemento Dietario

Para el criterio de disponibilidad de suplemento dietario se consideraron cuatro clases, las que se componen de la siguiente manera: *Clase 1*, suplemento variado con más de un componente que incluye la sal; *Clase 2*, suplemento compuesto de un solo componente más la sal; *Clase 3*, solamente provee de sal; *Clase 4*, no se provee de suplemento ni sal.

d. Disponibilidad de Agua para Abrevar

En la cuenca alta de Finca Las Costas, sector serrano, compuesta por las subcuencas de las quebradas de Arteaga, La Toma, Astilleros y Potrero Grande (Fig. 1); todos los cauces principales disponen de agua incluso en la época invernal y se encuentran a una distancia menor a 1.6 km del límite. Esto significa, que, por distancia, no existen reducciones de la capacidad de pastoreo del ganado.

Como puede verse los animales se desplazarán sobre sectores definidos por radios variables respecto a la fuente de agua; de esta manera, quedan áreas con menor presión de pastoreo. Para distribuir en forma más pareja la actividad ganadera, convendría ubicar los panes de sal y los abrevaderos en sitios adecuados para que los animales recorran menores distancias, mejorando de esta manera la relación energética. Deberá considerarse también para este aspecto, la carga animal adecuada y el tipo de relieve (pendientes).

Alternativa III: Producción de agua potable para la ciudad de Salta

Para esta posibilidad se clasificaron los caudales disponibles en superficie en cuatro clases cualitativas, tomando como referencia los caudales medidos en dos subcuencas de la comarca, La Toma y Astilleros. La falta de registros históricos de caudales aforados para cada subcuenca, impide que estas sean comparadas y clasificadas; por lo que se utilizó un método de capacidad de producción en base a la estimación de la lamina de escurrimiento superficial,

que está en función del área que ocupan y de la cobertura y del uso que tiene el suelo.

La importante diferencia entre los caudales registrados en las principales quebradas analizadas, puede deberse a que la primera recibe mayores volúmenes de precipitaciones, por la orientación y elevaciones de sus laderas y la presencia de una mayor cubierta de bosques, que permite una mejor retención del agua precipitada que es incorporada al subsuelo y liberada en el período de descarga, que estamos analizando.

En la estimación de la lámina de escurrimiento superficial, se aplicó el método desarrollado por el Servicio Forestal de Estados Unidos (U. S. F. S., 1974), conocido como método de la Curva Número (CN). Los Valores de CN se tomaron para la condición AMC II (Antecedente de Condición de Humedad del Suelo) de la cuenca receptora, para los diferentes tipos de uso del suelo (A, B, C o D). Se consideraron todos los sectores de la reserva, pero teniendo en cuenta que solo el sector serrano provee de los caudales para el consumo domiciliario del agua.

La estimación de la lámina de escurrimiento superficial, se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$L = (P - 0,2 \times S)^2 / P + 0,8 \times S$$

Donde, L: es la lámina de agua escurrida en mm; P: es la precipitación de cada tormenta y S: es la retención potencial máxima.

Si bien el factor P, de la ecuación para la estimación de la lámina de escurrimiento superficial L, es la precipitación de una tormenta, en su reemplazo se utilizaron los valores de las precipitaciones medias mensuales, para obtener un estimador de la capacidad de producción en m³ de cada una de las subcuencas, en función de su superficie y de las diferentes clases de uso y cobertura, para el mes de octubre que corresponde a la finalización del período seco y de descarga. Las que se analizaron en tablas separadas.

Por supuesto que para evaluar la Alternativa III, solo se deberían tener en cuenta las subcuencas que aportan caudales al sistema de provisión de agua, caso de las quebradas de La Toma y Astilleros. A los efectos de un análisis integral, se consideraron todos los sectores, que conforman la cuenca del Río Peñalva-Arias, ya que aquellos aportan agua en forma superficial y además recargan el acuífero del Valle de Lerma.

a. Disponibilidad de Agua en Superficie

Se analiza la capacidad de cada subcuenca para producir agua superficial, según esto, cada microcuenca

fue clasificada por el valor de preferencia en: Quebrada de Arteaga, *insuficiente*; Quebrada La Toma, *media*; Quebrada de Astilleros, *baja*; Quebrada de Potrero Grande, *insuficiente*. Los sectores de pie de monte, se dejaron fuera de la clasificación por cuanto estos no tienen posibilidad de ser usados con fines de provisión, mediante captación, por su posición en el relieve.

b. Calidad Química y Biológica del Agua

También se consideró la Calidad Química y Biológica del Agua, para lo cual se analizaron las siguientes características: a) microbiológicas; b) biológicas y c) contenido de oligoelementos. Un solo factor, en este caso el contenido en nitritos, limita la calidad

de todas las muestras y hace que correspondan a la clase de Valor: Límite Tolerable.

c. Aporte de Sedimentos

Para caracterizar el aporte de sedimentos, se ha considerado solamente y como parámetro fundamental, a la geología de la comarca, relacionando específicamente la resistencia de las rocas a la erosión. Es decir que otros parámetros que influyen en este proceso no son considerados, como por ejemplo la pendiente, tipo de vegetación, condiciones climáticas y tipos de suelo, que son considerados en los otros criterios.

Del análisis cualitativo de la litología y factores tectónicos de las unidades geológicas, surge a priori una

Erosión Hídrica (fragilidad de los ambientes)	Preferencia	Valores (X_{ij})
Rocas precámbricas - ordovícicas - cámbricas	Baja	9
Rocas cuartáricas sobre precámbricas, ordovícicas o cámbricas	Media	7
Rocas cuartáricas - terciarias	Alta	5
Bad Lands	Muy frágil	2

clasificación en cuatro grandes grupos (Ver tabla). Las rocas más jóvenes, el Terciario y los depósitos cuaternarios, resultan ser las más susceptibles a la erosión y las más antiguas menos. Evidentemente el factor diagénesis juega un importante papel.

d. Eficiencia de la Captación del Agua Superficial

Para este criterio, se consideró la existencia de infraestructura necesaria para captación y distribución del agua superficial de cada subcuenca, con destino al consumo humano y para riego de parcelas agrícolas. Las quebradas de Arteaga, La Toma y Astilleros son las únicas con este tipo de infraestructura. El sector de urbanización dispersa y de actividad agrícola ubicada en el pie de monte, cuenta con un sistema de conducción del agua a cielo abierto. Con el objeto de valorar la capacidad instalada para la captación del agua superficial, se consideraron cuatro clases de infraestructura, donde se especifican las preferencias asignadas a cada una de ellas: Eficiente (Consumo humano y riego), Media (Consumo humano), Baja (Riego) e Ineficiente (Sin captación).

Alternativa IV: Actividades Turísticas y Recreativas

a. Topografía

Al respecto se consideró que las pendientes con mayor preferencia corresponden a los rangos establecidos como satisfactorios para la construcción de caminos en áreas serranas y además permiten el tránsito de vehículos livianos y pesados. Definiendo este aspecto, fundamentalmente, la estabilidad de laderas.

b. Fragilidad de Ambientes

La fragilidad de los ambientes se evaluó en función a la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica.

c. Infraestructura Vial

Respecto a la accesibilidad se analizó la infraestructura vial o existencia de vías terrestres para acceder a los diferentes sectores de la cuenca alta y el pie de monte. Para este criterio, se tomó en cuenta la longitud de las vías terrestres (huellas y caminos) en función de la superficie del sector donde se encuentran.

Se considera que la existencia de vías que recorran cada microcuenca, sería adecuada para tener acceso a las distintas porciones de los cursos principales y para la comunicación con los puestos ubicados en la zona serrana. La situación planteada corresponde a una preferencia parcial de infraestructura vial. También se analizó la distribución de vías de acceso en función de las superficies ocupadas por cada sector. El pie de monte presenta la relación más beneficiosa, dado que la actividad humana es de mayor relevancia y los relieves más suaves.

d. Oferta Variada de Paisajes y Ambientes Diferentes

Para este criterio se consideraron en cada sector los sitios que constituyen miradores: los puntos elevados y las posiciones sobre las divisorias de aguas, que permiten visualizar y disfrutar de la mayor riqueza paisajística. Los aspectos mencionados son los que tienen la mayor ponderación en preferencia, o sea la oferta variada de paisajes a partir de las elevaciones de terreno.

3.1.2 Matrices de comparación por pares

Para concretar la EMC y analizar de esta manera la aptitud del territorio para cada alternativa planteada, se utilizó el procedimiento de combinación lineal ponderada. Previamente, se deben obtener las ponderaciones (pesos W_j) que serán aplicadas a cada uno de los criterios.

Los pesos de cada criterio (factores) se obtienen mediante la aplicación del Método de Jerarquías Analíticas (MJA). En la presente evaluación, y para proporcionar una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios

de valor entre los pares de factores, se utilizó una escala de medida de nueve niveles; la escala va desde un valor mínimo de 1 hasta un máximo de 9, pasando por 1 como valor central.

La escala de medida cuantitativa es utilizada para establecer la importancia relativa de cada factor en las Matrices de Comparación por Pares. Finalmente, los pesos de los factores se obtienen del eigenvector (vector propio) principal de cada matriz, mientras que el eigenvalor (valor propio) máximo es una medida de la consistencia de los juicios de valor utilizado.

Alternativa I: Producción Agrícola

	Pendagri	Riego	Fajas	Fertilid	Eigenvector pesos (W_j)
Pendagri	1				0.5668
Riego	1/5	1			0.1328
Fajas	1/5	1	1		0.1004
Fertilid	1/3	1	3	1	0.2000

Coefficiente de consistencia = 0.04 - La consistencia es aceptable.

Alternativa II: Producción Ganadera

	Pendgana	Dispalm	Supldiet	Aguabre	Eigenvector pesos W_j
Pendgana	1				0.3672
Dispalm	1/3	1			0.1653
Supldiet	1/5	1/3	1		0.0507
Aguabre	1/3	1	5	1	0.1848
Eficener	1	1	5	1	0.2321

Coefficiente de consistencia = 0.04 - La consistencia es aceptable.

Alternativa III: Producción de Agua Potable para la ciudad de Salta.

	Dispagua	Caquibio	Aporsedi	Captagua	Eigenvector pesos (W_{ij})
Dispagua	1				0.2097
Caquibio	3	1			0.4117
Aporsedi	1/3	1/5	1		0.0688
Captagua	1	1	5	1	0.3098

Coefficiente de consistencia = 0.04 - La consistencia es aceptable.

Alternativa IV: Actividades turísticas y recreativas

	Aporsedi	Longarea	Ofertapa	Pendturi	Eigenvector pesos W_j
Aporsedi	1				0.0812
Longarea	3	1			0.1594
Ofertapa	5	3	1		0.3994
Pendturi	3	3	1	1	0.3599

Coefficiente de consistencia = 0.04 - La consistencia es aceptable.

4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN MULTI-CRITERIO

Los resultados de la EMC para cada alternativa, se presentan en mapas con nueve niveles de aptitud para la actividad analizada. Estos niveles - presentada en los mapas como escala de grises - representan una escala ordinal (9, mejor condición y 1, peor condición) de la capacidad del ambiente en las condiciones actuales, para soportar la alternativa que se analiza.

Alternativa I: Producción Agrícola

Para la alternativa de producción agrícola, puede verse (Fig. 4) que los sectores más adecuados para el desarrollo de dicha actividad corresponden a los que actualmente están en explotación, situados en el pie de monte y en la terrazas de la Quebrada de Potrero Grande. De todas maneras, en la escala ordinal, los sectores más aptos se encuentran en los niveles de condición 5 y 6; esto está determinado por la baja fertilidad natural que presentan los suelos en todos los sectores. Para confirmar lo expresado precedentemente, puede verse que, en el mapa de la Fig. 4, no hay áreas que correspondan a las tres últimas categorías que representan las mejores condiciones para el desarrollo de actividades agrícolas.

Es evidente que la pendiente es la principal variable que condiciona el desarrollo de actividades agrícolas, y considerando que el área de Finca las Costas está dominada por el sector serrano, es obvio entonces que solo el pie de monte debe destinarse a la agricultura.

Alternativa II: Producción ganadera

Los sectores más adecuadas para desarrollar la ganadería extensiva en el área serrana de Finca Las Costas, corresponden a las porciones próximas a los cursos naturales de agua (quebradas), terrazas y laderas con pendientes no superiores al 30 % que representan un total de 2700 hectáreas.

En la (Fig. 5), se observa la distribución espacial de las diferentes condiciones que presenta el ambiente serrano para desarrollar actividades de ganadería extensiva. Las manchas de color blanco corresponden a laderas con pendientes superiores al 60 % que se consideran no pastoreadas. Las peores condiciones no están representadas en la Fig. 5, ya que no se uso como restricción el hecho de que los bosques ubicados sobre laderas con fuertes pendientes (superiores al 30 %) están destinados a la protección de las cabeceras de cuencas.

FIGURA 4: EVALUACIÓN MULTI-CRITERIO PARA EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS

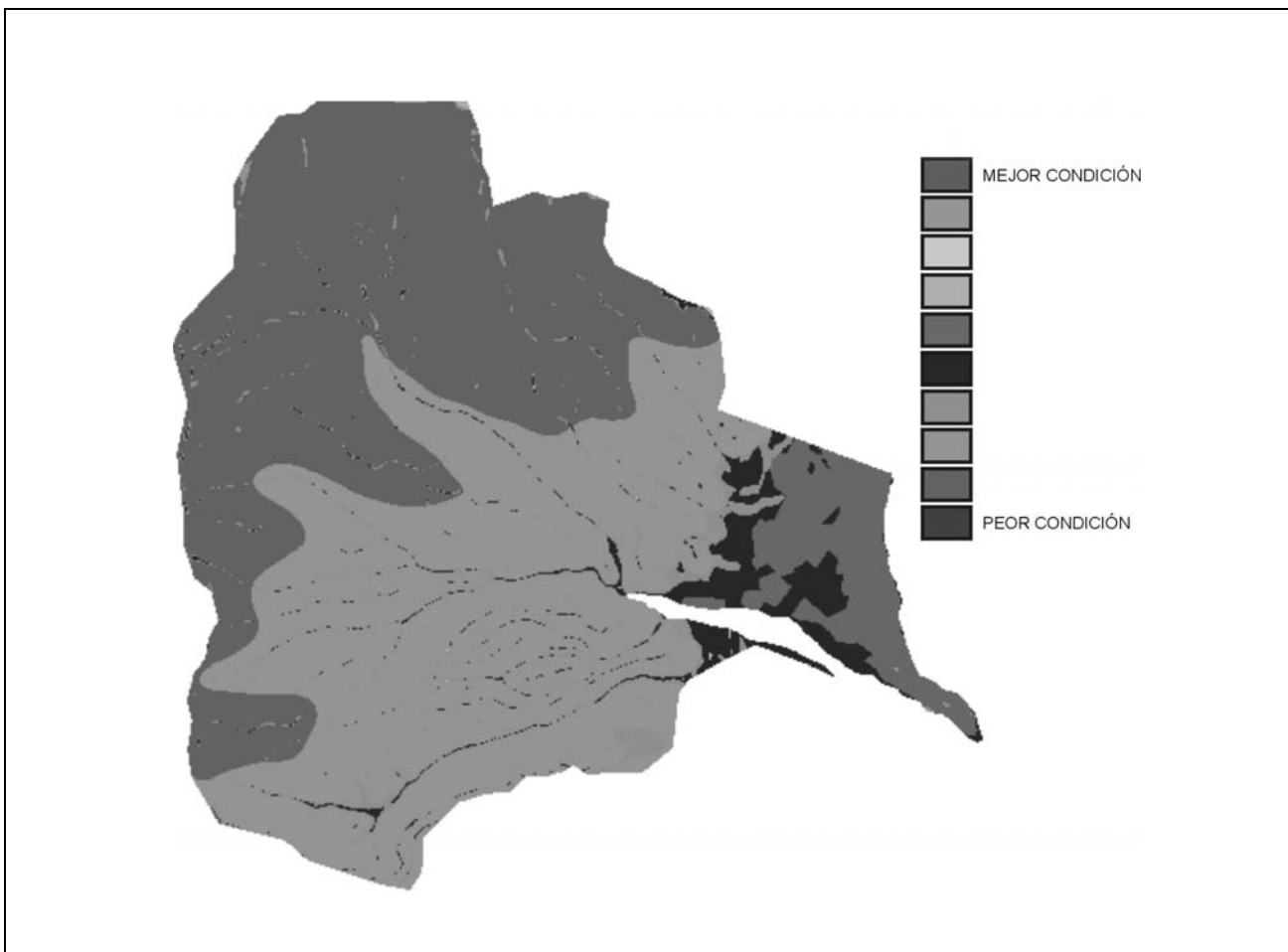
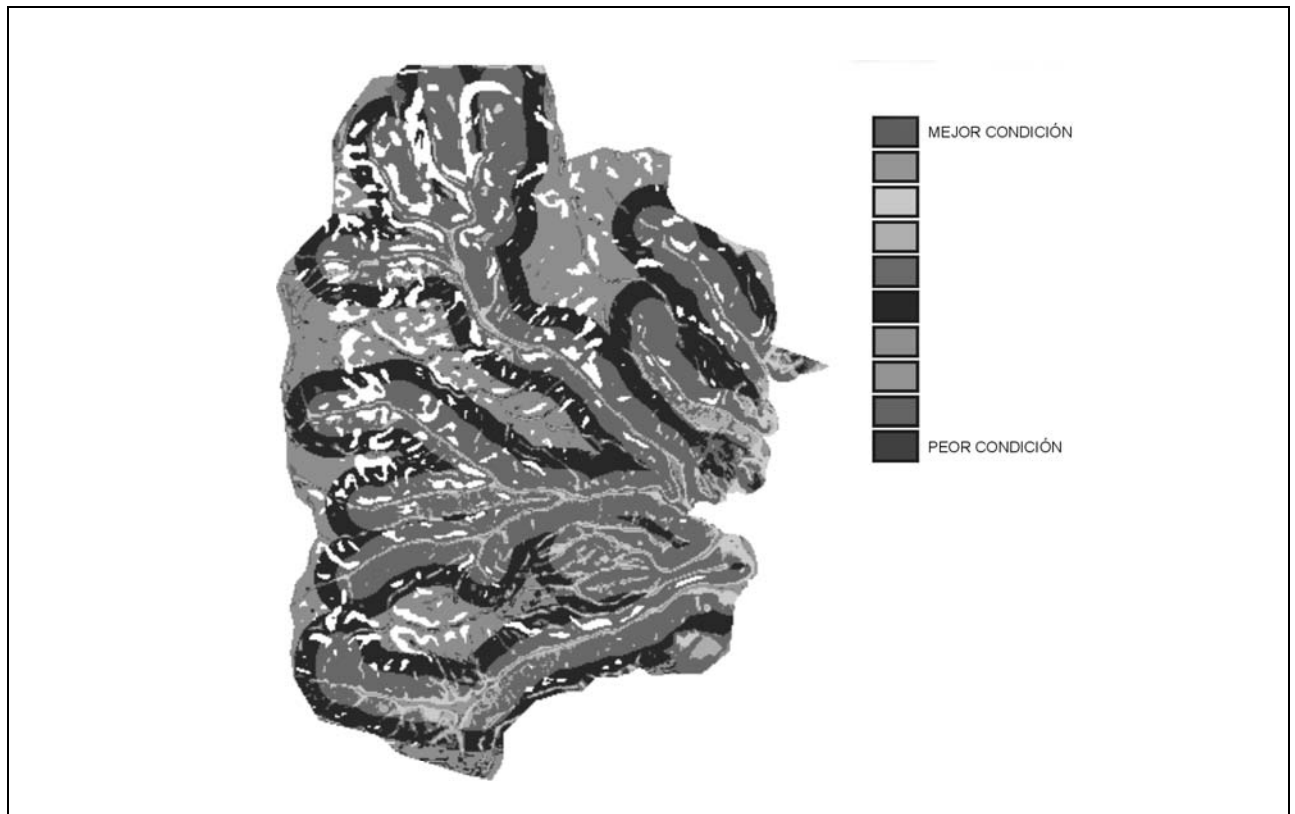


FIGURA 5: EVALUACIÓN MULTI-CRITERIO DE LA ACTIVIDAD GANADERA. EL SECTOR DE PIE DE MONTE NO FUE CONSIDERADO EN ESTA ALTERNATIVA



Alternativa III: Producción de agua potable para la Ciudad de Salta

La mayor capacidad para producir agua potable y para riego la presenta la Quebrada de La Toma (Fig. 6), le siguen, en el mismo orden, las quebradas de Arteaga y Astilleros, y por último la Quebrada de Potrero Grande. Cabe aclarar aquí, que la Quebrada de Astilleros es la receptora del agua proveniente, por trasvase, de la cuenca del Río Potreros, hecho no considerado al momento de evaluar su capacidad intrínseca para producir agua.

Los criterios considerados para evaluar la alternativa de producción de agua potable, fueron: caudales disponibles en superficie, calidad química y biológica del agua, aporte de sedimentos e infraestructura para la captación del agua superficial. La calidad química y biológica de las aguas, correspondiente al nivel tolerable por el contenido de nitritos, hace que ningunas de las quebradas puedan alcanzar un nivel superior de condición.

La peor condición mostrada por los sectores de pie de monte, se debe a la alta capacidad para producir sedimentos y a la falta de infraestructura para captar agua superficial. Se debe tener en cuenta también, que los mencionados sectores no corresponden a la cuenca receptora.

Alternativa IV: Actividades turísticas y recreativas

Según la Fig. 7, la mejor condición (niveles 2 y 3) alcanzada para las actividades turísticas y recreativas, se ubican en los sectores de divisorias de aguas de las principales quebradas, y en orden de importancia: La Toma, Astilleros y Arteaga. La mayor capacidad de las mencionadas posiciones, se debe a la ventajosa situación de la topografía (miradores altitudinales) que permite la visualización de la riqueza en paisajes. De todas maneras no se alcanza la mejor condición, debido a la falta de infraestructura - caminos y sendas - que provean de accesos a los miradores naturales.

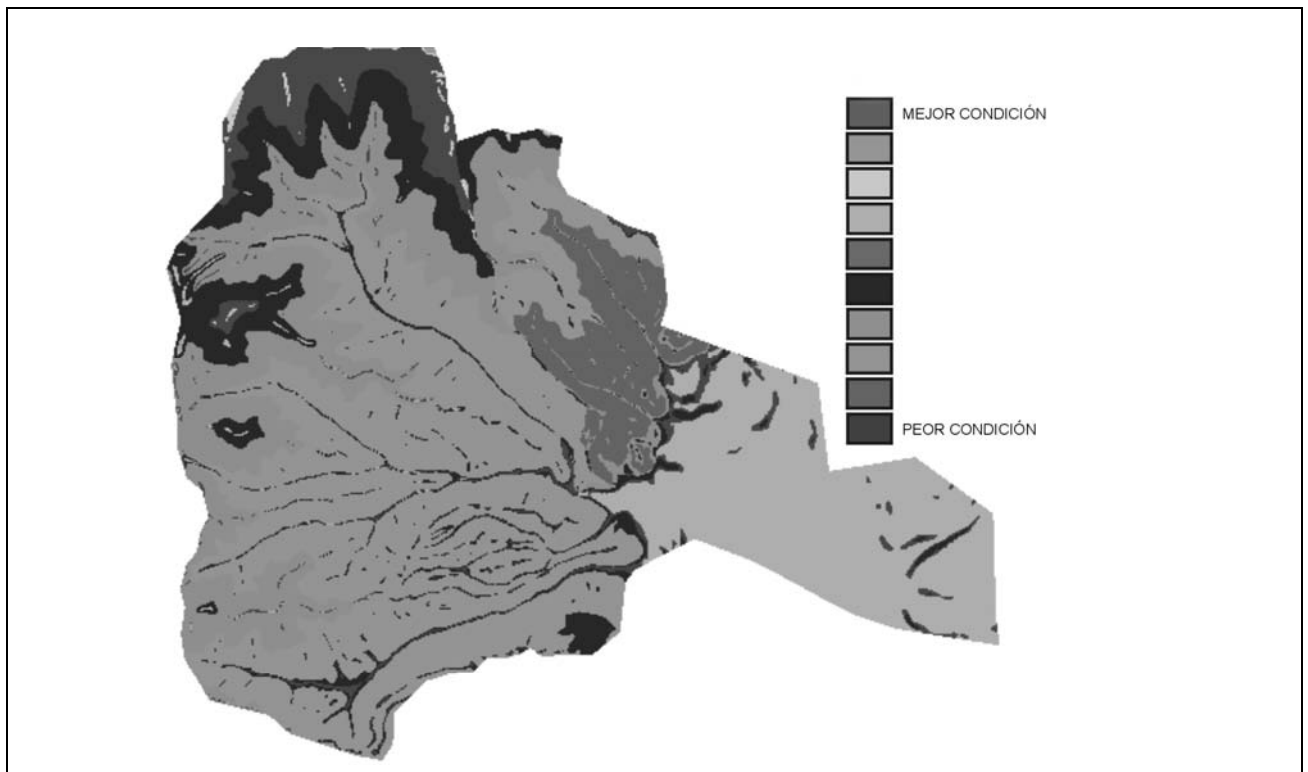
Los principales accesos en el área serrana, deberán planificarse paralelamente a los cursos más importantes de agua, a partir de los cuales se podrán desarrollar sendas de interpretación, las que servirán también para acceder a los miradores. Otra alternativa para las sendas de interpretación, son las divisorias de aguas que presentan pendientes suaves para el ascenso y descenso pedestre.

Actualmente existen dos caminos: uno que atraviesa de este a oeste a la cuenca y vincula la sala de la finca con el abra que da hacia la cuenca del Río Potreros; el segundo sigue el curso de la Quebrada de Potrero Grande. Para la Quebrada de La Toma solo existe un acceso hasta la toma de agua sobre el cauce principal.

FIGURA 6: EVALUACIÓN MULTI-CRITERIO DE LA CAPACIDAD DE LA CUENCA PARA PRODUCIR AGUA POTABLE Y PARA RIEGO



FIGURA 7: EVALUACIÓN MULTI-CRITERIO PARA EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES TURÍSTICAS Y RECREATIVAS



5. CONCLUSIONES

El relieve y la red de drenaje de Finca Las Costas muestran que son el resultado de un importante control estructural y litológico de las formaciones presentes. La evolución morfoestructural de Cordillera Oriental imprime rasgos característicos en el paisaje como inclinación de laderas, orientación de valles, suelos y otras geoformas además de la estabilidad de los mismos.

La red de drenaje de Finca Las Costas tiene un área de 94,6 Km², la integran: los ríos de las quebradas La Toma, Astilleros y Arteaga, el Arroyo Durazno y el río Quebrada del Potrero Grande siendo el de mayor caudal y principal colector el Río Peñalva. 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 materiales porosos.

La litología, en su mayor parte constituida por rocas resistentes, asegura la baja capacidad de suministrar material detrítico, principalmente de granulometría gruesa, para transporte en las épocas estivales.

Para avanzar en el conocimiento de los parámetros de la cuenca se hace imprescindible la instalación de estaciones de registro automático de las variables climáticas e hidrológicas en la zona de estudio. Finca Las Costas, representa un laboratorio para el estudio y seguimiento permanente de parámetros hidrológicos, de manejo y uso del suelo y de la calidad de las aguas.

Resulta imprescindible que el área de la cuenca de Finca Las Costas, se mantenga como reserva destinada a la provisión de agua para consumo humano de la Ciudad de Salta.

El sector pedemontano tiene características, desde el punto de vista pedológico y de infraestructura, que permitirían el desarrollo de actividades productivas alternativas a las ya existentes.

Como alternativas de producción se podrían estudiar las siguientes: floricultura, frutales, cultivo de especies aromáticas y medicinales, producción de compost como subsidiario de la extracción de mantillo de laderas, lombricultura, apicultura y piscicultura en represas.

Una alternativa interesante para mejorar las condiciones de vida de los habitantes de Finca Las Costas, es la planeación de actividades turísticas y recreativas. Por supuesto que: deberá desarrollarse la infraestructura de accesos adecuada y manejarse convenientemente los contingentes de visitantes para evitar daños sobre el ambiente, principalmente el área serrana que sirve como cuenca receptora de precipitaciones pluviales.

En la actualidad, la explotación ganadera se realiza en el área serrana sin manejo alguno, provocando por tal motivo, el sobrepastoreo en los sectores próximos a los cursos de agua donde abreva el ganado. En este contexto, se debe tener en cuenta la ubicación de los panes de sal y la realización de tajamares para que el ganado tenga agua disponible sin necesidad de abrevar sobre los cursos de agua. Con el mismo criterio, se deberán alambrear los cursos principales, dejando sectores de paso para el ganado; de esta manera se evitará que el mismo deposite sus excretas sobre el agua, mientras está abrevando o en tránsito.

La cuenca estudiada presenta un comportamiento dual, en la época estival la producción de agua depende solamente del área de recepción de la misma, mientras que en el invierno, el agua con destino a la Ciudad de Salta proviene de la cuenca del Río Potreros. De esta manera Finca Las Costas se comporta como un conducto natural a través del cual se canaliza el fluido para consumo humano. Esta situación requiere que el estudio se extienda a toda la cuenca del Río Potreros.

Las imágenes de sensores remotos son una fuente de datos muy importante para la zonificación de sectores geográficos. El procesamiento digital ofrece herramientas más objetivas para la clasificación del espacio geográfico.

La utilización de métodos de evaluación multicriterio permiten la participación de: profesionales con diferente formación; de los responsables de tomar las decisiones; y de la comunidad, tanto la que habita en la zona como la que es afectada (usuarios del agua potable) por las acciones desarrolladas en la cuenca.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BARREDO CANO, J. I. 1996.

Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio.
RA-MA. Madrid, España. 264 pp.

BERTALANFY, L. VON; 1968.

General Systems Theory.
Ed. G. Brazillier. N.Y.

- BIANCHI, A. R. Y M. ARIAS; 1996.
Estadísticas Climatológicas de la Provincia de Salta.
Dir. Prov. de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Salta e INTA. Salta, Argentina.
- ETTER; A.; 1992.
Introducción a la Ecología del Paisaje. Un marco de Integración para los Levantamientos Rurales.
IGAC. Bogotá, Colombia.
- LI, M.S.; 1994.
Levantamiento Geológico Expeditivo del Cordón de Lesser; entre los paralelos 24°30' y 24°48' latitud sur. Salta, Argentina.
Tesis Profesional, Facultad de Ciencias de Naturales, UNSa. Inédita.
- MARCUZZI, J. J. ET AL.; 2000.
Hidrogeomorfología y caracterización química de la Reserva Hídrica de Finca Las Costas. Provincia de Salta.
ASAGAI Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 14 : 76-91. Buenos Aires, Argentina.
- MARCUZZI, J. J.; NADIR, R.A.; ALONSO, R.; PERALTA, C. Y R. ARGANARAZ; 1996.
Riesgos Geoambientales y Ordenamiento del Gran Salta.
XII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas IV: 463-479.
- MOYA, M.C Y G..A.; LOPEZ; 2000.
Flujos gravitacionales mineralizados en le Ordovícico del Cordón de Lesser, Cordillera Oriental Argentina.
Memorias XIV Cong. Geol. Boliviano, La Paz; pp416-420.
- NÚÑEZ, V.; GARRIDO, D. A.; MARCUZZI, J. J.; OLANETA, M. R.; GUTIÉRREZ, M. D.; PERALTA, C. M. Y G. A. LÓPEZ; 2000.
Criterios para la Ordenación Territorial de Finca Las Costas. Departamento Capital. Salta.
IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota - Capítulo Argentina. Puerto Iguazú, Misiones, Argentina. Programa y Resúmenes, pp 342.
- RUSSO, A.; 1972.
La Estratigrafía del Terciario del Noroeste Argentino.
V Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires.
- TURNER, J. C. M. Y R. MON; 1979.
Cordillera Oriental. Geología Regional Argentina. Segundo Simposio.
Acad. Nac. de Ciencias. Córdoba, Argentina. Vol. I; pp 57-94.
- U.S. FOREST SERVICE; 1974.
Watershed Management Department of Agriculture.
Washington D.C., USA.



Evaluación de la perturbación del acuífero freático en el Arroyo Conchitas

Provincia de Buenos Aires, Argentina

Silva, Adrián ¹ - Olivares, Oscar ² - Fresina, Mirta ³

Resumen

Este estudio, tiende a establecer la relación entre los usos del suelo y la calidad del agua subterránea. Mediante el análisis estadístico, se estableció la tendencia general. El impacto ambiental de los usos del suelo y la distribución espacial de los datos hidrogeológicos, fueron evaluados con los coeficientes de correlación.

1. INTRODUCCIÓN

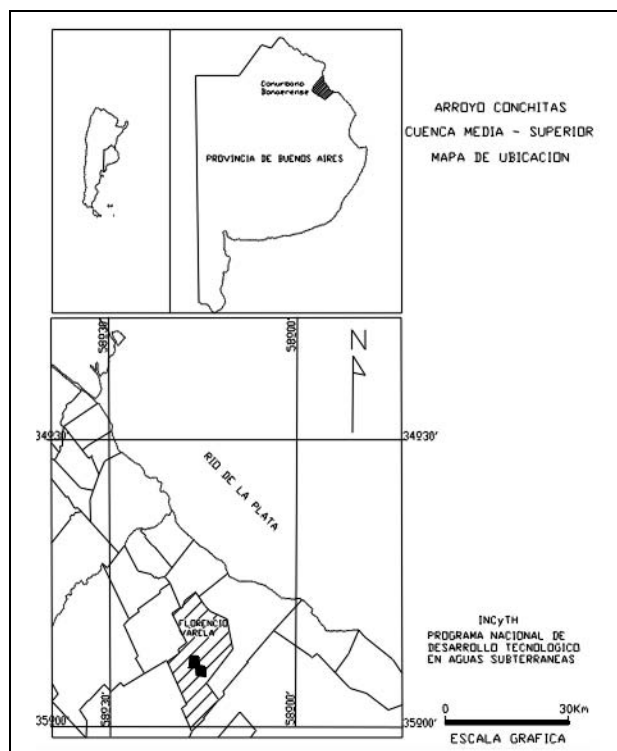
La evaluación del impacto producido en los recursos de una región a causa del uso del suelo y la perturbación consecuente del acuífero libre o freático en la misma, puede ser una importante herramienta para la determinación de la afectación sobre estos recursos en áreas urbanas o suburbanas. La relación entre el uso del suelo y las perturbaciones en el acuífero freático en una cuenca hídrica del Arroyo Conchitas, en el Conurbano Bonaerense, (Silva et al, 1995), nos ha permitido proponer una metodología de evaluación semicuantitativa de dicha perturbación sobre el medio. El presente trabajo propone una metodología de evaluación de la afectación del uso del suelo sobre el acuífero freático que pueda utilizarse en forma comparativa a nivel regional.

Entregado: 18 de Abril de 2000 ■ Aceptado: 21 de Noviembre de 2000

1. Programa Nacional de Tecnologías Sustentables en Aguas Subterráneas, INA, Argentina.
2. Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires, Argentina.
3. Cátedra de Hidrogeología. Departamento de Geología. Universidad Buenos Aires.

Cangallo 944, Martínez (1640), Pcia de Buenos Aires.
email: fresina@gl.fcen.uba.ar

FIGURA1: MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



2. ÁREA DE ESTUDIO Y ANTECEDENTES

El área de estudio es el sector medio de la cuenca hídrica del Arroyo Conchitas y se halla en el partido de Florencio Varela, Conurbano Bonaerense (Figura 1).

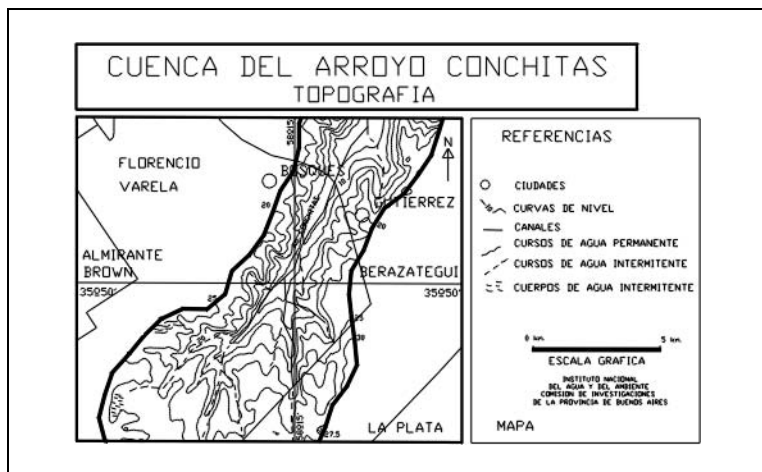
Geología de las unidades aflorantes

Pampeano:

Bajo esta denominación se agrupa a las Formaciones Ensenada y Buenos Aires; las dos unidades son muy similares y en algunos casos de difícil separación, por lo tanto actualmente a este conjunto se le agrupa, en general como sedimentos pampeanos. Abarcan gran parte de la llanura Chaco-Pampeana y son depósitos medianos a finos, limos

y arcillas con intercalaciones calcáreas concrecionales o tipo mantiformes (tosca). El color dominante es el castaño, con tonalidades amarillentas a rojizas. En gran medida corresponden a sedimentos transportados por el viento desde la cordillera ya emergida para esa época (Plio-Pleistoceno) y 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 conocido loess pampeano, que fue retrabajado incesantemente por ríos, arroyos y pequeños cursos de agua redepositándolos en cauces y planicies costeras, hasta la actualidad. El Pampeano en la zona de estudio varía en espesor entre 25 m y 30 m, pero puede alcanzar los 40-45 m en las canteras de la costa del Río de la Plata.

FIGURA 2: MAPA TOPOGRÁFICO DE LA CUENCA DEL ARROYO CONCHITAS



Post-Pampeano:

Se identifica con este nombre a todos los depósitos más modernos que los pampeanos que abarcan desde el Pleistoceno superior a la actualidad; tienen variado origen: fluvial, lacustre, marino y eólico. Comprende a varias formaciones geológicas; predomina el tamaño de grano fino, limo y arcilla de colores grises y verdosos, y algunos cordones conchales y conglomerados calcáreos depositados durante la última ingresión marina hace unos 6.000 años cuando ocupó completamente el estuario del Río de la Plata. Las acumulaciones postpampeanas son discontinuas arealmente y se les encuentra en los valles de los ríos Reconquista, Matanza, depresiones interiores y zona costera del Río de la Plata.

Hidrogeología

Se distinguen tres grandes secciones o unidades hidrogeológicas apoyadas sobre el basamento impermeable, denominándose Sección Hipopuelches, la inferior; Sección

Puelches, la media; y Sección Epipuelches, la superior. Dentro de estas unidades hidrogeológicas se distinguen complejos sedimentarios acuíferos, complejos de baja permeabilidad (acuitardos) y unidades impermeables (acuícludos). La sección superior, que es de interés en este trabajo, denominada Epipuelches, está alojada en sedimentos del Pampeano y Postpampeano. Se distinguen dos niveles acuíferos, uno de carácter freático libre y otro semiconfinado. La capa freática, que en algunas zonas se encuentra muy deprimida, recuperando en respuesta a períodos muy lluviosos, o por cese en la explotación de acuíferos inferiores a la misma; proporciona bajos caudales, inferiores a 1 m³/h y presenta aguas de mala calidad por su contaminación química y bacteriológica con pozos sépticos domiciliarios, la topografía y la altimetría del techo de los Sedimentos del Pampeano suelen coincidir en la mayor parte de la región, (Figura 2). A veces emerge en forma de lagunas y otras aparece casi a los 4 o 10 metros de profundidad. El incremento salino es además función de la eva-

poración solar. La primera capa semiconfinada está limitada, superior e inferiormente por sedimentos acuitados, y se alumbra generalmente a profundidades que varían entre 10 y 30 metros, de acuerdo a la cota del terreno fundamentalmente. Este acuífero proporciona caudales de extracción muy dispares según su emplazamiento y pueden variar entre 1 y 40 m³/h. Desde el punto de vista de su calidad, las aguas de este acuífero son duras, tienen excesos de nitratos y frecuentemente presentan contaminación bacteriológica y de oligoelementos provenientes de residuos industriales que son derivados a pozos filtrantes. Sus características químicas las clasifican como clorocarbonatadas francamente cloruradas y con aumento de sulfato.

El grado de deterioro de los acuíferos en la región del Conurbano Bonaerense se ha atribuido a diversas causas; en general la Sección Hipopuelches y en algunas áreas de la Sección Puelches se ven afectadas por la contaminación de pozos sépticos que caracteriza (*Santa Cruz, 1995*), las áreas urbanas sin sistemas cloacales y el deterioro por agricultura intensiva en el área del gran La Plata (*Auge, 1991*). Además, las depresiones por bombeos de industrias y suministro de agua domiciliar ha caracterizado también el deterioro de los acuíferos de la región, el avance de la intrusión salina en las áreas urbanas (*Hernández, 1975; Santa Cruz et al, 1996*). *Auge, (1994)* determina que la contaminación por hidrocarburos totales en los acuíferos Postpampeano (Querandino) y Pampeano (Epipuelches), tienen una distribución vertical caracterizada por una continuidad hidráulica entre ambos y mayor potencial hidráulico del primero. De esto surge que el conocimiento de la afectación del acuífero freático puede indicar en cierta forma la afectación en los acuíferos inferiores. En muchos casos, la intensidad de esta explotación provoca depresiones lo suficientemente importantes como para alterar el régimen natural de recarga de los sistemas acuíferos, de tal forma que no es posible definir al acuífero libre en el área afectada. Esto suele ocurrir en los conos de depresión regionales (*Hernández, 1975; Santa Cruz et al, 1996*).

3. METODOLOGÍA

La zona sur del Conurbano Bonaerense (partidos de Lanús, Lomas de Zamora y Almirante Brown) ha sido estudiada desde el punto de vista de su vulnerabilidad en el sistema acuífero por *Fernández y Arensburg, (1994)*. De acuerdo con estos autores, en los últimos veinte años, el grado de vulnerabilidad aumenta progresivamente por disminución de la zona no saturada. Los mismos autores proponen la realización de mapas de riesgo para contaminantes particulares y controles periódicos de los acuíferos afectados. Además, proponen también, considerar todo el sistema acuífero suprayacente a la formación Paraná. En tal sentido *Fresina, Forzinetti y Silva, (1995)* proponen un

mapa de vulnerabilidad para el sistema acuífero en la región central de la Provincia de Santa Fe, concluyendo en la necesidad de estudios más específicos para determinar, vulnerabilidad y grado de afectación del acuífero.

En estos estudios mencionados el espesor de la zona no saturada, litología y tipo de acuífero son las variables que condicionan la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos (*Foster, 1992*). En este caso se considera además la conductividad y temperatura como indicadores de la afectación. La primera se considerará representativa de la calidad química del agua subterránea y la segunda, por su relación con perturbaciones severas, como indicador de inyección en niveles acuíferos (*Custodio, 1994*). Estos índices los consideraremos como representativos de la magnitud de la afectación para el acuífero freático.

La vinculación entre el uso del suelo y el acuífero libre de la zona estudiada y los mapas piezométricos, conductimétricos y de usos de suelo (*Bolzico et al, 1993; Silva et al, 1995*) pueden utilizarse para complementar la determinación del grado de afectación. Para ello se utilizaron datos obtenidos de los pozos para abastecimiento humano y ganadero de la zona con una densidad de un punto por 0,67 Km². Estos datos hidrogeológicos fueron tratados mediante una metodología de tipo estadístico consistente en el análisis de "clusters" o "cluster analysis". Así se determinaron conjuntos de pozos en los cuales las variables tenían similares valores y una muy baja desviación estándar. Se obtuvieron cuatro categorías representadas en el mapa de la distribución espacial de grupos homogéneos de pozos, (Figura 3).

A partir del mapa de suelos del trabajo mencionado se realizó un mapa de evaluación del impacto ambiental de los usos del suelo. Para realizarlo se dividió el área en celdas de 0.5 km², en cada celda se calculó el porcentaje de superficie ocupada por cada uso del suelo. Los usos considerados son. Agropecuario intensivo y extensivo, minería, recreativo, urbano e industrial. A su vez a cada uso se le asignó un peso o ponderación obtenido a través de la aplicación del método Delphi, expuesto inicialmente por *Balkey (1968)*, el mismo se basa en encuestas sistemáticas de grupos de opinión significativa, integrando dichos grupos especialistas en temas relacionados. Eventualmente según el objetivo del análisis puede incluirse al público en general, *Cendrero y Díaz de Terán, (1987)*. El peso o ponderación asume valores entre 0 y 1. Con estos dos datos y la expresión $V_i * P_i$, donde V_i es el porcentaje ocupado por un uso y P_i es el peso o ponderación del uso, se obtiene el índice de impacto ambiental del uso del suelo (IAAUS). Al sumar los valores de IAAUS de cada uso se obtiene el IAAUS para cada celda. Se obtuvieron 132 datos que se sometieron a un tratamiento estadístico con el fin de calcular la distribución de frecuencias y elaborar así un histograma (Figura 4).

FIGURA 3: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE GRUPOS HOMOGÉNEOS

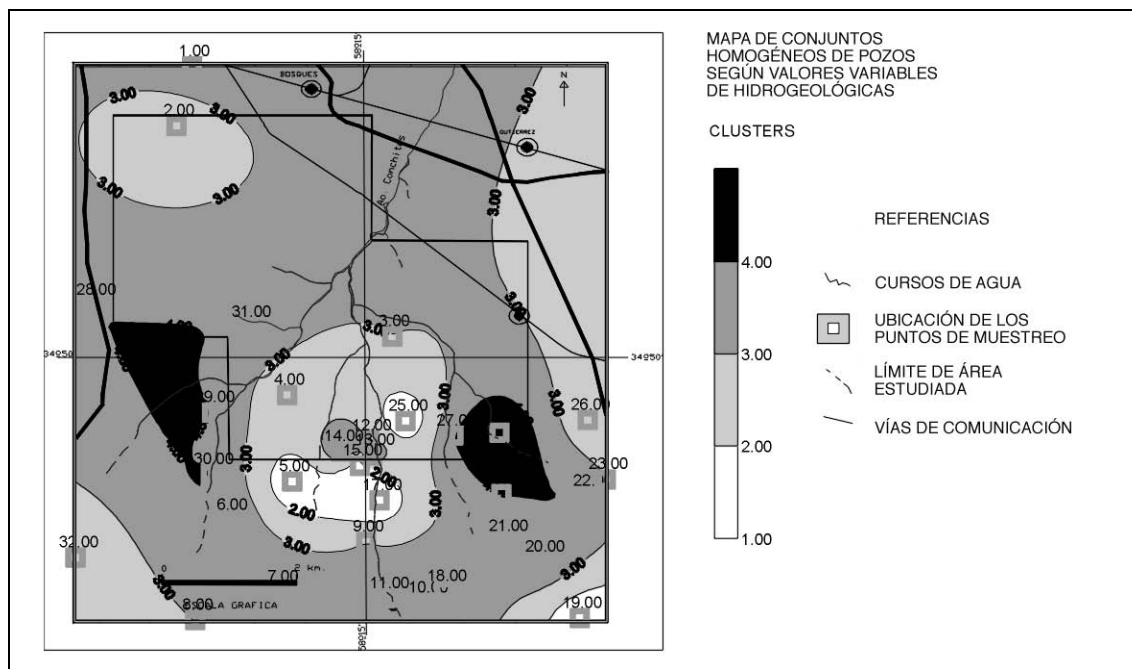
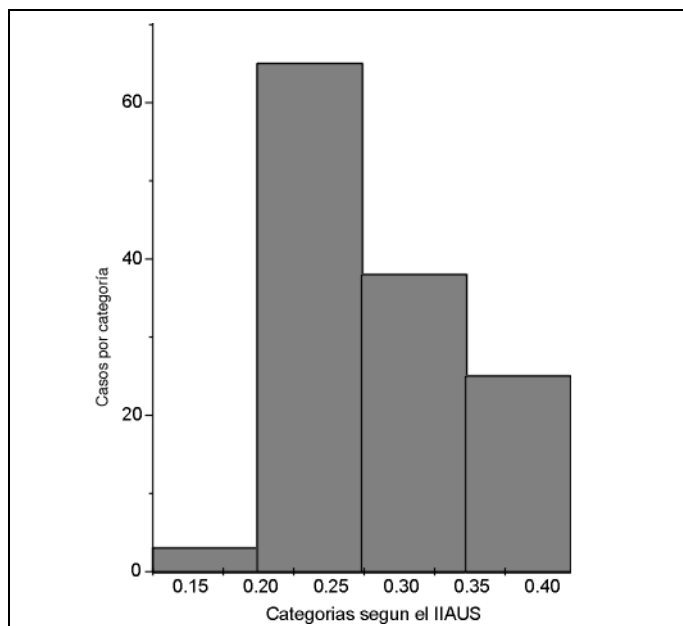


FIGURA 4: HISTOGRAMA DE LAS CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DEL SUELO (IIAUS)



Las categorías determinadas se mapearon dando como resultado un mapa de evaluación del impacto ambiental de los usos del suelo (Figura 5).

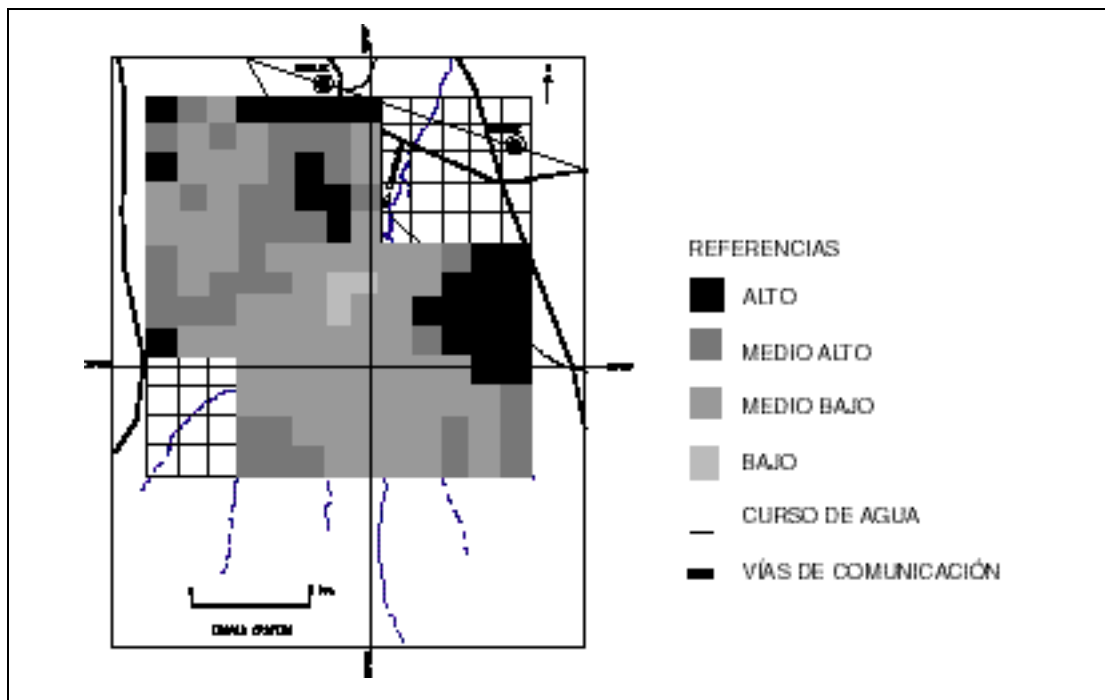
En lo sucesivo se propondrá una metodología para determinar semicuantitativamente el grado de afectación del acuífero freático en función del uso del suelo con base en modelos estadísticos.

4. RESULTADOS

El mapa de la Figura 4 representa la distribución

espacial de 4 “clusters”, dentro de los cuales las variables hidrogeológicas presentan similares valores. No se trata de la intensidad de ellos, por lo menos en una lectura directa, sólo es un mapa de similitudes. Por ejemplo: en el grupo 3 y 4 la profundidad del nivel freático es significativa y la conductividad es baja mientras que en los grupos 1 y 2 aumenta la conductividad y disminuye la profundidad del nivel freático. Finalmente, existe cierta probabilidad de que un nuevo muestreo dentro de un grupo determinado, de como resultado valores similares a los del “cluster” preexistente.

FIGURA 5: MAPA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE USOS DEL SUELO (IIAUS)



Por otro lado, el mapa de la figura 5 permite ver que el área de menor impacto corresponde a una topografía baja y plana mientras que las tierras altas (divisorias de aguas), presentan mayor impacto por usos del suelo. Las celdas de valores mayores de IAAUS también son casi siempre las de mayor cantidad de usos por celda.

Relacionando los dos mapas se ve que el grupo 4, con nivel freático profundo, coincide con valores altos de IAAUS. No se trata de una casualidad. Sin embargo, tampoco es posible establecer una relación directa sin conocer otras variables hidrogeológicas. No obstante es un indicio que permite saber hacia donde centrar la atención en el futuro.

5. CONCLUSIONES

- Existe correspondencia en el comportamiento de las variables medidas en los pozos de forma tal que pueden agruparse por sus similitudes.
- Existe correspondencia entre la afectación del

acuífero libre y la afectación del uso del suelo hecho por metodologías diferentes.

- La afectación del sistema acuífero por el uso del suelo podría traducirse en una afectación en los acuíferos más profundos considerándolo como un sistema multicapa con conexión hidráulica vertical.
- Se recomienda el uso de mapas de suelos, piezométricos y de isoconductividad, que junto con el método propuesto pueden definir mejor el grado de afectación de un área.
- En zonas con litologías y acuíferos similares, estudios a nivel cuenca hídrica puede compararse con un grado de aproximación satisfactoria.
- Esta cartografía tiene como principal objetivo orientar futuras investigaciones, plantear hipótesis y optimizar el uso de los recursos necesarios para numerosos muestreos. De ninguna manera se pretende inferir datos de uno respecto del otro.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AUGE, M.P., 1991.

“Sobreexplotación del Acuífero Puelche en La Plata, Argentina”,
Actas del XXIII Congreso A.I.H. “Sobreexplotación de Acuíferos” - Puerto de la Cruz, Canary Islands, Spain.

AUGE, M.P. Y HERNÁNDEZ, M., 1983.

“Características geohidrológicas de un acuífero semi confinado (Puelche) en la Llanura bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de las llanuras dilatadas”
Hidrogeología de las Grandes Llanuras,
Actas del Coloquio de Olavarría. II 1019:1042, UNESCO - CANAPHI, Buenos Aires.

- BALKEY, N. C., 1968.
"The delphi method; and experimental study of group opinion."
Rand memorandum 5888. P. R. Rand Corporation. Santa Mónica, California.
- BOIZICCO, H, BOJANICH, M. Y CACIK, J., 1993.
"Problemas creados por los niveles freáticos en áreas Urbanas y Suburbanas".
Actas del X Simposio de Recursos Hídricos Brasileños, Tomo 4, pág. 579-585.
- CENDRERO UCEDA, A, 1987.
"Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones".
Naturzale, 12: 5-25. Santander, Cantabria
- CUSTODIO, E, Y LLAMAS, J., 1975.
"Hidrogeología Subterránea".
Vol II, Cap. 23.1, Pág. 2342-2348.
- FERNÁNDEZ A.E., Y ARENSBURG, I., 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, Pág. 17-30.
- FRESINA M., FORZINETTI M. Y SILVA, A. 1995.
"Evaluación Cualitativa de la Vulnerabilidad del acuífero libre en el área hidrogeológica del Río Salado, Provincia de Santa Fe".
Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería Vol. 9, 214-224.
- GIMÉNEZ, J, 1992.
"Informe Calidad de aguas en el Partido de Berazategui".
Departamento Bromatológico-Bacteriológico Municipalidad de Berazategui. Informe Interno.
- GROEBER, P. 1945.
"Las aguas surgentes y semisurgentes del norte de la provincia de Buenos Aires"
Revista La Ingeniería Junio
- HERNANDEZ, M. N., GONZÁLEZ, R., DE FELIPPI, O. Y RUIZ DE GALARRETA, A., 1992.
"Reconocimiento Geohidrológico Ambiental en el Area de Santa Catalina, Lomas de Zamora".
Terceras Jornadas Geológicas Argentinas. Págs. 175-181.
- HERNANDEZ, M.A. 1978.
"Reconocimiento Hidrodinámico e hidroquímico de la interfase Agua Dulce-Agua Salada en las aguas subterráneas del estuario del Plata". (Partidos de Quilmes y Berazategui, Buenos Aires).
VII Congreso geológico Argentino, Neuquén, Actas II: 273-285.
- HERNANDEZ, M.A. 1975.
"Efectos de la Sobreexplotación de aguas Subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores. Rep. Argentina".
II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. La geología en el Desarrollo de los Pueblos.
- RUIZ HUIDOBRO, O. Y SALA, J. M., 1978.
"Sobre explotación del acuífero en Villa Domínico".
VII Congreso Geológico Nacional, Neuquén.
- SANTA CRUZ, J., SILVA, A., AMATO, S., GUARINO, M. M., VILLEGAS, D. Y CERNADAS, M., 1996.
"Explotación y Deterioro del Acuífero Puelches en la región metropolitana de la República Argentina".
Agua en revista, CPRM, Brasil, Año 2, vol. 1 pág. 48-57.
- Silva, A., Amato, S., Guarino, M. M., Olivares, O. y Villegas, D., 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 pág. 111-126.
- SILVA, A., O. R. OLIVARES, 1998.
"Implicancias ambientales del uso del suelo sobre el acuífero freático de la cuenca del Arroyo Conchitas. Buenos Aires, Argentina".
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente Vol. 12, 141-154.



Geohidrología del abanico aluvial de la Quebrada de Incahuasi

Salta, Argentina

Soler, Ramiro Daniel

Resumen

El abanico aluvial de la quebrada de Incahuasi, desarrollado entre el Salar de Pocitos y el nevado de Queva en la Puna salteña, constituye una unidad hidrogeológica de enorme importancia para la región dadas sus favorables posibilidades de almacenar y transmitir agua subterránea en cantidades económicamente explotables. En el presente trabajo se presentan los resultados de la evaluación geohidroológica preliminar realizada a dicha unidad a partir de la prospección geofísica y la realización de una perforación de exploración. Posteriormente el diagnóstico hidrogeológico se complementó con el análisis físico-químico del agua subterránea de los niveles acuíferos alcanzados. La prospección geofísica incluyó la realización de sondeos eléctricos verticales con la metodología Schlumberger, cuyo propósito fue determinar la ubicación más favorable para la ejecución de la perforación exploratoria que alcanzó una profundidad de 68,5 m.

A partir de la información brindada por la perforación puede definirse un esquema hidroestratigráfico formado por dos niveles acuíferos: el superficial, freático o libre ubicado entre la superficie y los 48 m de profundidad y el profundo desde los 52 m hacia abajo, sin haberse alcanzado el límite inferior.

Las características físico-químicas y bacteriológicas del agua contenida en ambos acuíferos indican aguas de tipo sulfatada magnésica (Acuífero freático) y sulfatada sódica (Acuífero confinado).

1. INTRODUCCIÓN

La región morfoestructural de la Puna abarca una extensa porción del noroeste argentino entre la Cadena Andina en el oeste y Cordillera Oriental hacia el este.

Su potencial económico actual se relaciona fundamentalmente con la actividad minera, a la que se subordinan actividades menores como el turismo de aventura o emprendimientos agrícola-ganaderos de pequeña escala.

La posibilidad de contar con suministro de energía (gas y electricidad), sumado al mejoramiento de las rutas

y a la reactivación del ferrocarril han abierto nuevas posibilidades para el desarrollo de la región.

Entre las principales actividades promovidas se encuentra la radicación de plantas industriales mineras.

Uno de sectores propuestos para la creación de un parque minero-industrial es la localidad de Salar de Pocitos, debido a su estratégica ubicación dentro de la Puna salteña y el noroeste argentino.

En consideración que el agua constituye un elemento esencial para este tipo de proyectos, se efectuó una evaluación geohidroológica del sector circundante al área de probable emplazamiento del predio en la porción noreste del Salar de Pocitos. El primer objetivo planteado fue identificar sectores favorables para la ejecución de obras de

Entregado: 01 de Noviembre de 2000 ■ Aceptado: 22 de Noviembre de 2000

Universidad Nacional de Salta. Escuela de Geología.
Av. Bolivia 5150. 4400 Salta.
e-mail: rsoler@unsa.edu.ar

captación del recurso hídrico subterráneo el que, en principio, resultaba más satisfactorio respecto de las potenciales fuentes superficiales debido a que estas últimas se ubican a una gran distancia de los lugares a abastecer.

La extrema aridez del clima, con precipitaciones que rara vez superan los 50 mm anuales, hizo necesario focalizar la atención en las unidades hidrogeológicas con mejores perspectivas para almacenar y transmitir agua en cantidades explotables.

Los sistemas aluviales cuaternarios, ampliamente desarrollados en la región, constituyen debido a sus características morfológicas y sedimentológicas, zonas de elevada infiltración convirtiéndose en importantes receptáculos de agua subterránea, por lo general, de excelente calidad.

Dentro de estos ambientes los abanicos aluviales son las formas más desarrolladas entre los sectores pedemontanos que separan las áreas montañosas de las planicies circundantes a los salares.

En la zona de estudio merecen destacarse los que se desarrollan al pie de la Sierra de los Pastos Grandes entre los que se encuentra el abanico de la quebrada de Incahuasi, que ocupa el flanco occidental del Complejo volcánico del Quevar. Con el fin de evaluar la potencialidad hidrogeológica de esta unidad se realizaron estudios geofísicos de superficie mediante métodos eléctricos verticales que fueron complementados con la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales y posteriores observaciones de campo. La utilización de criterios morfológicos y sedimentológicos permitió inferir el probable esquema de circulación hídrica subterránea y, finalmente, definir la ubicación más favorable de la perforación de exploración. Posteriormente se analizaron muestras de agua de los niveles alumbrados para establecer sus características y aptitud físico-química para los potenciales usos futuros.

2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio (Fig. 1) se ubica en el sector noroeste del Salar de Pocitos, departamento Los Andes, en el oeste de la provincia de Salta. Se encuentra limitada al norte por los conos volcánicos Tul-Tul, del Medio y Pocitos y en el sur por las estribaciones septentrionales del Cordón de la Quebrada Honda.

El límite oriental lo constituyen el Nevado de Queva y el Cerro Azufre, pertenecientes a los Nevados de Pastos Grandes. Hacia el oeste se localiza la depresión salina de Pocitos.

El acceso a la comarca se realiza desde la ciudad de Salta a través de la ruta nacional N° 51 con camino pavimentado hasta la localidad de Campo Quijano y posteriormente con camino consolidado se circula a lo largo de la Quebrada del Toro hasta San Antonio de los Cobres y

desde allí hacia el oeste, luego de atravesar las poblaciones de Cauchari y Olacapato, se arriba a la zona de estudio.

3. CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS Y CLIMÁTICAS

La fisiografía de la Puna está caracterizada por una sucesión de cordones y valles alargados en dirección norte-sur producto de la adaptación del relieve al estilo estructural de la región de "montañas de bloque". Estas unidades estructurales no solo han sido afectadas por movimientos diferenciales entre sí sino también han sufrido basculamiento, lo que queda reflejado en la asimetría del perfil de las serranías siendo posible, en algunos casos, observar superficies de planización pre-tectónicas. La altitud media de la región es de 4.000 m sobre el nivel del mar. Los sectores intermontanos están ocupados por depresiones, igualmente alargadas, que presentan en su parte central acumulaciones salinas que reciben el nombre de salares.

La tectónica de la región, especialmente durante el Terciario, ha generado una intensa actividad volcánica y termal que tuvo una directa influencia en la evolución de estas acumulaciones evaporíticas al aportar la mayor parte de las soluciones salinas (Igarzábal 1991a).

Las condiciones climáticas frías y húmedas existentes durante el Pleistoceno habrían dado origen a una serie de lagos, inicialmente de agua dulce, que a partir de los aportes termales se fueron salinizando progresivamente a la vez que iban aumentando de tamaño.

El cambio climático hacia condiciones de aridez, producido hacia fines del Terciario, habría provocado una intensa evaporación de las aguas acompañado de la precipitación de importantes volúmenes de sales.

El área pedemontana de los cordones montañosos esta ocupada por extensos abanicos aluviales que en muchos casos coalescen formando un plano continuo.

Su etapa de formación más estaría relacionada con condiciones climáticas más húmedas que las actuales por lo que pueden considerarse prácticamente infuncionales afectados solo por procesos secundarios.

En el entorno de la zona de estudio los elementos orográficos de mayor altitud se ubican en el este y corresponden a los Nevados de Pastos Grandes que incluyen, entre otros, al Nevado de Queva, de 6.130 m, y al cerro Azufre, hacia el sur, con 5.810 m de altura. Forman parte de una imponente construcción volcánica desarrollada sobre un zócalo de esquistos proterozoicos (Vilela 1969).

Hacia el sector occidental se localiza la depresión salina de Pocitos con una superficie cercana a los 435 km² y una morfología elongada en sentido norte-sur y la altitud media es de aproximadamente 3.660 m sobre el nivel del mar (Igarzábal 1985).

Constituye el punto de confluencia de una extensa cuenca endorreica de 3.275 km² desarrollada principalmente hacia el oeste, donde se localizan los cursos que drenan la Sierra de Calalaste y las Cumbres de Macón.

El régimen hidrológico de los ríos es efímero a temporario durante los años de altas precipitaciones.

Aunque los cursos de este sector drenan una superficie mayor esta situación no se refleja en los caudales descargados hacia el salar, los que a causa de la rápida infiltración, son prácticamente inexistentes.

En la margen oriental de la cuenca de Pocitos, el drenaje es más efectivo, con una serie de cursos que confluyen en la Quebrada de Incahuasi a cuya desembocadura se desarrolla el imponente abanico aluvial sobre el que se asienta la localidad de Salar de Pocitos.

Al igual que en los casos anteriores, los cursos son efímeros a temporarios y su funcionalidad queda restringida a los meses de verano ya sea por efecto de precipitaciones directas o por fusión de la nieve acumulada en las cabeceras. Luego de realizar un corto recorrido en superficie las aguas fluviales se infiltran al ingresar en la zona deposicional, debido a la alta permeabilidad de los materiales que ocupan esta porción, alimentando las reservas subterráneas que en algunos sectores, aflora en forma de vegas o manantiales.

Las precipitaciones que ocurren en la región son principalmente estivales (Tabla 1), y las temperaturas medias anuales no superan los 9° C. La humedad relativa ambiente es muy baja, especialmente en los salares, donde los registros higroscópicos pueden alcanzar valores cercanos al 0. Los vientos predominantes soplan desde los cuadrantes O, ONO y OSO.

El frente oriental de la Puna forma una barrera

orográfica que intercepta las masas de aire cargadas de humedad procedentes del este lo que provoca que solo una pequeña parte de la humedad atmosférica logre ingresar a la región. Este esquema de circulación de vientos provoca que la Puna se comporte como un desierto producido por efecto de sombra pluviométrica (*rain shadow desert*) (Alonso 1991).

En el sistema de circulación de vientos de esta parte del Hemisferio sur el choque de masas de aire caliente Ecuatorial y tropical con diferente contenido de humedad, produce importantes precipitaciones ciclónicas debido a la formación de nubes de desarrollo vertical (*cumulonimbus*).

En otoño e invierno el movimiento de los frentes polares hacia el norte suele ser bloqueado por un puente de alta presión que conecta los anticiclones semiestacionarios del Pacífico y Atlántico.

Cuando ese puente está situado sobre las provincias de La Pampa y Buenos Aires, se desarrolla un flujo continuo de masas de aire tropical marítimo desde el este y hacia el norte, produciendo nubes bajas con lloviznas o garúas, extendidas y persistentes, especialmente donde se presenta un ascenso orográfico como en las provincias de Tucumán, Jujuy y Salta (Buitrago y Larrán 1994).

Los efectos en la Puna se originan sobre todo en el hecho de que actúa como una aislada superficie de calentamiento en gran altura (utilizando prácticamente toda la radiación neta disponible, dado que la evaporación en esa región es insignificante debido a la elevada aridez) y desarrolla un fuerte ascenso del aire caliente en la atmósfera. El aire ascendido es compensado por aire más frío procedente, no solo de la atmósfera libre vecina (al este), sino también de los pronunciados valles que descienden desde el borde oriental de la Puna hacia la región situada en niveles más bajos (Buitrago y Larrán 1994).

TABLA 1: PRECIPITACIÓN MEDIA ESTACIÓN SALAR DE POCITOS 1950-1990 (Fuente: Ferrocarril Gral. Belgrano)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
19	10	2	0	0	0	0	0	0	1	1	3	36

La aridez del clima se refleja del mismo modo en el escaso desarrollo del suelo, siempre esquelético, constituido esencialmente por productos de meteorización mecánica. Aparecen, por lo general, sustentando una escasa vegetación arbustiva.

4. MARCO GEOLÓGICO

El entorno geológico de la zona de estudio esta formado esencialmente por rocas volcánicas terciarias, depósitos aluviales y rocas evaporíticas cuaternarias. Las unidades

que afloran en la porción oriental corresponden a andesitas y dacitas que forman parte de los Nevados de Pastos Grandes (Vilela 1969).

Se trata de efusiones lávicas que cubren potentes sedimentos ordovícicos de la Formación Copalayo (areniscas, pizarras y lutitas), los que también afloran hacia el sur como parte del Cordón de Pozuelos (Igarzábal 1991b). Las acumulaciones aluviales cuaternarias ocupan principalmente el ambiente pedemontano, destacándose especialmente el abanico aluvial de la Quebrada de Incahuasi, cuya porción distal alcanza la margen noreste del Salar de Pocitos.

Se componen principalmente de sedimentos arenosos y limo-arenosos provenientes de la fragmentación mecánica de las rocas volcánicas aflorantes en la cuenca de recepción y áreas circundantes, los que son acarreados por la acción fluvial.

Sobre la superficie se presentan numerosos fragmentos de rocas volcánicas modelados por la intensa y constante acción erosiva del viento (ventifactos). Hacia el este ocurren las acumulaciones evaporíticas modernas del Salar de Pocitos.

Desde el punto de vista mineralógico corresponden a rocas evaporíticas de carácter mixto, con alternancia de material detrítico y cristalino (Igarzábal 1985) y aunque las costras de sal que ocupan la superficie, ya sea lisas o rugosas, presentan una buena representación la mayor parte del salar es terrosa.

5. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

5.1. Antecedentes geohidrológicos

Los escasos antecedentes geohidrológicos de la zona de estudio provienen de obras de captación efectuadas en la localidad de Salar de Pocitos. En la actualidad, el abastecimiento para consumo humano de los pobladores se realiza a partir de agua subterránea del acuífero freático captada por medio de una perforación ejecutada por la Dirección General de Obras Sanitarias de Salta (DGOS) en el año 1978 cuya profundidad final alcanza los 32 m. El agua extraída por bombeo se almacena en un tanque elevado de 48 m³ de capacidad y posteriormente se distribuye a la red domiciliaria.

Existe otro pozo excavado de 6 m de profundidad que abastece a un conjunto de viviendas ubicadas en el predio de la Estación "Salar de Pocitos".

5.2. Prospección geoelectrica

Se efectuaron siete sondeos eléctricos verticales en disposición tetraelectrónica Schlumberger, con la utilización de un equipo digital de emisión-recepción en corriente continua de los cuales cinco arrojaron resultados satisfactorios (Gutiérrez et al. 1998). Los electrodos de corriente (A-B) usados son de acero inoxidable y los de potencial (M-N) de cobre en contacto con una solución saturada de sulfato de cobre.

En algunos sondeos, ante la presencia de problemas de contacto, se utilizaron electrodos de cobre enterrados en el suelo. Las longitudes de apertura del circuito de corriente (O-A) variaron entre 2 y 400 m, mientras que para el de potencial (M-N) la separación varió entre 1 y 50 m.

Las curvas preliminares de resistividad obtenidas en

el campo se interpretaron primeramente por el método gráfico de superposición basado en la comparación con curvas patrón del *Catálogo de Orellana y Mooney (1966)* y posteriormente se ajustaron los resultados con la utilización de programas de computación (Gutiérrez et al. 1998; Soler 1998).

5.3. Hidroestratigrafía e Hidroquímica

A partir de los resultados obtenidos se definió la unidad hidrogeológica Abanico Aluvial Incahuasi desarrollada en la desembocadura de la quebrada de Incahuasi sobre el área pedemontana del flanco occidental del complejo volcánico Nevado de Queva.

Está formada por depósitos aluviales de gran desarrollo, tanto areal como vertical, acarreados por la acción fluvial predominando las granometrías arenosas finas a medianas y limosas. Sobre la superficie del abanico se desarrolla una red de drenaje secundaria que colecta el escurrimiento producido a partir de las precipitaciones producidas sobre el propio abanico y los cursos que la componen tienen carácter efímero y escasa longitud, volviéndose prácticamente irreconocible hacia la porción distal debido a la rápida infiltración de los caudales en el tramo inmediatamente superior.

Existe una tendencia del escurrimiento fluvial principal a concentrarse actualmente sobre la margen izquierda del abanico lo que ha generado mayor desarrollo hidrográfico en este sector.

La pendiente superficial del abanico es poco pronunciada volviéndose más suave hacia la porción distal donde los materiales más finos llegan a alcanzar los depósitos evaporíticos de la margen oriental del Salar de Pocitos en donde se emplaza la localidad homónima.

Desde el punto de vista geohidrológico sobre la base de la información geofísica, litológica e hidráulica puede definirse un esquema hidroestratigráfico (Tabla 2) formado por: una sección superior ocupada por el Acuífero freático, que abarca desde la superficie hasta aproximadamente 48 m de profundidad y esta compuesta por arenas medianas a gruesas con intercalaciones de arenas finas algo limosas y con baja consolidación.

La superficie hidráulica de esta unidad se ubica actualmente a los 4 m de profundidad.

Las perforaciones efectuadas en estos niveles han brindado caudales específicos cercanos a los 800 l / h por m de depresión.

La sección inferior que corresponde al Acuífero confinado es una sucesión uniforme de arenas finas a medianas de color gris oscuro, bien seleccionadas y con baja consolidación. Abarca desde los 52 hasta los 70 m de profundidad continuando hacia abajo ya que el límite inferior

TABLA 2: BOSQUEJO HIDROESTRATIGRÁFICO PRELIMINAR

Profundidad (m)	Modelo Geoeléctrico	Litología	Hidroestratigrafía
0 - 48	9 - 22 Ohm.m	Arenas medianas a gruesas grises amarillentas, poco consolidadas	Acuífero freático
52 - 70 y continúa	25 - 77 Ohm.m	Arenas finas a medianas gris oscuras, poco consolidadas	Acuífero confinado

no fue alcanzado por la perforación exploratoria.

Ambas unidades se encuentran separadas por una capa confinante de baja permeabilidad y de naturaleza arcillosa con escasa matriz limosa ubicada entre los 48 y 52 m.

La perforación efectuada al atravesar este nivel confinado provocó el ascenso del nivel hidráulico hasta la superficie y la surgencia espontánea del agua por la boca del pozo. Los caudales de surgencia medidos son cercanos a 1.300 l/h.

Su mayor productividad se refleja en los caudales brindados que oscilan entre los 6.500 l/h con una depresión de 6,36 m que corresponde a un caudal específico de 1.022 l/h.m.

La zona de recarga (Fig. 2) se ubica en el área apical del abanico, donde se produce la infiltración de las aguas superficiales que solo recorren una corta distancia en superficie en

la parte alta de la cuenca donde el substrato, predominantemente volcánico, se comporta como impermeable.

El menor gradiente y el escaso desarrollo aluvial de los canales que ocupan esta porción favorecen el escurrimiento fluvial originado por la fusión, durante los meses de verano, de la nieve acumulada en la alta cuenca.

Un aporte adicional a las reservas subterráneas, claramente minoritario, se produce por la infiltración de las precipitaciones que caen directamente sobre la superficie del abanico.

El análisis del agua subterránea (Tabla 3) indica una tipología química predominantemente sulfatada magnésica para el acuífero libre (SP1) y sulfatada sódica para las aguas que provienen del acuífero confinado (SP2) (Fig. 3).

El abastecimiento de agua potable a la localidad de Salar de Pocitos aunque en la actualidad es cubierto sin

FIGURA 2: ESQUEMA DE CIRCULACIÓN HÍDRICA EN EL ABANICO ALUVIAL DE INCAHUASI

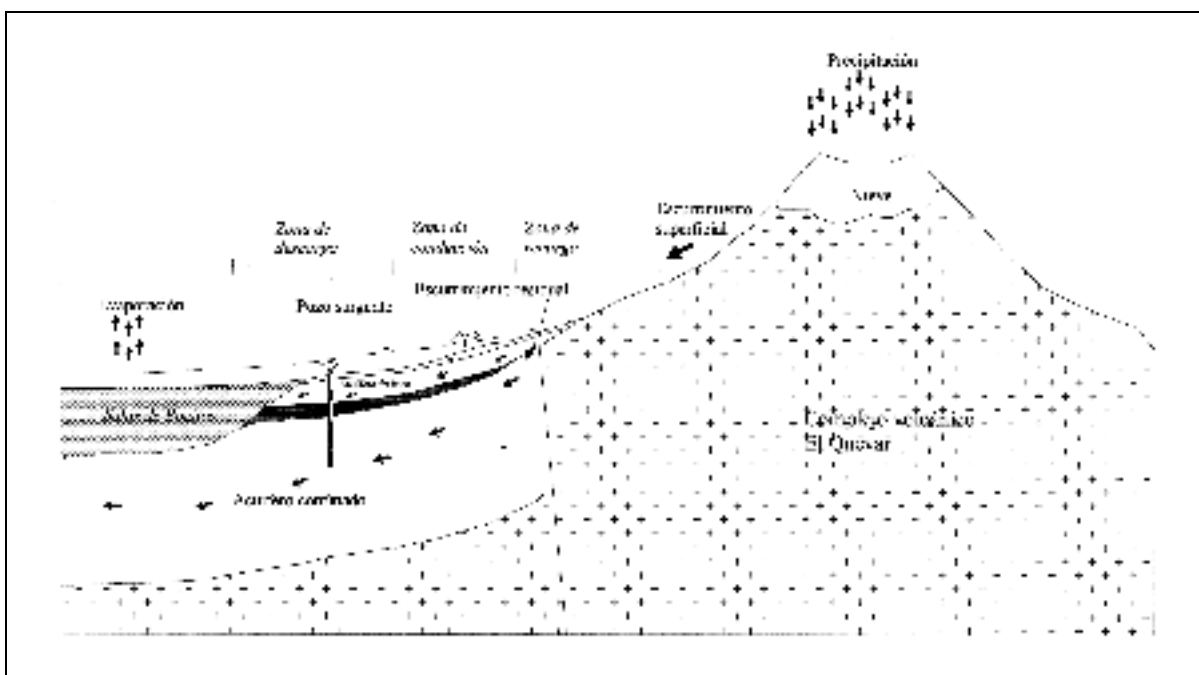
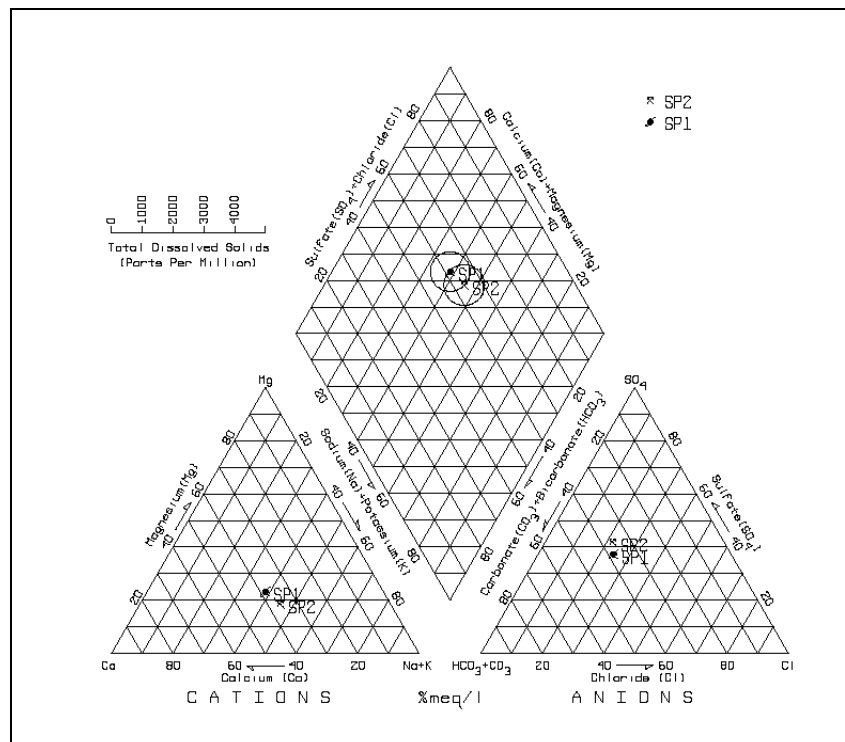


TABLA 3: SÍNTESIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS.

nsd: no se detecta; — : no determinado.
 SM : Sulfatada magnésica. SS : Sulfatada sódica.
 SP1: Acuífero libre; SP2: Acuífero confinado

Parámetro	SP1	SP2	Valor guía OMS (1987)
Fecha de análisis	4/12/98	30/4/99	
Color (U.C)	1	4	15
pH (a 25 ° C)	6.8	7.2	6.5 a 8.5
Sólidos disueltos (a 105°C)	660	530	1000
Conductividad específica (µmhos/cm)	947	783	
Cloruros (mg/l)	76	69	250
Sulfatos (mg/l)	158	180	400
Bicarbonatos (mg/l)	206	198	
Nitritos (mg/l)	Nsd	< 0.02	
Nitratos (mg/l)	0.9	0.3	10
Calcio (mg/l)	79	76	
Magnesio (mg/l)	29	24	
Sodio (mg/l)	84	104	200
Potasio (mg/l)	11	11	
Hierro total (mg/l)	0.24	0.16	0.3
Arsénico (mg/l)	0.04	0.05	0.05
Flúor (mg/l)	0.3	0.6	1.5
Tipología química	SM	SS	
Aptitud para bebida	Potable	Potable	

FIGURA 3: DIAGRAMA DE PIPER



mayores problemas por la captación del acuífero freático, deberá ser replanteado ante la mayor demanda que generará la radicación de un parque industrial minero.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del análisis de la información disponible y de los estudios efectuados permiten enunciar las siguientes conclusiones:

- 1) Las características geohidrológicas de la región analizada permiten asignar a la unidad hidrogeológica analizada una buena oferta hídrica especialmente en lo que se refiere al acuífero confinado ubicado a una profundidad superior a los 50 m.
- 2) Los caudales brindados por el acuífero confinado permiten albergar buenas expectativas ante un aumento de la demanda para uso industrial. No obstante, ello requerirá necesariamente una evaluación más detallada del sistema hidrológico donde se contemple una cuantificación precisa de la recarga, la ejecución de nuevas perforaciones de exploración en toda la extensión de la unidad y la realización de ensayos hidráulicos tendientes a evaluar el comportamiento de los acuíferos y a cuantificar sus parámetros hidrogeológicos fundamentales.

- 3) La tipología química del agua subterránea es sulfatada magnésica (Acuífero Freático) y sulfatada sódica (Acuífero Confinado) lo que indica aguas juveniles vinculadas al ciclo hidrológico y de recarga reciente.
- 4) Respecto del consumo humano para bebida el agua es apta desde el punto de vista físico-químico y bacteriológico. Las muestras presentan tenores algo elevados en hierro total y en arsénico encontrándose cerca del límite máximo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (1987).
- 5) La consideración respecto a la aptitud del agua para uso industrial deberá ser determinada de acuerdo a los requerimientos de cada uso en particular.

7. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue realizado por la Secretaría de Minería, Industria y Recursos Energéticos de la provincia de Salta. Se agradece a la mencionada repartición por las facilidades brindadas durante el desarrollo de las tareas de gabinete y campaña.

Del mismo modo el agradecimiento al Ingeniero Moisés Costello y al Geólogo Roger Soler por la cesión de valiosa información inédita de la zona y por los antecedentes de las perforaciones.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ALONSO, R.N., 1991.

Evaporitas Neógenas de los Andes Centrales.

En J.J. Pueyo (ed.) *Génesis de Formaciones Evaporíticas: modelos andinos e ibéricos. Estudi General 2*, pp. 267-320, Universitat de Barcelona, Barcelona.

BUITRAGO, L.G Y LARRÁN, M., 1994.

El Clima de la Provincia de Jujuy.

Facultad de Ciencias Agrarias, 38 pp. Universidad Nacional de Jujuy, Jujuy.

GUTIÉRREZ, M., RIONDA, O., TORRES, J. Y C. PÉREZ, 1998.

Prospección geoelectrica Salar de Pocitos, Departamento Los Andes, Provincia de Salta.

Informe Final. Secretaría de Minería. Salta (Inédito).

IGARZÁBAL, A.P., 1985.

Los Salares de la Puna Argentina.

INBEMI, 180 pp. Universidad Nacional de Salta (Inédito).

IGARZÁBAL, A.P., 1991A.

Evaporitas cuaternarias de la Puna Argentina.

En J.J. Pueyo (ed.) *Génesis de Formaciones Evaporíticas: modelos andinos e ibéricos. Estudi General 2*, 333-372, Universitat de Barcelona, Barcelona.

IGARZÁBAL, A.P., 1991B.

Morfología de las provincias de Salta y Jujuy.

Revista del Instituto de Geología y Minería de Jujuy N° 8: 97-119, Jujuy

SOLER, R.D., 1998.

Geohidrología preliminar del sector nor-oriental del Salar de Pocitos, departamento Los Andes, provincia de Salta, República Argentina.

Informe Final. Secretaría de Minería, Industria y Recursos Energéticos de la provincia de Salta. Salta

VILELA, C.R., 1969.

Descripción geológica de la Hoja 6c, San Antonio de los Cobres, provincias de Salta y Jujuy.

Boletín N° 110. Dirección Nacional de Geología y Minería. Buenos Aires.



Estructura andina de la cubierta meso-cenozoica al norte del Lago Viedma Santa Cruz, Argentina

Spikermann, Juan ^{1, 2, 3} - Massabie, Armando ² - Medina, Francisco ^{1, 2, 3} - Rosello, Eduardo ^{3, 2} - Rimoldi, Horacio ⁴

Resumen

Se describen las características estructurales principales del borde oriental de la Cordillera Patagónica Austral a la latitud del Lago Viedma (aprox. 49° 30' lat. sur) desde la zona del Cerro Ñato en el borde oriental del Hielo Patagónico Sur en el oeste, a lo largo de unos 90 km, hasta la zona de la Meseta del Viento en el este. Se reconoce un frente tectónico principal de rumbo submeridional que produjo el levantamiento principal cordillerano constituido por fallas inversas de bajo ángulo (sobrecorrimientos) de vergencia oriental. Esta vergencia cambia hacia el oeste al oriente del río Blanco en las proximidades del cerro Fitz Roy. Hacia el este del río de Las Vueltas las estructuras se resuelven a través de plegamientos asociados a fallas inversas, fallas transcurrentes y fracturas de tipo traccional, alguna de las cuales emitieron lavas basálticas cenozoicas. La actividad del volcán Lautaro, de ubicación cercana al área de estudio, sería evidencia de neotectónica en la región.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es describir las estructuras geológicas que afloran en el borde oriental del sector cordillerano que va desde el Hielo Patagónico, en la zona del cerro Fitz Roy, hasta el río de las Vueltas y el sector nororiental de la depresión que contiene al lago Viedma entre las longitudes oeste 73°30' y 72° y latitud sur entre los 49°30' y 49°18' (Fig. 1). La información se

obtuvo de tareas de campo y la lectura de imágenes satelitarias, información parcial de fotogramas aéreos y mapas topográficos a escalas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar.

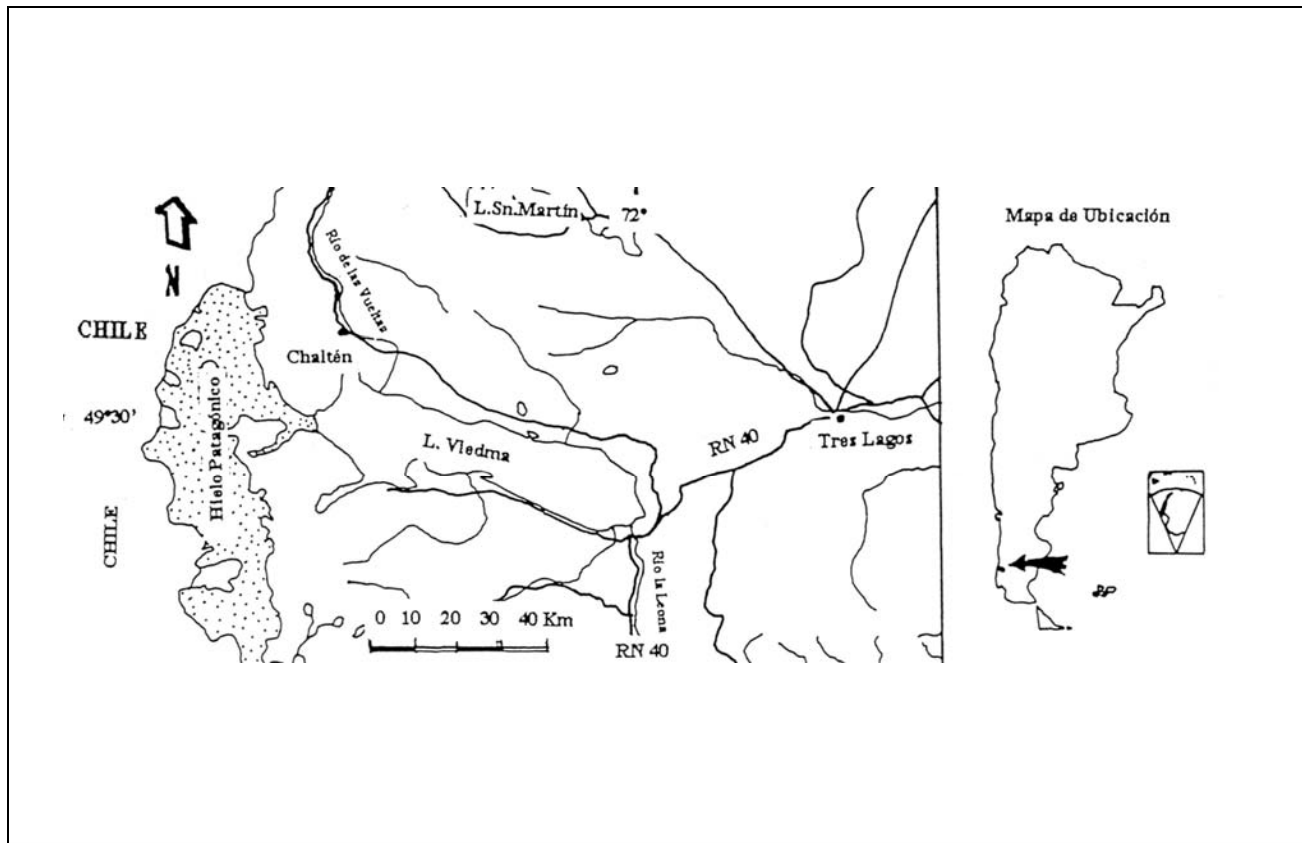
Se describen parte de las estructuras producto de las deformaciones que acompañaron el alzamiento cordillerano en esta latitud (en su sector oriental) las cuales demuestran el lógico amortiguamiento de la deformación hacia el oriente del eje cordillerano, a medida que se observan sectores menos influidos por los esfuerzos andinos.

El estudio tiene también como finalidad contribuir a los conocimientos geológicos y estructurales de base en relación con el aprovechamiento hidroeléctrico de la cuenca del río Santa Cruz, cuya factibilidad en relación con el cierre sobre el río La Leona fue establecida en la segunda mitad de la década de los años ochenta. La prefactibilidad contempló inicialmente una sobre elevación del nivel del Lago Viedma, el cual quedaría, de todos modos integrado al proyectado embalse sobre el río La Leona (Capdevila et al., 1988).

Entregado: 15 de Mayo de 2000 ■ Aceptado: 20 de Agosto de 2000

1. Centro en Investigaciones y Recursos Geológicos (CIRGEO) Ramírez de Velasco 847 (1414) Capital Federal (CONICET).
2. Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Pabellón II, Ciudad Universitaria Nuñez (1428), Capital Federal.
e-mail: armando@gl.fcen.uba.ar
3. CONICET
4. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).
Avda. J. A. Roca 651, 8° Piso, (1322). Buenos Aires, Argentina

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN



2. ANTECEDENTES

Diversos investigadores desarrollaron tareas en la región, las que gradualmente fueron incrementando el conocimiento geológico.

En el comienzo se destaca la expedición alemana de *Koelliker et al. (1917)*, las recorridas en los años 1931, 1932 y 1935 del padre *De Agostini (1949)*, *Feruglio (1949)*. *Lli-boutry (1952)* es quien realiza los primeros mapeos topográfico, geológico y observaciones glaciológicas del área del cerro Fitz Roy. *Nullo et al. (1978)* interpretaron la evolución tectónica del área. *Ramos (1989a)* estudió la estratigrafía y tectónica de la zona del lago Belgrano, ubicada al norte, con características tectónicas asimilables a las de las zonas del Cerro Fitz Roy y del lago Viedma. *Riccardi y Rolleri (1980)* realizaron una síntesis completa de la estratigrafía regional. *Spikermann y Quartino (1981)* señalaron la presencia de molibdenita en las rocas graníticas del stock Fitz Roy y reconocen lineamientos estructurales póstomos del levantamiento de la cordillera.

Massabie (1990) hace aportes al conocimiento estructural al sur del área de estudio, entre el lago Viedma y el lago Argentino, con relación a la cinemática de la deformación andina en el valle del río La Leona, al destacar la importancia

regional de la transcurrancia sinistral de rumbo noroeste en la comarca. *Camacho et al. (1993)* contribuyen al conocimiento bioestratigráfico y petrográfico de la zona. *Kraemer (1994)* propone la segmentación geológica y geofísica de la Cordillera Patagónica Austral. *Coutand et al (1998)* realizan estudios geofísicos - geológicos del área. Una síntesis geológica del sector ubicado entre el Hielo Patagónico y el Río de las Vueltas puede verse en *Kosmal (1997)* y *Kosmal y Spikermann (en prensa)*.

3. MARCO TECTÓNICO

El borde occidental de la Patagonia austral sufrió varios cambios en el régimen de tectónica de placas durante el Terciario, debido a que la dorsal de Chile, que separa las placas de Nazca y Antártica, entró en colisión oblicua con la placa Sudamericana a los 14 Ma (*Pardo-Casas & Molnar, 1987*). Posteriormente, el punto triple que determinan migró hacia el norte. De este modo, la Cordillera Patagónica austral pasó de un contexto de convergencia entre las placas Nazca y Sudamericana de característica oblicua y rápida en dirección ENE a unos 9 cm/año en el Mioceno a otro contexto más frontal y lento en dirección E a unos 2 cm/año durante el Plioceno (véanse detalles bibliográficos en *Coutand et al, 1998*). Este contexto tectónico dinámico determinó la

generación de campos de esfuerzos complejos que evolucionaron reactivando estructuras preexistentes y generando un campo deformacional caracterizado por estructuras que determinan acortamientos subhorizontales y componentes transcurrentes dextrales a lo largo del extremo austral de la placa Sudamericana. De este modo, afecta y controla el desarrollo del potente registro volcanosedimentario de la cuenca Austral (Riccardi, 1988, Uliana et al., 1989) como del magmatismo contemporáneo ampliamente distribuidos en la comarca (Ramos & Kay, 1992).

La observación de la estructura de superficie en la porción ubicada al norte del Lago Viedma, permite apreciar algunos rasgos cuyo desarrollo se manifiesta principalmente entre el frente montañoso cordillerano, representado por el macizo del cerro Fitz Roy, y el sector pedemontano a la latitud de la localidad de El Chaltén sobre el río de Las Vueltas, y hasta unos 80 km al este, en coincidencia aproximada con el extremo oriental del Lago Viedma, en correspondencia con la estancia Punta del Lago (Fig. 1).

En la comarca localizada al norte del lago Viedma, las estructuras directrices son fallas longitudinales, corrimientos de vergencia occidental, bien desarrollados entre el cerro Ñato y el río Blanco (del cerro Fitz Roy), las cuales fueron en parte también referidas por otros autores (Nullo et al., 1978; Coutand et al., 1998). Hacia el este del río Blanco se produce un cambio definido de la vergencia hacia el oeste. En una posición desplazada hacia el nacimiento del mencionado río, los corrimientos se disponen más espaciados en sus afloramientos (Fig. 2) y no son visibles fácilmente en forma directa, en la elevada barda que bordea hacia el norte al Lago Viedma, aunque sí se observan las estructuras asociadas de plegamiento en las sedimentitas cretácicas.

Entre el río Barrancas, afluente del río de Las Vueltas

y el río Blanco, se desarrolla un sector con la existencia de varias fallas inversas, sobrecorrimientos, cuyos rumbos varían entre N10°O y N35°O, con inclinaciones hacia el este y el oeste. En planta, la zona del perfil de la barda de Kaiken Aike, corresponde al desarrollo de una faja oblicua de rumbo general N35°O la cual marca una subdivisión del área considerada en términos estructurales y estratigráficos. Hacia el este los afloramientos más destacados son los mantos basálticos terciarios que coronan las bardas, que en los casos de las coladas más jóvenes se derraman hacia las partes más bajas del relieve.

También hacia el este de la barda Kaiken Aike, la estructura de las sedimentitas cretácicas subyacentes se dispone en un homoclinal de suave inclinación al naciente, hasta subhorizontales, sin estructuración manifiesta, con excepción de la falla inversa de la Meseta Chica de rumbo aproximado NS e inclinación de 25° al este y de la falla subvertical de rumbo NO, que coincide con el cauce del río Cangrejo próxima al extremo oriental de la comarca considerada.

No son muy evidentes rasgos de neotectónica, sin embargo la actividad en tiempos históricos (comunicación verbal de viejos pobladores) del volcán Lautaro ubicado en el Hielo Patagónico Sur al NO de la zona de estudio atestigua dicha actividad. En la región se suelen sentir movimientos sísmicos, pero estos podrían ser atribuidos, también, a consecuencias de la compensación isostática producto de la erosión y/o ablación glaciaria (Mercer et al., 1979).

La estratigrafía resumida de la comarca se presenta en el Cuadro 1 con una síntesis de la composición de las unidades. Más detalles pueden verse, como se mencionó, en Nullo et al. (1978), Riccardi y Rolleri (1980), Riccardi (1988), Camacho et al. (1993), Panza y Nullo (1994), Kosmal (1997) y en Coutand et al. (1998).

CUADRO 1: ESTRATIGRAFÍA DE LA COMARCA AL NORTE DEL LAGO VIEDMA

Edad	Formación	Litología	
Cenozoico		Basaltos y sedimentos fluviales, glaciares y eólicos	
	Mioceno	Granito Fitz Roy	
Mesozoico		Basaltos	
	Cretácico inferior	Formación El Álamo	Areniscas
		Formación río Mayer	Pelitas negras con escasos niveles carbonáticos y conglomerados finos
	Jurásico medio y superior	Complejo El Quemado	Rocas vulcanógenas riolíticas –riodacíticas con intercalaciones pelíticas
Jurásico inferior? Triásico?	Formación Arroyo de la Mina	Conglomerados	
Paleozoico	Formación Bahía de la Lancha	Leptometamorfitas de areniscas wáquicas y pelitas	

4. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA A LO LARGO DE LA MARGEN NORTE DEL LAGO VIEDMA

El perfil de la Fig. 2, que se extiende a lo largo de casi 90 km con rumbo OSO, aproximadamente paralelo al lineamiento Viedma (Fig. 3), permite la visión en corte de las estructuras oblicuas a tal arrumbamiento. De este modo, se aprecia la suave pendiente topográfica oriental que posee la Cordillera de los Andes en estas latitudes, con un valor medio menor de 5°, donde por los efectos de la erosión, se observan las estructuras que dieron lugar a este accidente orogénico.

Como se describió más arriba, la deformación ha ocurrido en diversos pulsos tectónicos uno de los cuales, quizás el más importante, tuvo su desarrollo de acuerdo con Ramos (1989a y 1989b) durante el Oligoceno. La actividad de estos lineamientos mayores es continua y se extiende, por lo menos, hasta después de la reactivación de las fracturas de rumbo NE que producen derrames basálticos, de edad pliocena (Mercer, 1969). Estos cubren las bardas de Kaiken Aike y las mesetas Chica y del Viento, ya que la fractura del río Cangrejos, subsidiaria de los dos lineamientos mayores, provoca un desplazamiento horizontal del orden de 2 km de rechazo en sentido sinistral.

El frente tectónico principal que dio lugar al levantamiento de la cordillera en este sector, como lo describiran Nullo et al. (1978), Ramos (1979) y Kraemer (1994, 1996) está integrado por sobrecorrimientos generados por empujes provenientes del occidente cuya materialización en estructuras tectónicas fue favorecida por la diferencia de competencia entre el Complejo el Quemado, que actuó como bloque rígido, y las pelitas negras de la Formación Río Mayer, que se deformaron plásticamente. Dicho frente, puede apreciarse en la zona del cerro Techado Negro donde hay superpuestos dos sobrecorrimientos (Fig. 2). Además, a partir del Río Blanco, ubicado en la vertiente oriental del cerro Fitz Roy, se observa un cambio de la vergencia general de las estructuras desde una dirección hacia el este al occidente del mencionado río y otra al oeste, al oriente del mismo.

Hacia el naciente del río de las Vueltas las estructuras deformativas resultantes de los empujes que dieron lugar al levantamiento cordillerano se ponen en evidencia también a través de pliegues asociados a fallas. Los bancos del Complejo el Quemado y las formaciones cretácicas se disponen homoclinalmente hasta la zona del Cerro Faldeo donde el Cretácico desarrolla plegamiento suave (Fig. 2). En las bardas de Kaiken Aike, luego del accidente morfoestructural de la quebrada del río Barrancas, se presentan una serie de fallamientos principalmente de tipo inverso de rumbo aproximado NS e inclinación 15° al O y otro distributivo de rumbo aproximado N30°O e inclinación va-

riable entre 20° y casi horizontal al oriente (Fig. 2) con desarrollo de una serie de pliegues de arrastre en el bloque oriental (elevado) que se continúan, siempre al oriente, con un sinclinal y un anticlinal subparalelos cuyos ejes tienen rumbo N30°O. Los estratos cretácicos plegados y fallados se hallan cubiertos por basaltos cenozoicos emitidos a través fallas traccionales.

Al oriente del accidente morfoestructural del río Blanco de rumbo N30°O las capas cretácicas se disponen en posición subhorizontal poco disturbadas y cubiertas por los basaltos cenozoicos. En el sector de la Meseta Chica (Fig. 2) las sedimentitas se hallan afectadas por una falla inversa de rumbo aproximado NS con inclinación de 15° al oriente que desarrolló en el bloque elevado pliegues de arrastre amplios. Hacia el oriente, las rocas cretácicas no se aprecian muy disturbadas, sólo se observan, en forma localizada, las fracturas del río Cangrejo sinistral de rumbo N50°O, subvertical y la de la Meseta del Viento de rumbo N40°E subvertical (emisora de basaltos?). Aquí también las sedimentitas mesozoicas se encuentran cubiertas por los basaltos e intruidas por los correspondientes filones cenozoicos. Algunos de estos cuerpos intrusivos forman cuellos volcánicos que por erosión diferencial se destacan en el terreno.

De acuerdo con los relevamientos realizados y para facilitar la descripción de las estructuras se divide la región estudiada en bloques limitados por estructuras mayores que exhiben características distintivas.

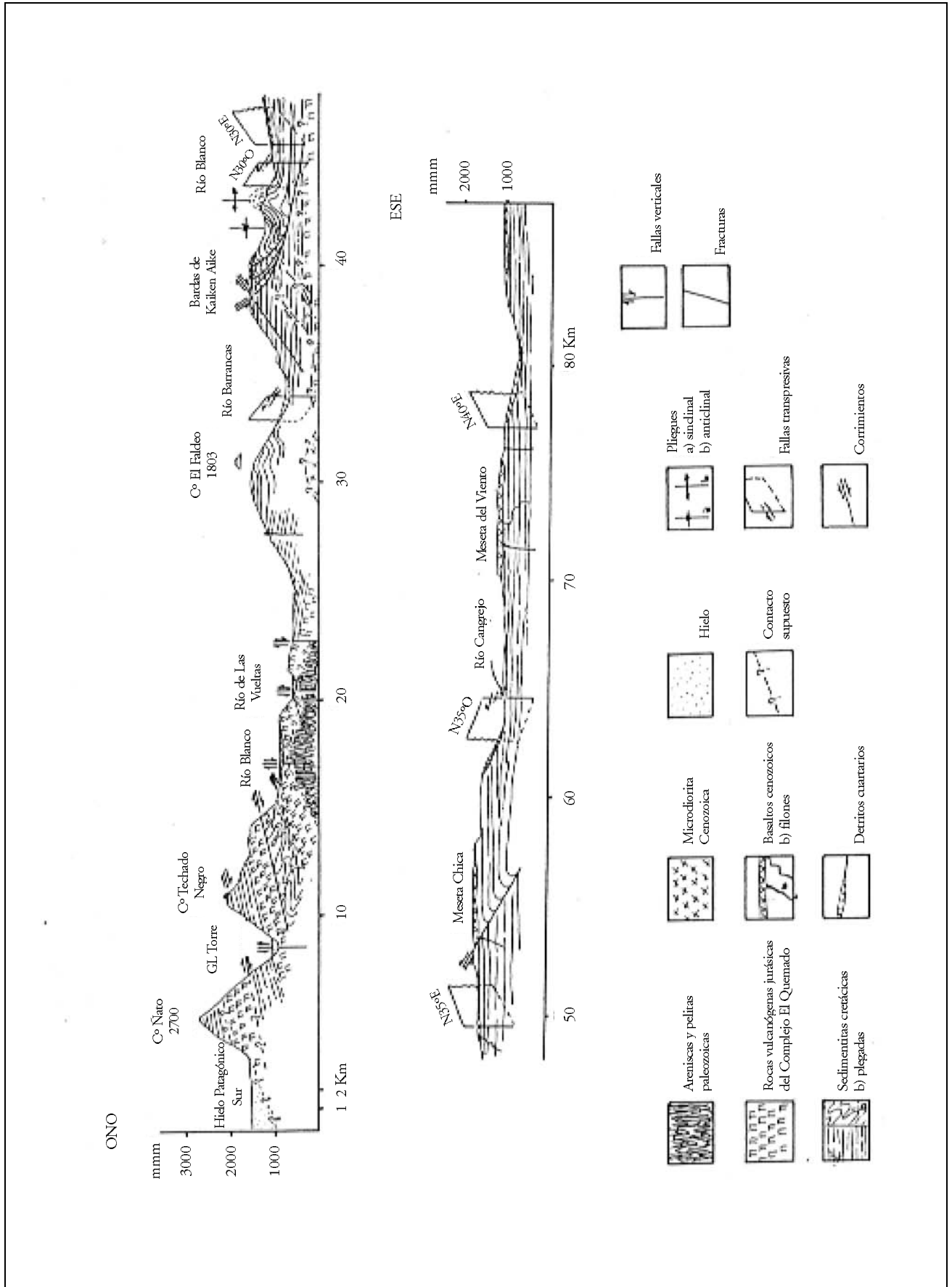
Así, el *bloque central* (en el sentido de Nullo et al., 1978), está definido por los lineamientos Mackenna al norte y Viedma al sur, no observa manifestaciones geomórficas notables de las estructuras que las provocaron, salvo el relieve principal de la propia cordillera. Se observan, principalmente, los lineamientos producto de los fallamientos oblicuos generados entre las dos estructuras mayores que lo limitan (Fig. 3) y los lineamientos generados por fracturas traccionales de rumbos NS, EO y EN. Este último, está relacionado con la emisión de lavas basálticas cenozoicas más recientes. La roseta de frecuencia de la Fig. 4 muestra la distribución de estas últimas estructuras que a su vez definen una serie de subbloques tectónicos.

Las fracturas que controlan la disposición de los cauces de los ríos Barrancas, Blanco (sobre la margen NE del lago Viedma) y Cangrejos definen otros bloques tectónicos subordinados (Fig. 3) que a continuación se analizan separadamente.

Bloque de Kaiken Aike

Este subbloque presenta la mayor complejidad estructural al este del río de Las Vueltas, está limitado por las fracturas de los ríos Barrancas y Blanco (Fig. 3) y en la escarpa de las bardas se observan dos estructuras de

FIGURA 2: PERFIL ESQUEMÁTICO



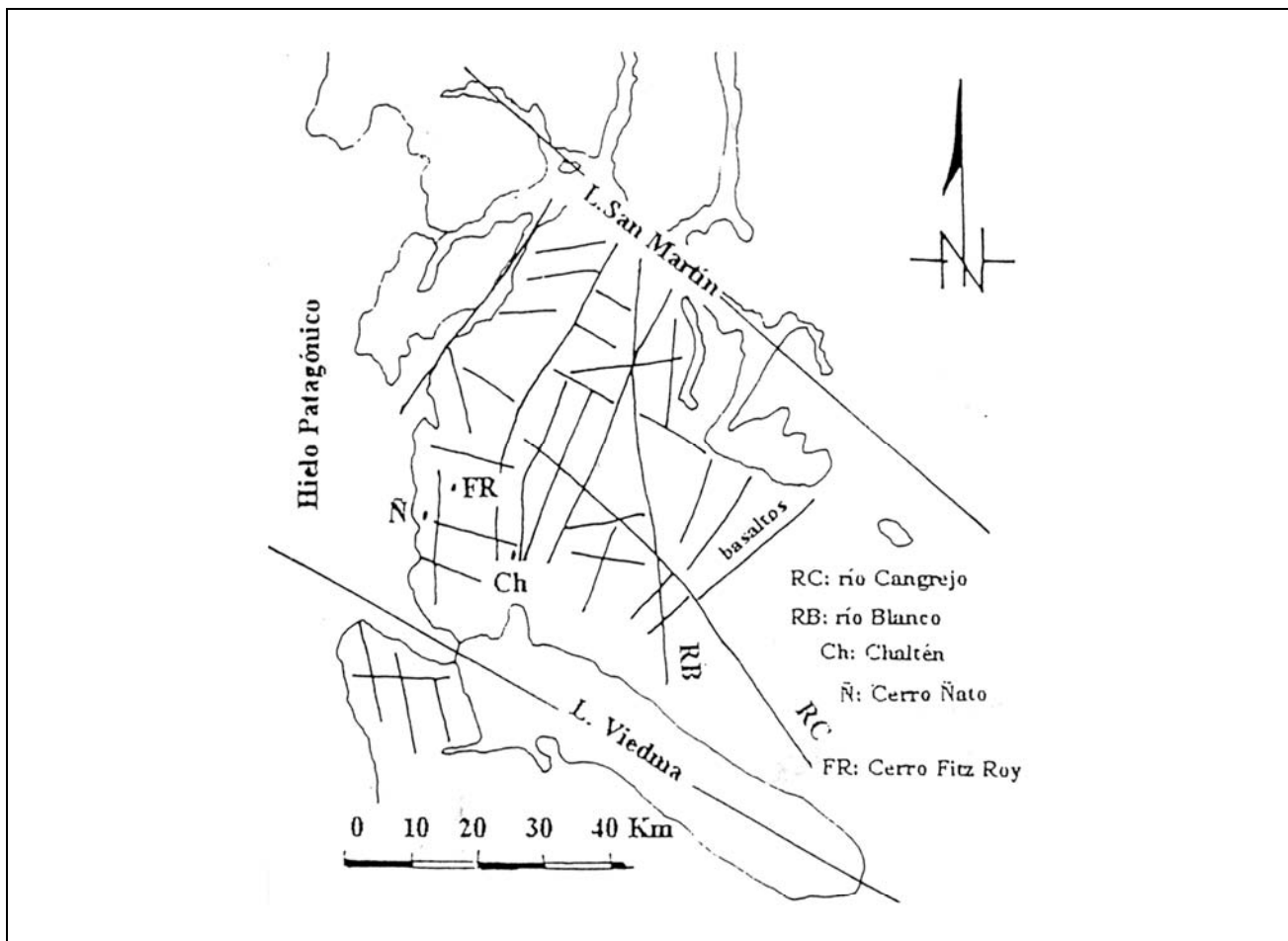
fallamiento que afectan a las sedimentitas cretácicas, entre las que no pudo establecerse su relación temporal. La falla ubicada más al occidente, es inversa de bajo ángulo con inclinación de 15° al oeste y rumbo aproximado NS, con rechazo verdadero del orden de los 500 metros. La segunda falla es compleja, tipo *decollement* basal de geometría lístrica y vergencia opuesta a la anterior con rumbo similar e inclinación entre 15° y subhorizontal hacia mayores profundidades. Una tercer falla inversa, no comprobada en el terreno, se desarrollaría en la parte media a baja del faldeo, es de rumbo y vergencia similar a la primer falla. Esta estructura junto a la falla compleja de vergencia oriental define al oeste una cuña de rocas cretácicas (zona triangular) en la que, tentativamente se interpreta, se desarrolla en forma secundaria una lente tectónica. La capa rígida que actúa como nivel de despegue de estas estructuras correspondería a las rocas del Complejo el Quemado, no aflorante en la zona (Fig. 2).

Bloque de la Meseta Chica

Las capas sedimentarias cretácicas se mantienen con disposición horizontal y son afectadas, al menos, por tres fallamientos principales:

- 1) El más antiguo está representado por la falla inversa de la Meseta Chica de rumbo aproximado NS con inclinación de 15° al este con desarrollo de amplios pliegues de arrastre en el bloque oriental o elevado y con rechazo verdadero del orden de 1400 metros.
- 2) Las fallas transcurrentes subverticales de rumbo N30-35°O, sinistralas, de los ríos Blanco y Cangrejo que limitan este subbloque desarrolladas junto con la del río Barrancas (rumbo N10°O) ubicada más al oeste.
- 3) Un sistema de fallas de tracción, subverticales, que corresponden en este subbloque a fallas de rumbo N30°E y N35°E, la última de las cuales ha posibilitado la emisión de abundante material lávico basáltico.

FIGURA 3: DISTRIBUCIÓN DE LOS LINEAMIENTOS TRANSCURRENTES Y TRACCIONALES PRINCIPALES UBICADOS ENTRE LOS LAGOS SAN MARTÍN Y VIEDMA



Bloque de la Meseta del Viento

En el sector ubicado al oriente del accidente estructural del río Cangrejo no se observan mayormente disturbadas las sedimentitas cretácicas, sólo se las ha observado saltuariamente intruidas por los diques basálticos cenozoicos que a veces adoptan la forma de filones capas.

5. INTERPRETACIÓN TECTÓNICA

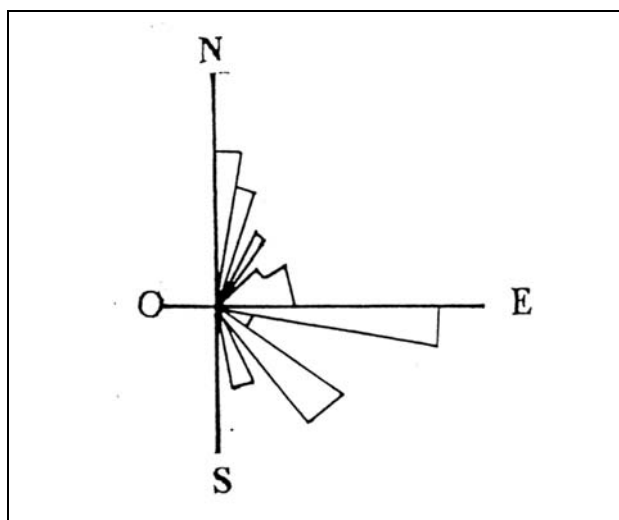
Al sector comprendido entre el Hielo Patagónico y el río de Las Vueltas, tal como fue interpretado por *Nulló et al.* (1978) se le suma aquí, con igual disposición, una segunda superficie de corrimiento principal reconocida en los cerros Ñato y Techado Negro (Fig. 2).

En el bloque de Kaiken Aike las dos estructuras de fallamiento observadas responden a los esfuerzos compresivos que dieron lugar al levantamiento cordillerano. La más compleja ubicada más al oriente del subbloque, se produce como consecuencia del desacople entre las rocas vulcánicas pertenecientes al Complejo El Quemado, no aflorantes en este sector, que se comportan como rocas más rígidas, y las sedimentitas cretácicas de menor competencia. En esas condiciones la falla múltiple, se propagó hacia el Oeste, donde el compartimento inmediatamente al occidente de ésta, se comportó como una zona triangular y el compartimento oriental se resolvió por medio del complejo de fallas retrocabalgantes con los correspondientes pliegues de arrastre y más al este por medio de pliegues asociados a fallas hasta la fractura del río Blanco (Fig. 3 y 4).

En el bloque de la Meseta Chica se pueden reconocer

FIGURA 4: DIAGRAMA DE FRECUENCIA Y DIRECCIÓN DE LOS LINEAMIENTOS TRANSCURRENTES Y TRACCIONALES PRINCIPALES DE LA COMARCA

Comprendida entre los lagos Viedma y San Martín identificados en la figura 3.



una serie de fallamientos:

- i) el primer fallamiento corresponde a los efectos de empuje del levantamiento cordillerano principal, similar al de las fallas de la barda Kaiken Aike pero que no alcanzó, quizás por el amortiguamiento de los esfuerzos, a desarrollarse en un sistema compuesto.
- ii) el segundo fallamiento de este bloque es producto de esfuerzos de cizalla transpresiva asociados a los lineamientos mayores Mackenna y Viedma. Este sistema, es, probablemente, el más extendido temporalmente pues, por lo menos, es anterior y posterior al tercer tipo de fracturas al que desplaza en el orden de los 2 km (Fig. 2)
- iii) el tercer fallamiento está formado por fracturas que van acompañadas por un importante número de diques basálticos que a veces constituyen filones capas. Esta extrusión de lavas, corresponde a una de las etapas extensionales ubicadas entre períodos compresionales. En la comarca analizada este episodio se halla representado por las lavas que cubren las partes elevadas de Kaiken Aike y mesetas Chica y del Viento. Parte de estos derrames fluyeron hacia las partes bajas de la depresión del lago Viedma.

De acuerdo con la disposición de las capas sedimentarias, que actúan como referentes de deformación, en el bloque de la Meseta del Viento, no se aprecia mayor disturbación que la provocada por los diques y filones capa basálticos que corresponden al tercer fallamiento del bloque de la Meseta Chica.

A lo largo de los casi 90 km, desde el Cerro Ñato en el borde oriental del Hielo Patagónico hasta la Meseta del Viento al este, se aprecia una muy suave pendiente (menor de 5°) desde las partes elevadas que se ubican entorno a los 2700 m hasta los 1000 m s.n.m. en el extremo oriental. El desnivel representa el alzamiento regional vinculado con la génesis de la Cordillera Patagónica en gran parte de su borde oriental, donde el acortamiento horizontal resultante sobre la cubierta sedimentaria meso-cenozoica se resuelve a través de plegamientos vinculados con fallamientos de distintos tipos, entre ellos, las fracturas traccionales generadas durante las etapas en que la convergencia de la placa Antártica disminuyó.

Las dos zonas de deformación más notorias son la que se desarrolla entre el Cerro Ñato y el río Blanco (del borde oriental del cerro Fitz Roy) donde se producen los sobrecorrimientos principales con una definida vergencia hacia el naciente; y la de las bardas de Kaiken Aike donde la vergencia del fallamiento principal es al poniente. El límite del cambio de vergencia se produce en el río Blanco (Próximo al Cerro Fitz Roy), sin embargo en las bardas de Kaiken Aike se observa una falla inversa de ver-

gencia oriental (Fig. 2).

6. CONCLUSIONES

Se ha realizado el análisis de la estructuración tectónica principal desarrollada entre el Hielo Patagónico Sur a la latitud de los cerros Ñato y Techado Negro hasta el extremo oriental de la barda norte del Lago Viedma a partir del levantamiento de un perfil transversal de detalle integrado en un relevamiento regional que alcanza el lago San Martín.

A lo largo del perfil estructural integrado de casi 90 km en dirección ONO-ESE se verifica la atenuación de la estructuración andina en la comarca, la cual provocó un levantamiento relativo mínimo de 1700 metros al que corresponde una pendiente topográfica general hacia el este de menos de 5 grados y acortamientos horizontales totales del orden del 15% para el tramo comprendido entre el río de las Vueltas y el extremo NE del lago Argentino.

Sobre la base del perfil estructural analizado y la estructura regional de fallamiento entre los lagos Viedma y San Martín se ha definido una sectorización tectónica: El sector ubicado entre el Río Blanco en el borde oriental del Cerro Fitz Roy y el Río de Las Vueltas separa, al oeste, la faja pedemontana principal de corrimientos de rumbo meridiano con vergencia oriental. Al este del cauce mencionado, la vergencia regional es occidental y la estructuración principal está asociada a fallas regionales oblicuas que evidencian cinemática transcurrente durante la orogenia andina.

En esta comarca oriental la faja transpresiva principal, de rumbo N35°O se desarrolla entre el río Barrancas y el río Blanco (sector oriental), y culmina en las barran-

cas de Kaiken Aike en la barda norte del lago Viedma. La emisión de lavas basálticas e intrusión de rocas subvolcánicas terciarias asociadas, características del sector oriental, se vinculan genéticamente con el fallamiento oblicuo de rumbo noreste. En la barranca Kaiken Aike las coladas basálticas cubren en discordancia al fallamiento inverso subsidiario de la faja transpresiva principal determinando un episodio transtensivo tardío respecto de la compresión andina principal.

Finalmente, existen evidencias de neotectónica post-glacial, como por ejemplo la actividad del volcán Lautaro, y una sismicidad no muy intensa que en parte podría estar relacionada con la compensación isostática generada tanto por la erosión, como por la ablación glacial. Ésta y todas las características geológico - estructurales analizadas, constituyen un aporte al conocimiento de base de un sector del área de embalse vinculado con el aprovechamiento hidroeléctrico del río La Leona.

7. AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires y al CIRGEO (CONICET) en cuyas instalaciones se realizaron las tareas de gabinete relativas a la elaboración de este trabajo. El desarrollo de este estudio se llevó a cabo en el marco de los proyectos de investigación UBACYT Ex303, TW26, TW20 y TX15 por lo que se agradecen los fondos proporcionados empleados para estas investigaciones. También se agradecen las opiniones vertidas por el Dr. Rosenman sobre algunos aspectos del trabajo.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CAMACHO, H.; J. P. SPIKERMANN Y F. MEDINA, 1993.
Observaciones geológicas en el área del Lago del Desierto (Provincia de Santa Cruz).
Anales de la Sociedad Científica Argentina, Enero-Junio. V. 223 No. 1.
- CAPDEVILA, E., MASSABIE, A.C. Y FLORES, R., 1988.
Aprovechamiento hidroeléctrico del Río La Leona y diseño de la presa.
X Congreso Argentino de mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Volumen I: 366-386, La Plata.
- COUTAND, I., M. DIRAISON, P.R. COBBOLD, D.GAPPAIS, E.A. ROSELLO AND M. MILLER, 1998.
Structure and kinematics of a foothills transect, Lago Viedma, Southern Andes (49°30').
Journal of South America. Earth Science 12: 1-15.
- DE AGOSTINI, A.M., 1949.
Ande patagoniche.
Societa Cartografica Giovanni De Agostini, Milano, Italia
- FERUGLIO, E; 1949.
Descripción geológica de la Patagonia.
Dir. de Yacimientos Petroliferos Fiscales; I-III. Buenos Aires.

- KOELLIKER A., KHUN F., REICHTER F. Y WITTE L. 1917.
Patagonia.
Resultados de las expediciones realizadas en 1910-16. 2 tomos editados por La Sociedad Científica Alemana, Buenos Aires.
- KOSMAL A.G., 1997.
Nuevos aportes a la geología de la zona del cerro Fitz Roy. Departamento lago Argentino, Provincia de Santa Cruz.
Trabajo Final de Licenciatura del Departamento de Geología de la Universidad de Buenos Aires. (Inédito).
- KOSMAL A.G. Y SPIKERMANN J.P.
Geología de la zona del cerro Fitz Roy, Provincia de Santa Cruz.
Revista de la Asociación Geológica Argentina (en prensa).
- KRAEMER, P. E., 1994.
Segmentación geológica y geofísica en la Cordillera Patagónica Austral. Consecuencias de discontinuidades en el rift Jurásico? 49°S-51°S. Argentina y Chile.
7° Congreso Geológico Chileno. Actas Volumen I. Concepción, Chile.
- KRAEMER, P.E., 1996.
Perfil estructural de la Cordillera Patagónica Austral a los 50°L.S., Santa Cruz.
IX Congreso geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas III: 119-125
- LLIBOUTRY, L., 1952.
Estudio cartográfico, geológico y glaciológico de la zona del Fitz Roy.
Universidad de Buenos Aires, Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Geografía. Serv. A (17): 1-62, Buenos Aires.
- MASSABIE, A. C., 1990.
La faja de corrimiento río Turbio - La Leona y estructuras menores asociadas. Valle río La Leona, Santa Cruz.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, XLV (1-2): 29-36.
- MERCER, J.H., 1969.
Glaciation in Southern Argentina.
More than two million years ago. Science. 164 (3881): 823-825, Washington.
- MERCER, J.H., FLECK, R.J., MANKINEN, E.A. & SANDER, W. 1979.
Southern Patagonia: Glacial events between 4 m.y. and 1 m.y. ago.
In: Gugatre, R.P., Cresswell, M.M. (eds). Quaternary studies. Royal of New Zealand Journal (Wellington), 223-230.
- NULLO, F.; C. PROSERPIO Y V. A. RAMOS; 1978.
Estratigrafía y Tectónica de la vertiente este del Hielo Continental Patagónico, Argentina - Chile.
VII Congreso Geológico Argentino, Neuquen. Actas I: 455-470.
- PARDO-CASAS, F. & MOLNAR, P., 1987.
Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American Plates since Late Cretaceous time.
Tectonics 6, 233-248.
- RAMOS, V.A., 1989A.
La faja plegada y corrida de la Cordillera Patagónica Austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina.
I° Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos (Mar del Plata) Actas II: 951-970.
- RAMOS, V.A., 1989B.
Andean foothills structures in northern Magallanes Basin, Argentina.
American Association Geologists, Bulletin. 73: 887-903.
- RAMOS, V.A. & KAY, S.M., 1992.
Southern Patagonian plateau basalts and deformation: backarc testimony of ridge collision.
Tectonophysics 205:261-282.
- RICCARDI, A.C., 1988.
The Cretaceous System of Southern South America.
Geological Society of America, Memoir 168: 1-143.
- RICCARDI, A. Y ROLLERI, E., 1980.
Cordillera Patagónica Austral.
Geología Regional Argentina. V II, p. 1173.

SPIKERMANN, J. P. Y B. QUARTINO, 1981.

Algunas características de las plutonitas del Fitz Roy, y la presencia de mineralización, provincia de Santa Cruz.
VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis. Actas III: 319-329.

ULIANA, M.A., BIDDLE, K.T. & CERDAN, J., 1989.

Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basin.

In: TANKARD A.J. & BALKILL, H.R. (Eds.), Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins, American Association Petroleum Geologists, Memoir 46:599-614.

CALENDARIO

- **26 - 28 Marzo 2001, Conferencia Hemisférica sobre Reducción de la Vulnerabilidad de los Corredores de Comercio a los Desastres Socio-naturales (TCC).**

Contacto: Karina Nowakowski. Teléfonos: 54-261-423-2841, 54-261-439-4531. Fax: 54-261-452-5378

E-mail: karinnowakow@mixmail.com o riesgo_gest@hotmail.com

Website: <http://www.transport-americas.org/events-spanish.htm>

- **30th July-2nd August 2001, Ekaterinburg, Russia: EngGeol City 2001, International Symposium on Engineering Geology and the Environment.** Sponsored by IAEG.

Scientific secretary: Ms. Svetlana Lukina, Ural TISIZ Ltd, 79 Bazhov Street, Ekaterinburg, Russia 620075

E-mail: uraltis@etel.ru

Website: <http://www.skyman.ru/vuraltisiz>

- **6th-10th August 2001, Helsinki, Finland, International Conference "Aggregate 2001 - Environment and Economy".** Sponsored by IAEG.

Contact: Aggregate 2001, Tampere University of Technology, Laboratory of Engineering Geology

P.O. Box 33101 Tampere, Finland.

E-mail: kuulavai@cc.tut.fi or pekka.ihalainen@luy.fi

- **23th-28th August 2001, International Conference on Geomorphology (5th), Tokyo, Japan.**

Contact: Prof. K. Kashiwaya, Dept. of Earth Sciences, Kanazawa University, Kanazawa, 920-1192 Japan.

E-mail: kashi@kenroku.kanazawa-u.ac.jp

- **4th-6th September 2001, ERES 2001 (Third International Conference on Earthquake Resistant Engineering Structures), Malaga, Spain, Organised by Wessex Institute of Technology, UX.**

Contact: Conference Secretariat, ERES 2001, Wessex Institute of Technology, Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA. Tel.: 44 (0) 238 029 3223; Fax: 44 (0) 238 029 2853.

E-mail: sbanley@wessex.ac.uk

Website: <http://www.wessex.ac.uk/conferences/2001/eres01/>

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Arquitecturas sedimentarias de la Formación Puelches y sus respuestas al perfilaje geofísico de pozo	<i>Amato, Sergio Daniel Ponti, Norberto Antonio</i>	1
Normativa para obras viales frente al impacto ambiental. Una propuesta alternativa	<i>Bejerman, Norberto Jorge Cabral, Sandra</i>	9
Modificaciones morfológicas de la costa occidental de Génova derivadas de la construcción del nuevo puerto de contenedores. Liguria - Italia	<i>Brandolini, P. - Canepa, G. Fedolino, M. - Nicchia, P. - Ramella, A. Terranova, R.</i>	20
Mapas temáticos de la ciudad de Bahía Blanca y problemas edilicios asociados	<i>Caló, Jorge - Fernández, Elba Marcos, Ángel - Aldacour, Héctor</i>	30
Deslizamientos en una franja costera de la ciudad de Comodoro Rivadavia. Chubut, Argentina	<i>Hirtz, Néstor Blachaquis, Andrés</i>	41
Caracterización del deterioro potencial en rocas carbonáticas ornamentales. Córdoba, Argentina	<i>Karlsson, Alicia - Ayala, Rosa Romero, Fernando</i>	56
Análisis de arenas mediante procesamiento de imágenes digitales	<i>Minkoff, Darío R. - Pérez, Daniel E. Perillo, Gerardo M. E.</i>	64
Sitios de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. Consideraciones sobre la implementación y estabilidad de rellenos de seguridad	<i>Muñoz, Luis - Torrán, Eduardo</i>	74
Estudio hidrogeológico y de calidad del agua en la cuenca del río Salí. Provincia de Tucumán	<i>Nicolli, Hugo B. - García, Jorge W. Tineo, Alfredo</i>	82
Ordenamiento territorial de la reserva hídrica de Finca las Costas en base a sus características geoambientales	<i>Núñez, Virgilio - Marcuzzi, Jorge J. Torrejón, David E. Bejerman, Norberto J.</i>	101
Evaluación de la perturbación del acuífero freático en el Arroyo Conchitas. Provincia de Buenos Aires	<i>Silva, Adrián - Olivares, Oscar Fresina, Mirta</i>	115
Geohidrología del abanico aluvial de la Quebrada de Incahuasi. Salta, Argentina	<i>Soler, Ramiro Daniel</i>	121
Estructura andina de la cubierta meso-cenozoica al norte del Lago Viedma. Santa Cruz, Argentina	<i>Spikermann, Juan - Massabie, Armando Medina, Francisco - Rosello, Eduardo Rimoldi, Horacio</i>	129

**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

Recepción Resúmenes: 04/05

Recepción Trabajos: 03/08

9th IAEG CONGRESS

Engineering Geology for Developing Countries

16 - 20 de Setiembre de 2002 - Durban - Sudáfrica

Página web

<http://stanfield.und.ac.za/Durban2002/>

E-mail: iaeg2002@un.ac.za

Formulario electrónico para resúmenes
(fecha límite: 31 de Marzo de 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. JORGE 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 Febrero de 2001
en sistemas de impresión directa
de Callerio y Asociados
Córdoba - Argentina