

Número 21 • 2005

ISSN 0326-1921

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



Publicación Oficial de la
ASOCIACION ARGENTINA
DE GEOLOGIA APLICADA
A LA INGENIERIA



INSTRUCCIONES PARA AUTORES

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

- La versión original, en dos (2) ejemplares, se enviará en papel blanco tamaño A4 (21 x 29,7 cm) y en disquetes o CD. editados en **Microsoft Word**.
- El título del artículo debe ser conciso, informativo e indicativo del contenido del mismo y escrito sin utilizar abreviaturas; impreso en letra Times New Roman punto 12, mayúscula, negrita y centrado, sin subrayar.
- La dirección postal y electrónica del autor al que se deberá dirigir la correspondencia seguirá a continuación del nombre, separado por una interlínea. Dicho autor deberá ser identificado con un superíndice.
- Es obligatorio el uso del sistema métrico decimal.
- Se debe incorporar, en forma consecutiva, el Resumen, el Abstract, en inglés, francés o portugués, y las Palabras Clave en un número entre 3 y 5.
- Todo el texto deberá estar escrito en letra Times New Roman punto 12 a un espacio de interlínea, sin sangrías (ya sea mediante tabulador o espacios) y sin doble espacios entre párrafos. Se conservarán, no obstante, los destacados que el autor considere convenientes, así como los correspondientes a determinados términos científicos o expresiones latinas o extranjeras. Deberá estar escrito en una sola columna. El área de trabajo será de 170 mm de ancho y 247 mm de altura. Es decir, 20 mm de márgenes derecho e izquierdo y márgenes superior e inferior de 25 mm. Se debe usar justificación completa.
- En el caso que el idioma del trabajo no sea español, la primera sección será el abstract, en el idioma del que trate, a continuación el resumen en español y tras ello el desarrollo.
- Cuando una abreviatura aparezca en el texto por primera vez, deberá ser aclarada en forma completa entre paréntesis. No se deben utilizar notas al pie.
- Las expresiones matemáticas deben ser elaboradas con el procesador de texto y formar parte del mismo. Las ecuaciones deben estar centradas y deben estar separadas por una interlínea. Todas las ecuaciones deben estar numeradas consecutivamente, usando numerales en paréntesis alineados al margen derecho. La secuencia de paréntesis deberá ser la usual en Matemática:)))).
- Se incluirán como figuras todas las ilustraciones, mapas, fotografías, etc., presentes en el texto, las que llevarán numeración arábiga correlativa por orden de aparición. Las mismas se ajustarán al tamaño de caja. En el texto se citarán como (Fig.), o (Figs.) en plural.
- En los ejemplares impresos que se remitan para ser sometidos al proceso de arbitraje, se deberá indicar la posición de las figuras en el texto e incluirlas por separado a continuación del mismo. Se deberán limitar, como máximo, a una caja de 15 x 23 cm, debiendo tener en cuenta el espacio ocupado por el epígrafe. No se aceptarán plegables. Las figuras no se deben incluir como parte del archivo de texto. Se deben remitir en un archivo separado formato TIF, JPEG, DWG o EPS.
- En el caso que los autores incluyan mapas y/o gráficos que requieran ser plegables para el tamaño de la revista, los costos derivados de su impresión correrán por cuenta de él o los autores.
- Las tablas deben ser remitidas en páginas separadas, indicando su ubicación dentro del texto.
- En el caso de mapas, los mismos incluirán las coordenadas geográficas, escala gráfica y norte. Deberán tener referencias adecuadas a los símbolos, rastras, etc. utilizados.
- Las fotografías, incluidas como figuras, deberán ser pancromáticas, de buena resolución y contraste debiendo ser enviadas como archivos TIF o JPEG. No se aceptarán fotografías en color. Las fotografías en color serán reproducidas en escala de grises salvo que el o los autores del trabajo se hagan cargo de la diferencia de costos. Los originales deben ser enviados con la versión final del trabajo. Todas las figuras llevarán su correspondiente leyenda, inmediatamente después de la misma. Se usará letra punto 12, a un interlineado. La figura y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos. Se recomienda que las leyendas sean cortas y concisas.
- Las referencias bibliográficas serán incluidas bajo el título de TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO. Las mismas deberán estar ordenadas alfabéticamente.
- La cita de trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores (en mayúsculas) y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: (Caminos 1975). En caso de ser más de tres autores se usará et al. (en itálica, no subrayado ni negrita). Cuando se cite más de un trabajo del mismo autor se separarán por una coma, por ejemplo: Caminos (1956, 1978). En las citas totalmente entre paréntesis no se usará coma para separar el autor del año (Caminos 1956). En el caso de ubicar varios autores dentro del paréntesis se separarán entre ellos por un punto y coma. Si se citan varios trabajos del mismo autor y del mismo año se agregarán, a continuación del año, letras, de acuerdo al orden de aparición en el texto.
- Las citas bibliográficas estarán justificadas a la izquierda y la segunda línea tendrá una sangría especial francesa de 15 puntos ó 0,75 cm.
- Los artículos en publicaciones periódicas se citarán: CARRANZA TORRES, C.M., 1991. Cálculo analítico de redes de filtración. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería Volumen VI: 250-267.
- Los artículos en textos: MATEOS RUIZ, R.M. Y M. FERRER GIJÓN, 1994. Methodology for landslides hazard map 1:1 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.

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



DIQUE EN PERMAFROST ANTÁRTICO CON TERMOSIFONES DE CONVECCIÓN LÍQUIDA (LAGO BOECKELLA, BAHÍA ESPERANZA).

Evgeniy Ermolin⁽¹⁾

Resumen

El diseño y construcción del dique del lago Boeckella constituyen los primeros trabajos y la primera experiencia de las investigaciones geotécnicas de este tipo efectuadas en la zona del permafrost de la península Antártica. En el presente trabajo se describe el método de construcción de un dique complementario de los suelos locales empleando un sistema de congelamiento artificial del suelo mediante termosifones de convección líquida. También se examinan los principales tipos de termosifones y se brindan ejemplos de diseño e instalación. Para evaluar el funcionamiento de este tipo de sistema se consideraron las condiciones climáticas y geocriológicas. También se aportan métodos de cálculo y evolución del régimen térmico para los suelos artificialmente congelados.

Título Breve: Dique en permafrost antártico

Palabras clave: Dique, Permafrost, Termosifón, Antártica

Abstract

The design and construction of the dike of the lake Boeckella constitute the first works and her firstly experience of the geologist-engineer investigations of this type carried out in the permafrost zone of the Antarctic Peninsula. In this paper is described the method used in construction of complementary dam of local ground at Boeckella lake based on artificial soil freezing with fluid convection thermosyphons. The main types of thermosyphons are also examined and examples for their design and installation are provided. To evaluate the performance of this type of system were considered the climatic and geocryologic conditions in the area. The methods for calculation and evolution of thermal regime in artificially frozen soils are also provided.

1. INTRODUCCION

Las condiciones ambientales de este sector de la Península Antártica son típicas de las zonas frías con permafrost rico en hielo. En este tipo de permafrost la construcción de un dique resulta más difícil que en regiones templadas ya que la alteración de la superficie de esta zona puede producir la erosión progresiva de los suelos congelados y la formación de termokarst. Debido a la existencia de permafrost, los métodos de investigación geotécnica, de diseño y de construcción para zonas templadas no pueden ser aplicados en este lugar.

La práctica y experiencias positivas adquiridas en construcción y mantenimiento de diques en zonas frías en países como Rusia, Canadá y EEUU proporcionan los principios básicos para el diseño y elaboración de distintos métodos de construcciones hidrotécnicas en zonas de permafrost (Blinov, 1975; Brown, 1970; Linnell and Jonston, 1973). Estos diques construidos con rocas clásticas se tornan impermeables cuando el núcleo del dique se congela. La experiencia señala que es posible construir diques si el núcleo se mantiene congelado mediante un sistema de enfriamiento artificial, ya sea por

Entregado: 31 de Julio de 2005 • Aceptado: 16 de Agosto de 2005

⁽¹⁾Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, C1010AAZ, Buenos Aires, Argentina, Tel/fax: 05411-48166821. E-mail: ivgen52@yahoo.com

aire o mediante la utilización de termosifones de evaporación o líquidos.

En el presente trabajo presenta las investigaciones geotécnicas y tareas relacionados con el diseño y construcción de un dique complementario en el lago Boeckella, fuente de abastecimiento de agua potable para la Base Esperanza, realizados durante el verano austral 2001-02, después de la ruptura de la costa natural en este sector el 4 de Enero de 2001.

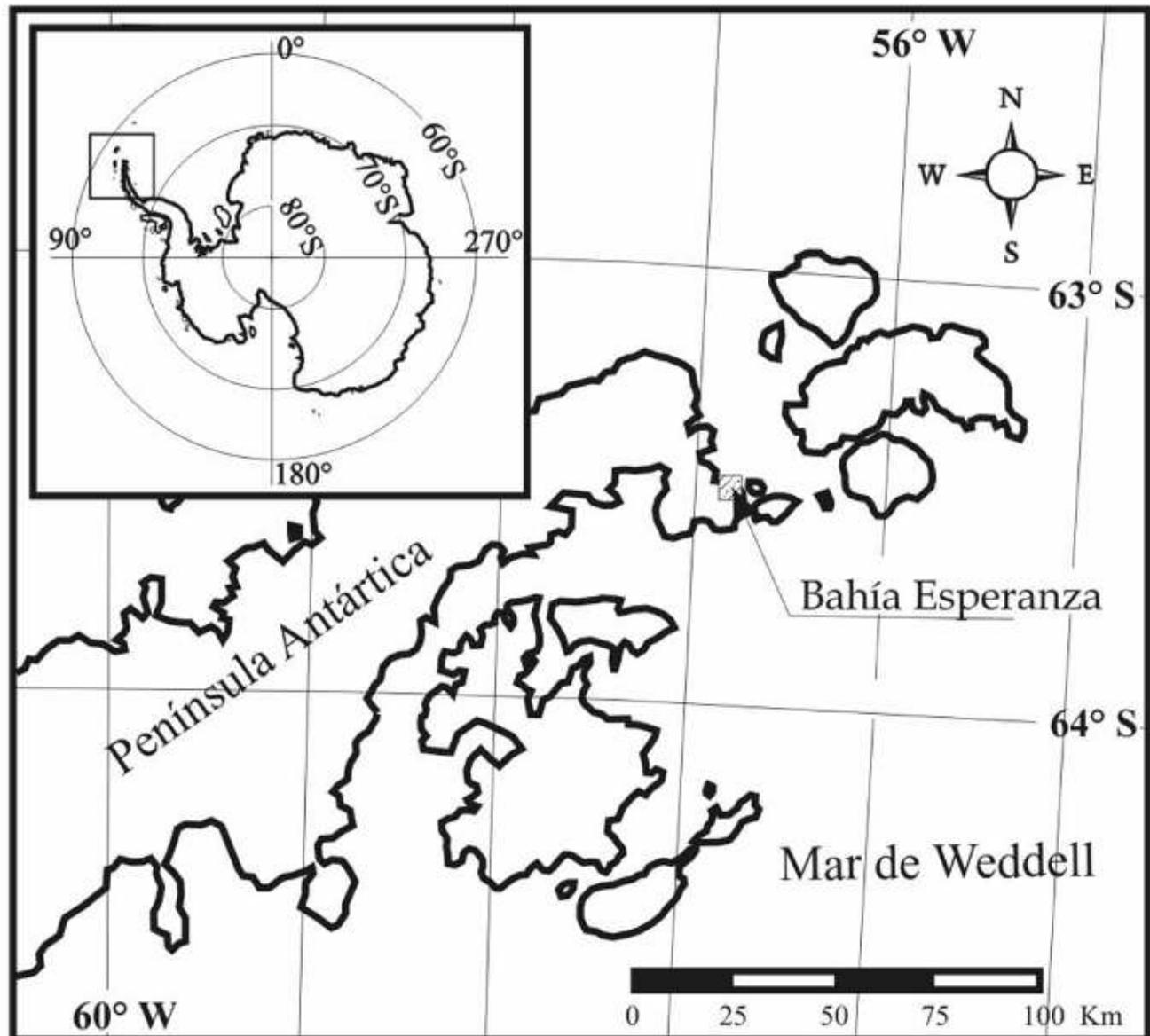
Se describe el método de construcción empleando un sistema de congelamiento artificial del suelo mediante termosifones de convección líquida. También se examinan los principales tipos de termosifones y se brindan ejemplos de diseño e instalación. El análisis de las observaciones realizadas durante los dos años siguientes a la ejecución de la obra muestra la recuperación del régimen térmico del sector de la construcción y la formación del núcleo congelado impermeable en el dique.

2. UBICACION Y CARACTERISTICAS AMBIENTALES

La planicie de Bahía Esperanza está ubicada en el extremo noreste de la Península Antártica, y abarca un sector de aproximadamente 4.0 Km ($63^{\circ}23'S$ a $63^{\circ}25'S$; $56^{\circ}58'O$ a $57^{\circ}02'O$) desde el punto más alto, el Monte Flora (520 m. s. n. m.), hasta la costa del mar (Fig.1).

Geológicamente este sector está compuesto por dos unidades geológicas: la Formación Punta Foca y la Formación Monte Flora (Camacho y Fabre, 1957). La primera, de edad paleozoica, está formada por grauwacas con abundantes capas y venas de cuarzo. Esta formación aflora a lo largo de la costa hasta el pie del Monte Flora. En el sector este existen cuerpos visibles de intrusiones de diabasa olivinica y porfírita. La formación Monte Flora está formada por unidades sedimentarias de edad jurásica (lutitas areniscas con plantas fósiles) y

FIGURA 1. UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO



volcánicas (tobas multicolores, brecha volcánica). Las rocas cuaternarias se presentan en ambientes complejos tales como depósitos glaciales, fluvioglaciales y de remoción en masa, que forman los rasgos principales del paisaje en la parte central del área. Generalmente, el relieve de origen glacial puede ser diferenciado en distintas unidades geomorfológicas: cumbres y pendientes rocosas, morenas laterales y frontales con núcleo de hielo enterrado, morenas de fondo, terrazas fluvioglaciales, formas de la remoción de masa y un sector costero con sedimentos de playa. Según los datos brindados por el Servicio Meteorológico

Nacional Argentino esta región de la Península Antártica se caracteriza por fuertes vientos dominantes del suroeste, que en ocasiones sobrepasan los 200 Km y que bajan considerablemente la sensación térmica. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-3.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, las medias de invierno entre $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ y las medias de verano entre $+1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las precipitaciones no superan los 620 mm anuales. Dependiendo de las condiciones térmicas del verano, las mismas pueden producirse en forma de nieve-lluvia o lluvia. En total, la cantidad de precipitación líquida en esta temporada puede superar más del 75-80 %. (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de la estación meteorológica Esperanza para el período 2000-2004.
T prom: temperatura promedio, P: precipitación.

Mes	2000		2001		2002		2003		2004	
	T prom [°C]	P [mm]								
Ene	1.1	43.5	-2.4	53.2	2.3	46	1.0	26	1.6	22.5
Feb	2.6	52.9	-1.4	34.8	2.9	7	1.0	38	1.5	20.9
Mar	-0.3	23.9	-4.8	90.3	-3.2	37	1.4	27	-2.2	61.3
Abr	-2.7	82.9	-8.4	19.9	-4.2	58	-2.9	14.7	-6.0	56.1
May	-4.7	1.8	-4.4	19.1	-12.7	12	-7.5	36	-6.2	60.7
Jun	-4.5	13.6	-10.8	13.2	-15.6	14	-13.8	31	-7.8	51.4
Jul	-6.1	14.0	-10.7	9.3	-10.9	29	-11.4	77	-8.0	43.7
Ago	-12.6	34.0	-4.4	16.5	-6.9	11	-4.9	85.5	-8.2	18.4
Sep	-8.5	19.6	-2.9	23.6	-5	14	-3.7	46.5	-6.6	46.6
Oct	-3.2	25.7	-0.1	20.1	-10.6	47	-4.3	24.5	-3.0	44.3
Nov	-1.0	22.1	0.2	44.0	-1.5	29	-3.2	27.5	1.0	52.3
Dic	-0.1	113.0	1.9	75.9	1.4	24	-1.2	34.5	1.0	22.6
Anual	-3.3	447.0	-3.9	419.9	-5.3	392	-4.1	468.2	-3.6	500.8

2.1. Características del lago Boeckella.

La depresión lacustre se encuentra sobre un relieve formado por una morena de fondo con depósitos clásticos, acumulados durante la última glaciación cuaternaria en la zona. El lago Boeckella está ubicado a una distancia de 500 metros del mar y 600 metros de la Base Esperanza (Fig. 2).

En la tabla 2 se resumen los rangos de los principales parámetros morfométricos y los factores físicos y químicos del lago (Pose e Izaguirre, 1997).

El cuerpo de agua se caracteriza por presentar un modelo térmico típico de lagos antárticos fríos, regido por las bajas temperaturas de la zona y por el aporte de aguas de deshielo del glaciar Buenos Aires a través de la descarga de agua de ablación. El cambio estival del nivel del lago se relaciona directamente con los cambios de la temperatura del aire lo cual está relacionado con la intensidad de ablación. La diferencia máxima entre los valores extremos del nivel del lago corresponde a los

picos de la temperatura máxima del aire, momento en el que se observa el aumento de la descarga de las aguas de fusión.

La temperatura del agua del lago es un factor muy variable y depende de la profundidad y de la época del año. En la época de ablación, se pueden observar dos horizontes térmicos. La capa superior, de 0 a 2.5 m, se caracteriza por una temperatura inestable bajo la influencia de la turbulencia del agua superficial y del enfriamiento debido al aporte de las aguas de fusión del glaciar Buenos Aires. El horizonte más profundo muestra un perfil homogéneo con temperaturas de fondo entre 2.3 y 3.5 °C. Este valor de temperatura se puede considerar inalterable en el transcurso del año y por eso en los sectores del lago con una profundidad de 2.5 m o mayor se encuentra la zona descongelada abierta entre el permafrost (talik abierto) bajo la influencia térmica del cuerpo de agua (Ermolin, 2003).

En general el proceso de congelación y descongelación del agua del lago es variable y depende de los cambios

en las condiciones climáticas estacionales. Habitualmente, según los registros históricos de la Base, el congelamiento estable de la superficie del lago

comienza a principios de marzo. El manto de hielo sobre el mismo se mantiene durante 7-8 meses, hasta octubre o noviembre.

FIGURA 2. VISTA GENERAL DEL LAGO BOECKELLA EN LA PLANICIE BAHIA ESPERANZA



Tabla 2. Características del lago Boeckella.

Superficie de la cuenca lacustre	0.3 km ²
Altura sobre nivel medio del mar	49 m
Superficie del lago	0.07 km ²
Profundidad máxima	5.8 m
Temperatura del agua en el fondo	2.3 - 3.5 °C
Período de congelamiento	marzo-noviembre
Espesor máximo de hielo	1.6 m
Volumen de agua	1.4 · 10 ⁵ m ³
Cambio estival de nivel	0.4 - 0.5 m

3. METODOLOGIA

Las prospecciones geocriológicas y geotécnicas consistieron en la obtención de parámetros básicos tales como, las propiedades mecánicas y térmicas del suelo congelado y descongelado, el contenido total de agua en el suelo (W_t), el contenido total de hielo (H_s), estructura y criotextura de la capa activa y techo del permafrost,

profundidad media de penetración del congelamiento y descongelamiento estacional (Gostroy, 1977). El estudio del régimen térmico fue realizado en varios pozos con una profundidad entre 3 y 4 m, en los que se instalaron termistores que se midieron regularmente a fin de determinar el cambio de los parámetros de la capa activa y posición del techo del permafrost para la zona del estudio. En el presente trabajo se utilizará la clasificación de suelos para diseños en zonas de permafrost (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de suelos (basada en United Soil Classification System, Corps of Engineers y Bureau of Reclamation, Hennion and Lobacz, 1973). G: Grava; S: Arena; C: Arcilla; P: Selección Pobre; W: Selección buena; H: Alta; M: Media; L: Baja.

Clasificación según reacción al congelamiento	Tipos de suelo	Porcentaje en peso de partículas < 2 mm	Tipos de suelos típicos
F 1	Gravas	3-10	GM, GP, GW-GM, GP-GM
F 2	Gravas arenosas	10-20 3-15	GM, GW-GM, GP-GM SW, SP, SM, SW -SM, SP-SM
F 3	Gravas arenosas sin Limo-Arena	sobre 20 sobre 15	GM, GC SM, SC

4. CONDICIONES GEOCRIÓGENICAS

La variabilidad climática y las condiciones geológicas y geomorfológicas han predeterminado la existencia y las características geocriogénicas en el área libre de hielo de la Bahía Esperanza. Este sector se halla en una zona del permafrost continuo con temperaturas del suelo en profundidad de amplitud anual cero (cerca de 12-15 m de profundidad) no menores a $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un espesor medio de entre 100 y 120 m del horizonte de rocas permanentemente congeladas. La estructura de la parte superior del permafrost en los depósitos glaciales alrededor del lago y en la zona de construcción del dique se caracteriza por la presencia de grandes cuerpos de hielo enterrado formados durante la última época de la glaciación cuaternaria. La saturación del hielo subterráneo en los depósitos marginales del lago son los parámetros geocriogénicos que marcan la sensibilidad del permafrost a los efectos del cambio medioambiental en esta zona.

La extensión del permafrost en el área se complica debido a la formación de sistemas de talik bajo la influencia de las aguas superficiales. Mientras que la transformación del acuíclodo criogénico corresponde al techo del permafrost o a la parte superior de la capa activa durante la época de descongelamiento. Según la génesis y morfología se pueden determinar dos tipos de talik: el cerrado y abierto. El primero está ubicado en el fondo del lago con profundidades no menores de 2.0 m. La formación del talik cerrado pudo provocar el aumento estival del flujo de filtración y erosión en el sector costero. La configuración de esta zona coincide con los parámetros de ruptura observados en la costa natural de este sector ocurrida el 4 de Enero de 2001.

El congelamiento y descongelamiento estacional es uno de los factores variables gobernados por los siguientes elementos: condiciones climáticas ambientales, estado de la superficie, espesor de la cobertura de nieve, composición química y mecánica de las rocas clásticas y la humedad total del suelo. En la planicie de la bahía Esperanza el suelo comienza a congelarse a partir de los primeros diez días de marzo, aunque esto podría variar según las condiciones meteorológicas de los distintos años. El espesor mínimo del horizonte de descongelamiento, comprendido entre 1.3 y 1.5 m, se

observa en el sector costero original. El espesor máximo, de 2.5 a 3.5 m, se halla en la zona de la superficie modificada bajo la influencia de aguas subterráneas. La disposición del techo de permafrost depende de la influencia del flujo de filtración iniciado a partir del colapso del 4 de enero de 2001. El cambio de los parámetros y el estado de humedad en la capa activa durante la época de descongelamiento generaron la aparición de los procesos de deshielo en el techo del permafrost rico en hielo. Estos procesos acompañan el lavado de las fracciones finas de los depósitos clásticos y el asentamiento de la superficie del suelo en este sector.

5. CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Para analizar el estado actual del sector de la construcción y efectuar el diseño del dique utilizando los métodos de congelamiento artificial es necesario contar con los siguientes datos: propiedades mecánicas del suelo, contenido total de agua (W_t) de los suelos congelados y descongelados, contenido total de hielo (H_t) del permafrost, valor del asentamiento por fusión del hielo subterráneo (A) y la profundidad normativa de congelamiento y descongelamiento estacional para los distintos suelos utilizados (H_c y H_d). Mediante estos datos se puede realizar el diseño del dique y calcular los parámetros necesarios para la instalación de termosifones u otro sistema de congelamiento artificial de suelos.

5.1. Propiedades mecánicas de los suelos.

Se han analizado tres distintos tipos de suelo: muestra 1 - suelo natural, muestra 2 - áridos rellenados en ruptura del 2001 y muestra 3 - áridos utilizados para la construcción del dique. Según la clasificación del diseño y construcción en zonas de permafrost (Hennion and Lobacz, 1973) y la clasificación de materiales de construcción (Highway Research Board - H.R.B., 1958) los suelos naturales en el sector de la construcción y los áridos utilizados presentan las características que se indican en (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del análisis mecánico de los suelos en la zona del dique y de los áridos usados en la construcción.

Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Granulometría: tamiz N° 4	80	95	90
tamiz N° 18	55	47	45
tamiz N° 60	32	23	25
tamiz N° 230	12	5	8
Diámetro efectivo de clastos	0.09	0.21	0.14
Límite líquido	11 %	6 %	8 %
Peso volumétrico del suelo congelado	1.75 Tn m ⁻³	1.65 Tn m ⁻³	1.67 Tn m ⁻³
Peso volumétrico del suelo descongelado	1.85 Tn m ⁻³	1.8 Tn m ⁻³	1.8 Tn m ⁻³
Peso específico del suelo seco	2.25 Tn m ⁻³	2.15 Tn m ⁻³	2.15 Tn m ⁻³
Tipos de materiales más importantes	bloques, gravas y arenas arcillosas	gravas y arenas limosas	gravas y arenas limosas
Índice de clasificación según H.R.B.	A-2	A-2	A-2
Agrupación según reacción al congelamiento y descongelamiento	F-3	F-2	F-2

Los suelos están agrupados según su susceptibilidad al levantamiento por congelamiento y al debilitamiento por acción de la fusión de hielo subterráneo. Los suelos naturales de la costa (grupo F-3) muestran una susceptibilidad baja al levantamiento por congelamiento y un debilitamiento parcial o completo por la acción de la fusión. En este caso la magnitud del debilitamiento de las rocas descongeladas depende del contenido total de hielo subterráneo. Los áridos que corresponden al grupo F-2 se presentan como un material óptimo para la construcción del dique en el lago Boeckella. Los mismos se caracterizan por poca susceptibilidad al levantamiento por congelamiento y por una alta resistencia mecánica, la cual aumenta considerablemente con el descenso de las temperaturas negativas.

5.2. Humedad total y contenido de hielo subterráneo.

Se han registrado diferencias significativas en el contenido de humedad total del suelo entre la zona saturada de la sección del acuífero criogénico y en el sector natural fuera del área de construcción. Para la capa activa, en el sector habitual cuya profundidad oscila entre 1.3 y 1.5 m se observan valores de W_f no superiores al 12-15% y un aumento hasta el 18-20 % en la base de la capa de descongelamiento estacional. El valor de W_f para la zona saturada con agua freática, en el rango de profundidad de medición de 0.1 a 2.8 m, es de aproximadamente 25-27%. Este valor determina ciertas condiciones geotécnicas para diseñar el dique en el lago

Boeckella, que se halla en la zona influenciada por el flujo de filtración del agua del suprapermafrost.

El contenido de hielo subterráneo es un factor constante para la zona del permafrost y, por el contrario, muy variable en el horizonte de descongelamiento estacional. Para la capa activa los valores de H_f dependen de la humedad inicial del suelo. Por este motivo el valor de W_f puede modificarse considerablemente conforme al cambio de la humedad del suelo antes del congelamiento estacional. En el área del acuífero freático estudiado se obtuvo un valor potencial de 18-20% para H_f . En las áreas no perturbadas próximas al dique, el valor de H_f entre la capa de congelamiento estacional y el techo del permafrost (depósitos glaciales) se corresponde con los mismos valores de W_f . En la parte inferior del permafrost rico en hielo, a partir de una profundidad de 2.2 - 2.5 m, el contenido total de hielo alcanza un 75-80% del volumen común de los suelos congelados.

5.3. Asentamiento por descongelamiento.

El asentamiento (A) por descongelamiento total o parcial de la zona de permafrost con hielo subterráneo es posible en tres casos generales: 1) como resultado del aumento del espesor de la capa activa conforme al calentamiento atmosférico local durante largo plazo; 2) bajo la influencia de agua de suprapermafrost o superficial durante corto o mediano plazo; 3) como resultado de una alteración de la superficie original en el sector del permafrost rico en hielo.

El (A) de las capas superiores del permafrost rico en

hielo depende fundamentalmente del contenido total de hielo subterráneo (H_t). Este último responde a dos factores principales: la presencia de hielo enterrado y la capacidad de los suelos finos para generar hielos de segregación o de cemento por congelamiento. La amplitud de asentamiento por descongelamiento se somete directamente de los valores de W_t de los suelos congelados con hielos intersticiales formados por el congelamiento del agua en las rocas clásticas y del valor de H_t en la porción de permafrost rico en hielo. La relación entre los parámetros considerados y el asentamiento potencial por descongelamiento (A) se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{\gamma_e(W_t - W_l)}{1 + \gamma_e} h_1 + h_2 H_t$$

Tabla 5. Valores relativos de A (dependen del tipo del permafrost).

Característica de las capas de descongelamiento del permafrost	Espesor de las capas (m)	Valores de A para cada 1 m de descongelamiento potencial (m)
Depósitos clásticos con hielo intersticial	0.6 - 1.5	0.1 - 0.13
Permafrost rico en hielo ($H_t > 60\%$)	4.5 - 7.0	0.6 - 0.8

5.4. Profundidad normativa de congelamiento y descongelamiento estacional.

La profundidad normativa de congelamiento y descongelamiento son valores importantes en las investigaciones geotécnicas en la zona de permafrost. Ellas se definen como la mayor profundidad potencial determinada u observada durante los últimos 10 años. Debido a que no existe una base de datos del régimen térmico de la capa activa para tal periodo estos parámetros se calcularon con los datos de la estación meteorológica Esperanza, las características térmicas de la capa activa y el techo del permafrost y las propiedades físico-mecánicas de los suelos (Kudriavzev, 1974). La profundidad normativa del congelamiento estacional se expresa de acuerdo a la siguiente fórmula:

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

El valor normativo de descongelamiento se define como la mayor profundidad donde la capa activa en etapa de descongelamiento estacional coincide con el techo del permafrost.

En la cual:

h_1 es el espesor de la capa del suelo congelado con hielos intersticiales; h_2 es el espesor del permafrost rico en hielo; W_t es la humedad total del suelo; W_l es el límite de fluidez del suelo; γ_e es el peso específico del suelo seco; H_t es el contenido total de hielo en la parte del permafrost rico en hielo. Conforme a los datos obtenidos los valores relativos de (A) para 1 m de deshielo potencial del permafrost puede sobrepasar 0.1-0.8 m depende del contenido total de los hielos en este sector (Tabla 5).

$$H_d = \sqrt{\frac{2\lambda_d \tau_1 t_1}{q} + \left(\frac{Q}{2q}\right)^2} - \frac{Q}{2q}$$

Donde,

$$Q = \left(0.25 - \frac{\tau_1}{3600}\right) (t_1 - t_c) \sqrt{\lambda_c C_c \tau_1}$$

y

$$q = \rho (w_t - w_n) H_d + \left(\frac{\tau_1}{7500} - 0.1\right) (C_d t_1 - C_c t_0)$$

con

$$t_1 = 1.4 t_p + 2.4$$

$$\tau_1 = 1.15 \tau_p + 360$$

La tabla 6 muestra las unidades utilizadas y los valores de espesor normativo de congelamiento estacional para tres tipos de suelo clástico observados: 1) zona natural; 2) zona saturada en agua; 3) zona de construcción del terraplén del dique.

Las diferencias en las profundidades normativas de congelamiento o descongelamiento estacional entre los

distintos tipos de suelos justifican el cambio considerable en la humedad total del suelo y sus condiciones físicas y térmicas. La reducción del valor de congelamiento estacional en la zona saturada (el área de inundación estival) contribuye a la formación del talik cerrado por encima del techo del permafrost bajo la influencia del flujo de filtración.

Tabla 6. Valores de profundidad normativa de congelamiento y descongelamiento estacional, datos climáticos utilizados y propiedades físicas y térmicas del suelo.

Unidad	Área natural	Zona saturada	Áridos de construcción
λ_c - coeficiente de conductividad térmica del suelo congelado ($Kcal\ m^{-1}h^{-1}^{\circ}C^{-1}$)	1.6	1.5	1.75
λ_d - coeficiente de conductividad térmica del suelo descongelado ($Kcal\ m^{-1}h^{-1}^{\circ}C^{-1}$)	1.35	1.4	1.55
t_n - temperatura media del aire durante el tiempo en que permanece por debajo de los $0^{\circ}C$ ($^{\circ}C$)	-6	-6	-6
t_p - temperatura media del aire durante el tiempo en que permanece por encima de los $0^{\circ}C$ ($^{\circ}C$)	4	4	4
τ_n - duración del período con temperaturas del aire negativas, (hs)	6600	6600	6600
τ_p - duración del período con temperaturas del aire positivas, (hs)	2160	2160	2160
W_t - contenido total de agua del suelo, (%)	20	24	15
W_n - contenido total de agua no congelada, (%)	2	3	1
ρ - calor latente de fusión de hielo ($Kcal\ Tn^{-1}$)	80000	80000	80000
C_c - capacidad calorífica por volumen del suelo congelado ($Kcal\ m^{-3}^{\circ}C^{-1}$)	540	430	450
C_d - capacidad calorífica por volumen del suelo descongelado ($Kcal\ m^{-3}^{\circ}C^{-1}$)	750	620	690
γ_c - densidad del suelo congelado (Tnm^{-3})	1.6	1.5	1.6
γ_d - densidad del suelo descongelado (Tnm^{-3})	1.8	1.9	1.9
H_c - profundidad normativa de congelamiento (m)	2.2	1.8	2.7
H_d - profundidad normativa de descongelamiento (m)	1.0	1.5	1.2

6. MÉTODOS DE CONGELAMIENTO ARTIFICIAL EN CONSTRUCCIÓN HIDROTÉCNICA EN ZONAS FRÍAS

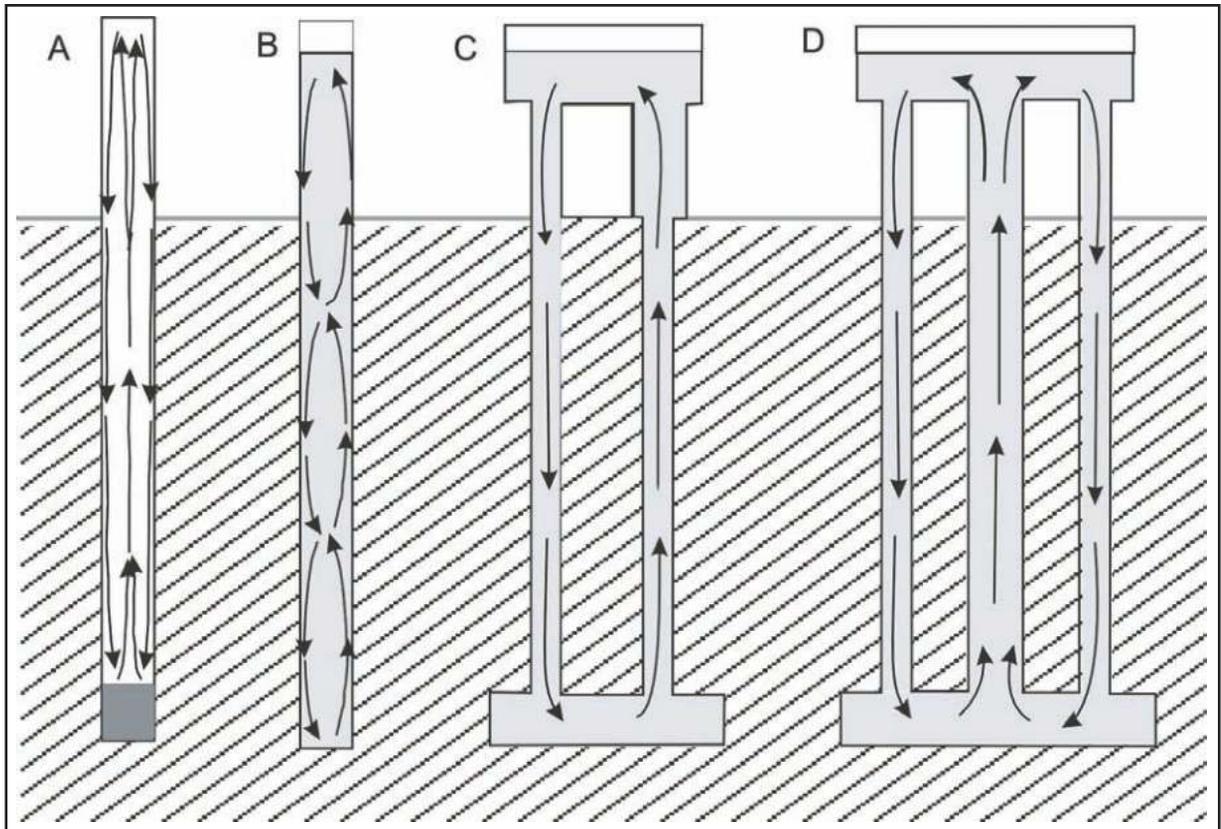
El diseño del dique se basa fundamentalmente en los siguientes criterios: resistencia a disgregación y permeabilidad. Normalmente la experiencia obtenida en diseño y construcción hidrotécnica en zonas de permafrost indica que es muy factible construir diques de material clástico en los ríos y lagos de esas regiones (Blinov,

1975; Bogoslovsky et al., 1963; Brown, 1970; Linell et al., 1973; Krivonogova et al. 1979, Zvid, 1957). En lugares fríos, como Bahía Esperanza, con temperaturas medias anuales de alrededor de $-5^{\circ}C$ se pueden utilizar áridos para la construcción de un dique, con la condición de mantener congelado el núcleo del mismo mediante un sistema de enfriamiento artificial que comienza a funcionar durante el período de temperaturas negativas, ya sea por aire frío o mediante la utilización de termosifones de convección líquida (Makarov, 1985;

Gapeev, 1969). Entre los distintos sistemas de congelamiento artificial para consolidar suelos clásticos y porosos en zonas frías se destacan los termosifones de evaporación o de convección líquida. El sistema a utilizar dependerá fundamentalmente de las condiciones climáticas, de las características geotécnicas y de los materiales disponibles para la construcción. La mayoría de los termosifones utilizados consisten en un sistema de circulación cerrado o abierto donde el elemento portador de calor ya sea líquido o vapor puede circular y ser activado bajo la influencia del frío natural en el campo

de la gravedad. El movimiento del portador de calor impulsa el intercambio de calor con el medio ambiente. El entorno de circulación consiste de dos partes. La primera o parte superior, transmite el movimiento y el intercambio de calor con el medio ambiente mientras que en la segunda parte (parte inferior o subterránea) tiene lugar la transmisión de calor y frío y circulación por gravitación. La Figura 3 presenta un esquema genérico de los dos tipos más comunes de termosifones: de evaporación y de convección líquida.

FIGURA 3. TIPOS PRINCIPALES DE TERMOSIFONES: A - de evaporación, B - de convección líquida de un tubo, C - de convección de dos tubos, D - de convección líquida de tres tubos.



El termosifón de evaporación consiste en un tubo metálico vertical que contiene un líquido de bajo punto de ebullición, tal como el freón. El interior del mismo una determinada cantidad de vapor de gas se encuentra en contacto con su fase líquida. La circulación comienza cuando el tubo se halla en dos ambientes con distintas temperaturas: la superior es más fría que la inferior. El volumen de freón necesario no supera un 5-7 % del volumen total del tubo. La transmisión del calor se produce sobre la superficie libre (interfase gas-líquido) y en las paredes internas del tubo donde se produce la condensación del gas. Al preparar un termosifón de evaporación hay que generar vacío en el interior del tubo, inyectar el gas licuado y garantizar una hermeticidad absoluta. En general, los termosifones de este tipo se utilizan en caso de necesidad de congelamiento profundo de los suelos.

El termosifón de convección líquida activa (termosifón líquido) se subdivide en tres variedades de construcción: termosifón de un tubo; termosifón de dos tubos y

termosifón de tres o más tubos (incorporados dentro de uno de mayor diámetro). Entre todas las variedades de instalaciones artificialmente enfriadas, el termosifón de un tubo, que fue utilizado para la construcción del dique en el lago Boeckella, se destaca por ser la opción de más fácil construcción y por brindar mayor seguridad en la utilización. Su preparación no presenta mayores dificultades y el uso posterior se caracteriza por un funcionamiento estable y prolongado. La selección de líquido portador responde al rango térmico de funcionamiento, es decir las condiciones climáticas del lugar, y dependerá también de la resistencia a la corrosión del tubo metálico a utilizar. Un líquido de uso común y que responde a las condiciones mencionadas es el keroseno de aviación o JP-1. Las características principales del JP-1 son la muy baja temperatura de su punto de congelamiento y sus cambios óptimos en cuanto a la viscosidad y densidad dentro del rango térmico de funcionamiento del termosifón (Tabla 7).

Tabla 7. Propiedades físicas y térmicas del JP-1 en el rango de trabajo (Vargraftik, 1972).

Rango térmico de funcionamiento	Parámetro	Valor
- 30°C < t < 0°C	Capacidad calor volumétrico, C_v	(365+0.66 t) kcal m ⁻³ °C ⁻¹
- 25°C < t < - 5°C	Viscosidad cinemática, ν	(1.625-0.0625 t) 10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹
- 25°C < t < - 5°C	Densidad, d	(0.825-0.0007t) Tn m ⁻³
- 25°C < t < - 5°C	Conductividad térmica, λ	(0.1-0.00017 t) kcal h ⁻¹ m ⁻¹ °C ⁻¹
- 25°C < t < - 5°C	Coefficiente de expansión térmica, β	101·10 ⁻⁵ °C ⁻¹
	Temperatura del congelamiento	- 55°C ÷ - 60°C
- 25°C < t < - 5°C	Difusibilidad térmica, D_t	(2.825 + 0.01t) 10 ⁻⁴ m ² h ⁻¹

La diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior del líquido provocan flujos contrarios a causa de los distintos valores de densidad y viscosidad entre el líquido calentado y el enfriado. Ambos se entremezclan formando una cadena de contornos cerrados de circulación, los cuales se movilizan desde la parte superior más fría hacia la parte inferior más caliente (Romanov, 1956). La irregularidad del cambio de calor del líquido a lo largo de la porción del tubo bajo determina el efecto final del congelamiento del suelo conforme a los parámetros constructivos del termosifón. El termosifón líquido de un tubo está formado por un caño de acero galvanizado con paredes de espesor no menor a 6-8 mm. La experiencia indica (Makarov, 1985; Konovalov y Naumova, 1979; Balch, 1965) que los termosifones monofásicos líquidos (una sola fase líquida) de un tubo permiten lograr un congelamiento efectivo del suelo hasta profundidades de 8-10 m. El enfriamiento de suelos más profundos se puede realizar por medio de termosifones de tubos múltiples cuyo diseño específico favorece la circulación del líquido en la parte inferior del termosifón. La relación óptima entre los parámetros constructivos de las partes inferior (H_2) y exterior (H_1) de un termosifón común de un tubo con radio entre 4 y 7.5 cm y un largo no mayor de 10 m son los siguientes:

- 1) $H < 4$ m, relación $H_2/H_1 \cong 2.5$;
- 2) $4 < H < 7$, relación $H_2/H_1 \cong 3.0$
- 3) $7 < H < 10$, relación $H_2/H_1 \cong 4.0$

Para estimar el rendimiento de un termosifón líquido de un tubo hay que considerar: a) el contraste entre las temperaturas del aire y del líquido durante el período con temperaturas del aire negativas, y b) la efectividad del congelamiento artificial del suelo inducido por el termosifón.

Como ya fue señalado anteriormente, el movimiento del líquido en un termosifón genera entornos de circulación que dan lugar a una irregularidad en el intercambio calórico a largo del tubo. Empíricamente se ha

determinado que a partir del comienzo del congelamiento la temperatura del líquido a largo de la porción subterránea del tubo (t_s) puede expresarse según Makarov (1985) como:

$$t_s = \frac{6d \Delta t_a}{H_s}$$

Donde: H_s es la coordenada vertical (profundidad) a largo del eje del termosifón, calculada desde la superficie del suelo hasta el punto de medición; t_a es la temperatura observada del aire; d es el diámetro interno del termosifón.

La efectividad de trabajo del termosifón se puede evaluar mediante los valores del radio posible de congelamiento artificial del suelo durante el tiempo definido y del radio máximo de enfriamiento a largo plazo. El valor del radio de congelamiento durante el tiempo definido (R_c) se obtiene mediante la ecuación de Zvid (1957):

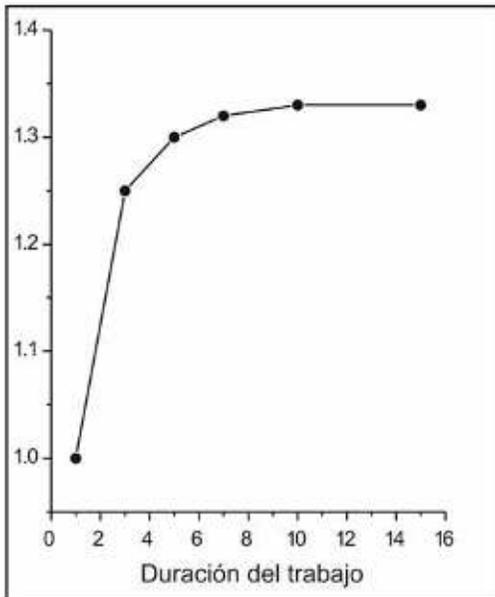
$$R_c \cong \sqrt[3]{\frac{1.5(t_c + t_s)\tau_c d \lambda_c}{\rho W_t \gamma_c - 0.5 C_c t_c}} + 0.25d$$

Donde: t_c es la temperatura media del aire durante el tiempo en que esta permanece debajo de 0 °C; t_s es la temperatura del suelo antes de activar el termosifón; d es el diámetro del tubo; t_c es el período con temperaturas del aire negativas; ρ , W_t , λ_c , γ_c , C_c son los valores de las propiedades del suelo (ver Tabla 5).

La magnitud máxima del congelamiento artificial debido al termosifón posee una dependencia funcional entre el valor del congelamiento estacional normativo del suelo y varios parámetros constructivos del termosifón. Una forma simplificada para calcular la magnitud máxima del radio de congelamiento potencial del suelo (R_{cm}) alrededor del termosifón con JP-1 durante un largo plazo está dada por la ecuación de Makarov (1985):

$$R_{cm} = K 0.9 \sqrt[3]{d H_c^2} R_{cm}$$

FIGURA 4. El valor del coeficiente K depende del tiempo de funcionamiento del termosifón con JP-1.



Donde: H_c es el valor del congelamiento estacional normativo (Tabla 5); K es el coeficiente empírico de la relación entre el tiempo (años) y la magnitud máxima decongelamiento artificial potencial bajo la influencia del trabajo del termosifón (Fig. 4).

La magnitud del congelamiento artificial tenía que lograr sus valores máximos a partir de los 5-6 años de funcionamiento del termosifón. Después de este tiempo la zona de los suelos artificialmente congelados será estable y cada año más consolidada bajo la influencia de las temperaturas negativas. La tabla 8 contiene los valores estimados para el radio máximo de congelamiento potencial del suelo alrededor del termosifón, que depende de las variables H_c y d .

El procesamiento de datos fue efectuado con distintos valores estimados para el congelamiento estacional potencial en el sector del dique y depende de los tres tipos de material clástico: suelos naturales (depósitos glaciales en la zona marginal del lago), áridos rellenos en el área del acuífero freático (sector de ruptura en el 2001) y áridos utilizados como material de construcción del dique actual.

Tabla 8. Dependencia entre los valores H_c , d y el radio máximo de congelamiento artificial potencial (R_{cm}) del suelo alrededor del termosifón de un tubo con JP-1 utilizados para la construcción del dique.

Profundidad del congelamiento estacional potencial (H_c), en metros	Radio máximo de congelamiento del suelo (R_{cm}), depende del diámetro interno del tubo (d), en metros		
	0.075	0.1	0.15
1	0.49	0.55	0.6
2	0.78	0.85	1.0
3	1.04	1.25	1.45
4	1.25	1.5	1.75

7. CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE Y FUNCIONAMIENTO DEL CONGELAMIENTO ARTIFICIAL

Sobre la base del estudio de las condiciones geotécnicas en este sector, cálculos de los parámetros necesarios y trabajo potencial de los termosifones de convección líquida se realizó el diseño concreto para la construcción del dique. Los problemas principales en la construcción del dique consisten en reforzar la zona del acuífero freático como área potencial de ruptura y en obtener una cortina impermeable en el núcleo del dique mediante el sistema de congelamiento artificial. El presente diseño se basó en: 1) bajo mantenimiento, 2) protección del medio ambiente, 3) posibilidad de utilizar materiales locales para la construcción. El terraplén del dique con el

sistema de congelamiento artificial y el malecón de hormigón tenía que constituir una consolidación del suelo en este sector. La construcción de un muro de hormigón que fue realizado un año antes, en el verano 2000-2001, únicamente recuperó el nivel del lago, pero no evitó los procesos de filtración en la depresión rellena con áridos sobre la que fue levantado. La porción enterrada del mismo varía entre 1.2 y 1.5 m, y está suspendida en la zona freática donde se forma el talik cerrado. Los procesos observados durante la época de descongelamiento estacional resultan de la evolución del talik cerrado en esta zona costera por descarga de las aguas superficiales y de supraperafrost. Estos procesos se revelan en los efectos de la alteración de la superficie del terreno por desarrollo del termokarst en este sector del permafrost rico en hielo. El terraplén complementario con el sistema de congelamiento

artificial y el malecón de hormigón constituyen un sistema completo de protección y fortalecimiento del suelo en este sector por efecto de congelamiento profundo. Este dique debe cumplir dos funciones importantes: 1) proteger la zona del empuje del agua del lago durante la época de fusión, y 2) recuperar por el efecto de penetración de temperaturas negativa, las propiedades impermeables del sector inferior donde se hallan ubicados los termosifones.

Los trabajos de construcción fueron realizados entre el 23 de Febrero y el 5 de Marzo de 2002. Para facilitar las obras se aprovechó el período en que el suelo comienza

a congelarse y la acción de las aguas subterráneas es mínima. Por este motivo la superficie del terreno detrás del malecón de hormigón permanecía por debajo del nivel medio del lago durante el tiempo con temperaturas del aire positivas. Los áridos necesarios para construir el terraplén del dique de unos 160-170 se obtuvieron de una cantera vieja de la terraza fluvioglacial ubicada cerca de la costa del mar a unos 400 m del lago. Las dimensiones del dique son las siguientes: largo de 32 m; ancho de 3 m; altura relativa sobre el nivel medio del lago 1.5- 2.0 m. (Figura 5).

FIGURA 5. DIQUE EN EL LAGO BOECKELLA CON EL SISTEMA DE CONGELAMIENTO ARTIFICIAL.



En el eje del terraplén fueron instalados 14 termosifones de convección líquida con JP-1 en profundidad 3 – 4 m. La distancia entre termosifones varía de 1.8 a 2.1 m. Este valor fue determinado según el cálculo de los datos obtenidos de las propiedades térmicas de suelo y el funcionamiento del termosifón con radio de congelamiento potencial de 0.8 m a 1.4 m, el cual, a su vez, depende del diámetro del tubo utilizado. Con objetivo de evaluar el cambio de los parámetros térmicos en este sector fueron realizadas mediciones controles de la temperatura a fines de febrero de 2002 (finalización de las tareas de construcción) y en febrero de 2004. Las observaciones indican que la recuperación del régimen térmico negativo durante dos años evoluciona, en este sector, según los cálculos de pronóstico para el funcionamiento efectivo de termosifones (Figura 6).

Una vez establecido el régimen térmico negativo constante en el líquido de los termosifones comenzó el proceso de congelamiento del suelo alrededor de los tubos. Actualmente la intensidad del enfriamiento es mayor en el cuerpo del terraplén nuevo, donde la humedad de los áridos es óptima para favorecer el congelamiento de los áridos de la construcción. Al comienzo del primer año en la parte inferior del dique se observó una zona de las rocas descongeladas debida a la influencia del flujo de filtración. El cerramiento compacto y continuo del núcleo por los procesos de congelamiento fue alcanzado en los 2 años de funcionamiento del sistema necesario para devolver el estado impermeable a los áridos rellenados en sector del acuífero freático. El proceso de consolidación bajo el efecto de la cementación del hielo en los estratos

profundos recuperó las condiciones impermeables del permafrost en esta sección. El contraste entre la modificación del régimen térmico en este sector

manifiesta los perfiles de temperatura en dos pozos de control (Figura 7).

FIGURA 6. Sector de terraplén y perfiles del dique con el sistema de congelamiento artificial: A-B línea de corte; 1 – áridos de construcción del terraplén; 2 – sector de acuífero freático con áridos rellenos; 3 – depósitos glaciales (sección natural del permafrost rico en hielo); 4 – límite del permafrost; 5 – curvas de temperatura; 6 – pozos de medición de temperatura; 7 – termosifón.

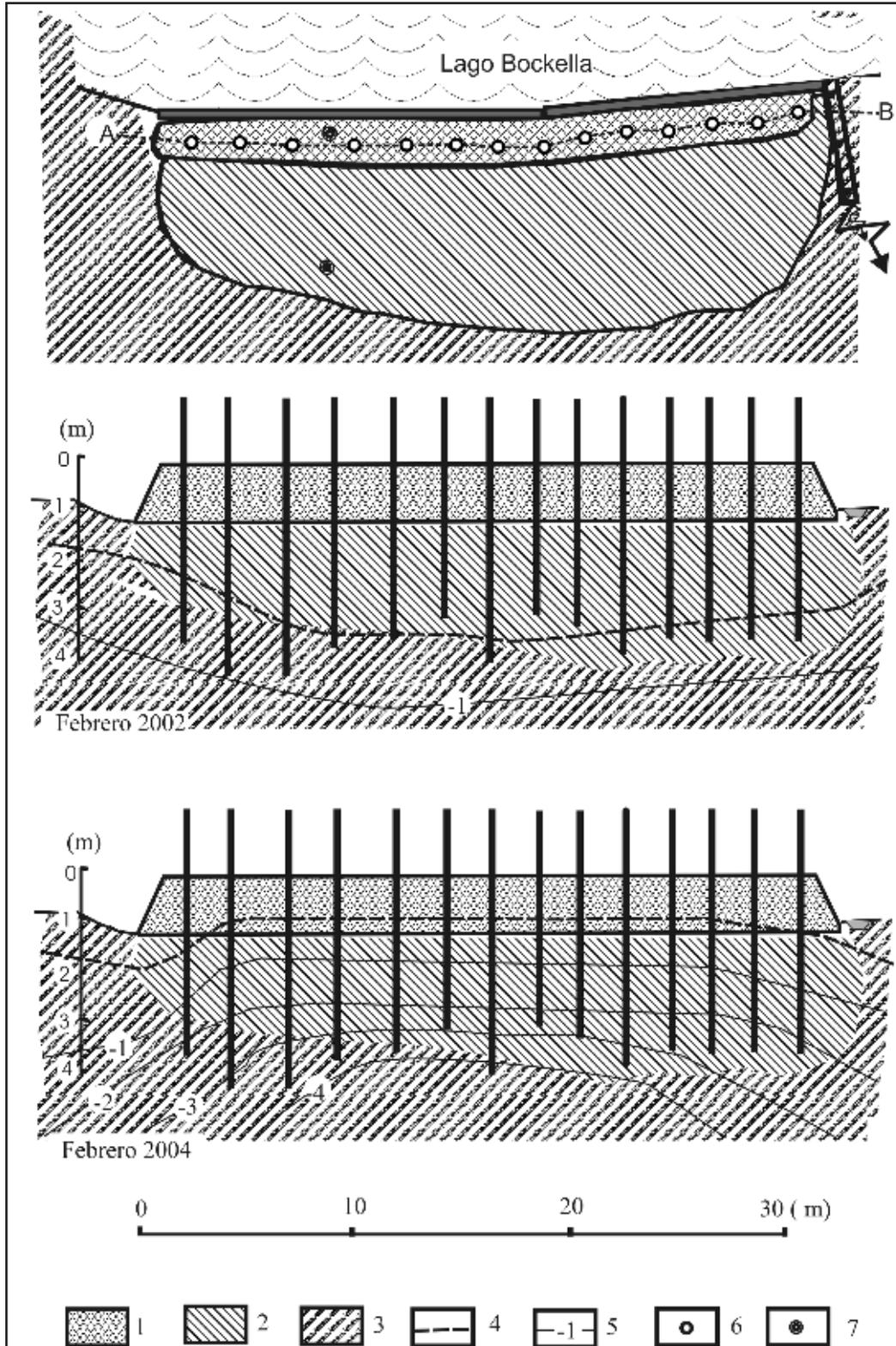
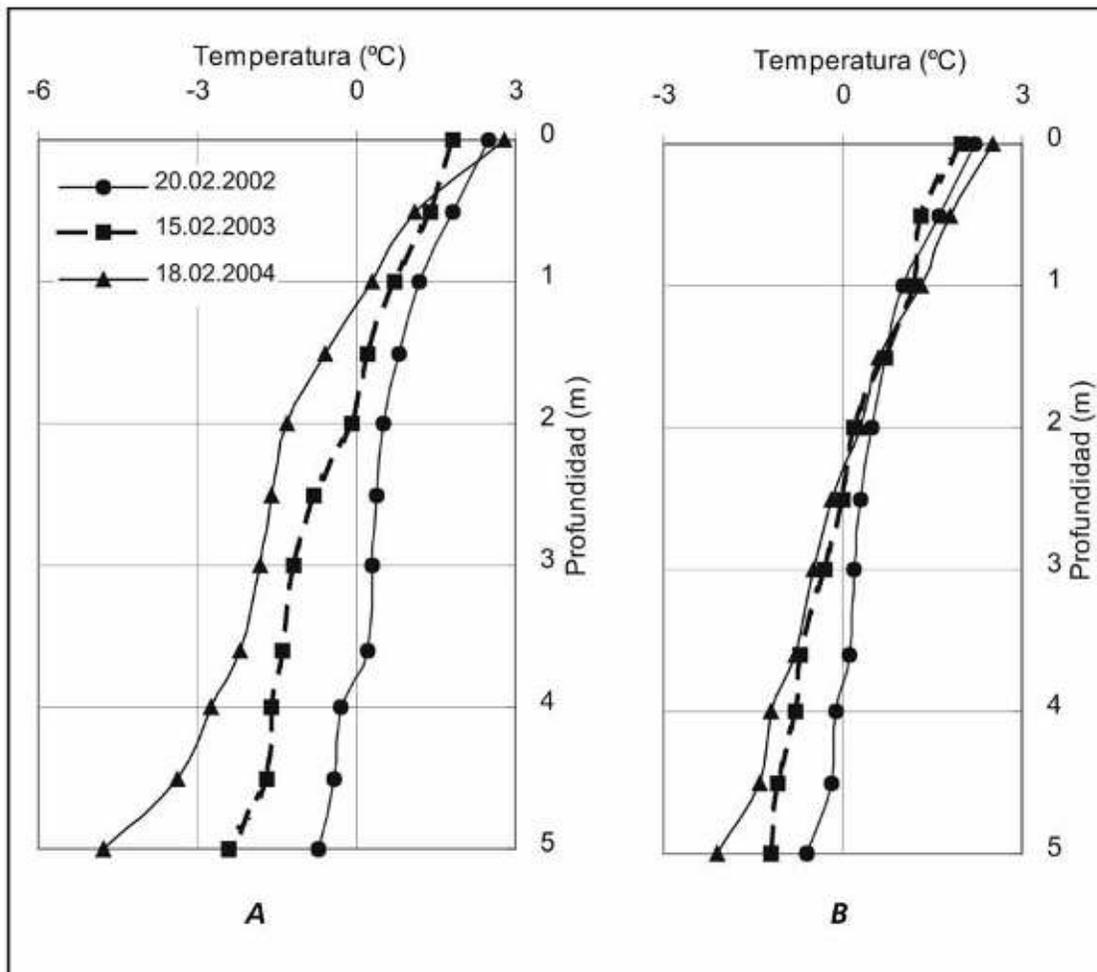


FIGURA 7. MODIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA DURANTE 2002 - 2004 AÑOS EN EL SECTOR DEL TERMOFIFÓN (A) Y EN EL SECTOR AFUERA DEL DIQUE (B), UBICACIÓN DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN (Ver Figura 6).



El régimen térmico en pozo (A) indica una modificación se relaciona al funcionamiento del congelamiento artificial. Los perfiles térmicos muestran la caída acumulativa de la temperatura en el horizonte profundo y subida el techo del permafrost. La profundidad del descongelamiento estacional en sector del terraplén no alcanza de 0.7 – 0.8 m en fin de verano de 2004. La temperatura de los áridos rellenos en la depresión ubicada detrás del terraplén afuera del efecto del congelamiento artificial (B) indica un cambio insignificante del régimen térmico. La recuperación de la temperatura en la parte del permafrost determina la disminución de acuífero freático y cambio del curso de aguas superficiales. El descongelamiento estacional en este sector en último año de observación corresponde al valor de descongelamiento estacional normativo.

8. CONCLUSIONES.

Los métodos más prácticos y factibles en geotecnia en zonas de permafrost sensible son los que preservan las condiciones iniciales del permafrost y regulan los procesos criogénicos por medio de acciones técnicas específicas. El diseño y construcción del dique del lago

Boeckella constituyen la primera experiencia geotécnica de este tipo efectuada en la zona del permafrost de la Península Antártica. En la construcción del dique del lago Boeckella se implementó el sistema de termosifones líquidos para favorecer el congelamiento y la consolidación de los rellenos en el acuífero freático de ese sector. El diseño de la construcción está basado en las investigaciones específicas teniendo en cuenta las propiedades de los suelos utilizados, los parámetros criogénicos y desarrollo del talik cerrado en la base del acuífero freático en este sector. El funcionamiento del sistema de enfriamiento artificial durante dos años ha evolucionado conforme a los cálculos previstos que confirman las observaciones realizadas durante el periodo de 2002-2004 años. Se observa la recuperación de las condiciones geocriogénicas uniformes, formación del núcleo impermeable del dique bajo el efecto de la cementación del hielo de los áridos del terraplén.

La sencillez de instalación y la seguridad ejecutiva permiten recomendar el uso de este tipo de termosifones como un procedimiento efectivo para manejar al proceso de congelamiento artificial con distintas aplicaciones prácticas, en las zonas frías con permafrost como en la Península Antártica, Patagonia y regiones cordilleranas.

9. AGRADECIMIENTOS.

El autor desea expresar el agradecimiento al Mayor Fernando Isla y el Mayor Carlos Flesia, Jefes Base Esperanza de la dotación 2002 y 2003 y al Sub.

Principal Jorge Amat por las observaciones geotérmicas realizadas. Se agradece también al Doctor Adrián Silva Busso por la lectura crítica del presente trabajo.

10. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BALCH, J., 1965. Soil Refrigerating System. Pat. USA. N° 3, 220, 470, CL: 40-165.

BLINOV, G.F., 1975. Plotiny na vechnoy merzloty (Diques en la zona de permafrost). Energía, 183pp. Moscú. (En ruso).

BOGOSLOVSKY, P.A., STOZENKO, A.V., VESELOV, V.A., UKHOV, S.B. AND A.A. TSVID, 1963. Dams in permafrost territories. 1th International Permafrost Conference: 167- 179, Moscú.

BROWN, R.J., 1970. Permafrost in Canada, its influence in Northern development. The University of Toronto Press, 245 pp. Toronto.

CAMACHO, H. Y J. FABRE, 1957. Observaciones geológicas y petrográficas en Bahía Esperanza, Puerto Paraíso e islas Shetland del Sur y Melchior. Publicación del Instituto Antártico Argentino N° 4: 3-21, Buenos Aires.

CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PARA SUBRASANTES DEL HIGHWAY RESEARCH BOARD (H.R.B.) SU CORRELACIÓN CON EL VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA E INTERPRETACIÓN, 1958. Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Publicas, publicación N° 4, 28 pp. Buenos Aires.

ERMOLIN, E., Primera experiencia en diseño y construcción de un dique en permafrost antártico: lago Boeckella, Bahía Esperanza. Contribución del Instituto Antártico Argentino, N° 537, 41 pp. Buenos Aires.

GAPEEV, S.I., 1969. Ukreplenie merzluj osnovaniy ojlasjdeniem (La consolidación de los fondos al congelamiento). Stroyizdat, 104 pp. Leningrad. (En ruso).

GOSTROY. 1977. Stroitelniye normy i pravila, osnovaniy i fundamenty na vechnomerzlyl gruntaj (Normas y reglas para construcción en la zona del permafrost). CNYR, 11-19-76, Parte 11, Volumen 18, Stroyizdat, 45 pp. Moscú. (En ruso).

HENNION, F.B. Y E.F. LOBACZ, 1973. Corps of Engineers, technology related to design of pavements en areas of permafrost. 2nd International Permafrost Conference, Yakutsk. North American Contribution, National Academy of Sciences: 658-664, Washington.

LINELL, K.A. AND JONSTON, G.H., 1973. Engineering desing and construction in permafrost regions. 2nd International Permafrost Conference, Yakutsk. North American Contribution, National Academy of Sciences: 553-575, Washington.

MAKAROV, V.I., 1985. Termosifony v severnom stroitelstve. (Termosifones para construcción en la zona norte). Nauka, 169 pp. Novosibirsk. (En ruso).

KONOVALOV A.A. Y NAUMOVA L.A., 1979. Issledovanie rabotu sjdkostnuy ojlasjdauschij ustroystv (termosvay) (Investigación del trabajo de instalación de congelamiento líquida (termo pilas). Geocriología de geotecnia. Nauka: 58-62, Novosibirsk. (En ruso).

KRIVONOGOVA, N.F., ZISKOVICH, V.E Y A.L. KUZNEZOV, 1979. Rol merzloynuy usloviy v praktike proektirovaniy gidrotejnicheskij soorusheniy (La influencia de las condiciones del permafrost para diseño de construcción de diques y embalses). Geocriología de geotecnia., Nauka: 38-49, Novosibirsk. (En ruso).

KUDRIAVZEV, V.A. (ED.), 1974. Osnovu merzlotnogo prognoza, (Principios del pronóstico geocriológico). Universidad de Moscú, 398 pp. Moscú. (En ruso).

POSE, M. Y I. IZAGUIRRE, 1997. Sucesión estival de las poblaciones fitoplanctónicas en el lago Boeckella (Bahía Esperanza, Antártica). Contribución del Instituto Antártico Argentino, N° 449, 27 pp. Buenos Aires.

ROMANOV, A., 1956. Issledovanie teploobmena v glujom kanale v usloviij estestvennoy konvekcii (Investigación sobre el cambio de calor dentro el tubo serrado en las condiciones de la convección natural). Academia de Ciencias de la URSS, OTN, N° 6: 63-76. Moscú. (En ruso).

VARGAFTIK, N.B. 1972., Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov I jidkostey. (Guía de las propiedades termofísicas de los gases y líquidos), Ciencia, 720 pp. Moscú. (En ruso).

ZVID, A., 1957. K voprosu o sooruzenii zemlianuj plotin zamorajivaniem estestvennum jolodom (Construcción de los diques de tierra con congelamiento del frío natural). Noticias del Parte Este de Academia de Ciencias de la URSS, N° 3: 88-93. Novosibirsk. (En ruso).



NEOTECTÓNICA, DESVÍO DE GRANDES RÍOS Y CAMBIOS AMBIENTALES EN LA LLANURA CHACOPARANAENSE.

Ricardo Mon⁽¹⁾, Adolfo A. Gutiérrez⁽¹⁾, Antonio A. Roldán⁽²⁾

Resumen

La llanura Chacoparanaense, durante el Pleistoceno, fue afectada por significativos movimientos neotectónicos. Esta región forma parte de una franja de casi 1000 Km. de ancho del antepaís andino donde las deformaciones han alcanzado una notable extensión hacia el este. La consecuencia más visible de estos movimientos fue la formación del embalse natural de la laguna Mar Chiquita, situado en una amplia depresión tectónica entre las Sierras Pampeanas y el Alto de Ceres. Este último elevado por una falla ciega que se extiende a lo largo de centenares de kilómetros (Falla Tostado-Selva). El levantamiento de rasgos positivos del relieve y el basculamiento regional generalizado hacia el norte, además de generar el embalse de Mar Chiquita, produjo pronunciados desvíos en los ríos Dulce y Salado con el consecuente anegamiento de ciertas áreas y el desecamiento de otras, actualmente convertidas en salinas. Como es de suponer, estos cambios han tenido drásticas consecuencias geográficas y ambientales. Con obras de riego y de navegación adecuadamente planificadas podrían extraerse ciertas ventajas de estas nuevas condiciones del relieve.

Palabras clave: Laguna, tectónico, deformación, antepaís.

Abstract

During the Pleistocene, the Chacoparanaense plain was affected by significant neo-tectonic movements. This region belongs to the 1000 Km. wide Andean foreland, where the deformations extended extensively to the east. The most conspicuous consequence of these movements was the formation of the Mar Chiquita natural dam, located in a wide tectonic depression between the Sierras Pampeanas and the Ceres High. The Ceres High was elevated by a blind fault extending along hundreds of

kilometres (Tostado-Selva Fault). The uplifting of high parts of the relief and the generalized northward tilting, besides the generation of the Mar Chiquita dam, produced the inundation of some areas and the drying of other ones, which became dry salt lakes. The geographic and environmental consequences of these changes were obviously drastic. With properly designed drainage and navigation channels, it would be possible to take some advantages of these new geographic conditions.

Key words: Lake, tectonic, deformation, foreland

1. INTRODUCCION

Las Sierras Pampeanas, desarrolladas sobre un segmento de bajo ángulo de subducción de la placa de Nazca (Jordan y Allmendinger 1986), representan una evidencia notable del alcance de la deformación continental hacia el este de los Andes en este segmento. Además los

Entregado: 15 de Agosto de 2005 • Aceptado: 13 de Setiembre de 2005

⁽¹⁾Facultad de Ciencias Naturales e IML., Miguel Lillo 205, (4000) S. M. de Tucumán, República Argentina.

⁽²⁾Paraguay 3304, (4000) S. M. de Tucumán, República Argentina.

desplazamientos y obstrucciones de la red fluvial situada hacia el este de las Sierras Pampeanas indican que la deformación continental neógena se habría extendido aún más, incluso hacia la llanura situada hacia el este de las Sierras Pampeanas. El levantamiento vertical regional de las Sierras Pampeanas y los movimientos de ascenso diferencial de ciertos elementos del relieve dentro de la llanura aledaña introdujeron pronunciados cambios en la configuración de la red fluvial produciéndose cierres y desvíos de ríos, de manera que la red actual es el resultado de movimientos recientes, probablemente aún activos. La llanura carece de afloramientos del sustrato rocoso precuaternario, de manera que los indicadores sobre su evolución tectónica son exclusivamente geomorfológicos. El marco geológico y estratigráfico de la laguna fue descrito por Kröling y Iriondo (1999), sus aspectos sedimentológicos, geoquímicos y ambientales fueron estudiados por Piovano et al. (2002, 2004a, 2004b).

2. EL EMBALSE NATURAL DE MAR CHIQUITA

La laguna Mar Chiquita es un lago salado de unos 6.000 Km² de extensión ubicado en una depresión cerrada de origen tectónico, alimentada por el río Dulce. Éste recoge el agua de una cuenca de 74.000 Km² que se extiende hacia el norte y el noroeste (Fig. 1). La depresión que contiene al lago es asimétrica, su flanco occidental está marcado por las estribaciones más bajas de las Sierras Pampeanas que alcanzan una altitud próxima a los 500 msnm, hacia el este se encuentra un alto topográfico de 150 m de altitud, sin afloramientos rocosos. Éste, dadas sus características topográficas, está bordeado hacia el oeste por una falla cuya naturaleza no está determinada, "Falla Tostado - Selva" (Kröling e Iriondo 1999). El flujo del río Dulce hacia el sur fue impedido por un gran cono aluvial que cerró su cauce generando el embalse de Mar Chiquita (Rossello et al. 2005). Al mismo tiempo se desviaron hacia el norte los ríos Primero y Segundo, que actualmente fluyen hacia la laguna. El arroyo de la Cañada de San Antonio que es un cauce menor, está ubicado en el valle desactivado del río Dulce, situado aguas abajo del embalse. La continuación de este valle es el río Carcarañá. Antes de su embalse natural el río Dulce descargaba directamente en el Paraná siguiendo este curso (Fig. 1). El valle desactivado es aún claramente visible en las imágenes satelitales lo que indica la extrema juventud del cierre del cauce.

El subsuelo del valle del río Dulce y de la laguna Mar Chiquita está formado, en sus secciones más superficiales, por capas horizontales de limos cuaternarios correspondientes en su mayor parte a depósitos del río Dulce, intervienen también depósitos eólicos y fluviales de los ríos Primero y Segundo en el borde sur de la laguna (Kröling e Iriondo 1999). El sustrato rocoso aflora solamente en el alto topográfico situado al oeste del área.

La laguna Mar Chiquita ocupa un área restringida dentro de una gran depresión topográfica de relieve plano situada entre dos dorsales elevadas de magnitud regional

(Fig. 1). Los afloramientos rocosos más importantes dentro de esta área son las sierras de Ambargasta y Sumampa. Las rocas que lo componen son esquistos y granitos que pertenecen al basamento cristalino Precámbrico-Paleozoico inferior. El flanco este de esta dorsal descende muy suavemente hacia la depresión Río Dulce – Mar Chiquita. Al oeste de esta dorsal se encuentra la depresión endorreica de las Salinas de Ambargasta (Fig. 1). La dorsal topográfica que forma el límite oriental de la depresión Río Dulce – Mar Chiquita, que designamos como "Alto de Ceres" (cotas mayores de 75 msnm), se trata de una zona totalmente cultivada sobre elevada con respecto a los terrenos circundantes. Su flanco occidental (80 msnm), que descende pronunciadamente hacia la laguna Mar Chiquita (62 msnm), es el más elevado, incluso tiene una topografía marcada por los llamados Altos de Mar Chiquita. Estos representan un cordón de suaves lomas. Hacia el este, esta dorsal tiene una leve pendiente por la que corren arroyos temporarios con cauces rectilíneos (Fig. 1). Hacia el sur de la laguna Mar Chiquita el terreno experimenta un quiebre e inversión de pendiente. El escurrimiento superficial, que regionalmente es de norte a sur, empieza a producirse de sur a norte. Los ríos Primero y Segundo corren en dirección nor-noreste y asimismo lo hacen otros arroyos tales como el Garabato. Este quiebre de pendiente está relacionado al gran abanico aluvial que impidió el flujo normal del río Dulce, cerrando su curso hacia el sur y generando el embalse natural de Mar Chiquita. Fuera de este episodio natural relevante que significó el cierre y embalse natural del río Dulce se registran en la región otros cambios en la trayectoria de los cauces mayores, como el que se verifica en el río Saladillo. Este cauce, que coincide con un brazo del mismo río Dulce, corría hacia el sur y desembocaba en la cuenca endorreica de las Salinas de Ambargasta (101 msnm) (Fig. 2), hasta que le surgió un obstáculo topográfico que le impidió seguir su curso hacia el sur y provocó su desvío hacia el sudeste obligándolo a unirse nuevamente al cauce principal del río Dulce (Fig. 1). El sitio donde se produce el desvío permanece como un punto potencialmente inestable, donde ante crecientes extraordinarias, el río desborda y vuelve a fluir hacia las salinas de Ambargasta tal como ocurrió durante episodios registrados históricamente.

Hacia el sur de los 28° LS aproximadamente, los ríos Dulce y Salado corren por la misma planicie de inundación a lo largo de unos 200 Km. Dada la baja pendiente y la topografía casi plana han sido frecuentes los intercambios y trasvases de un río a otro a lo largo del tiempo. Estos han ocurrido en la planicie que compone el interfluvio entre ambos cauces denominada "Mesopotamia del Dulce y el Salado" (Bucher y Chani 1998). En las cartas topográficas e imágenes satelitales hay numerosas evidencias de estos fenómenos. La separación nítida de ambos ríos se produce recién al este del alto de Ceres, se verifica en las imágenes satelitales y mapas que la elevación de esta dorsal (75 msnm) produjo el desvío del Salado hacia el norte provocando un marcado arco en su curso (Fig. 1).

FIGURA 1. ESQUEMA GEOMORFOLÓGICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RELIEVE Y DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DEL DRENAJE.

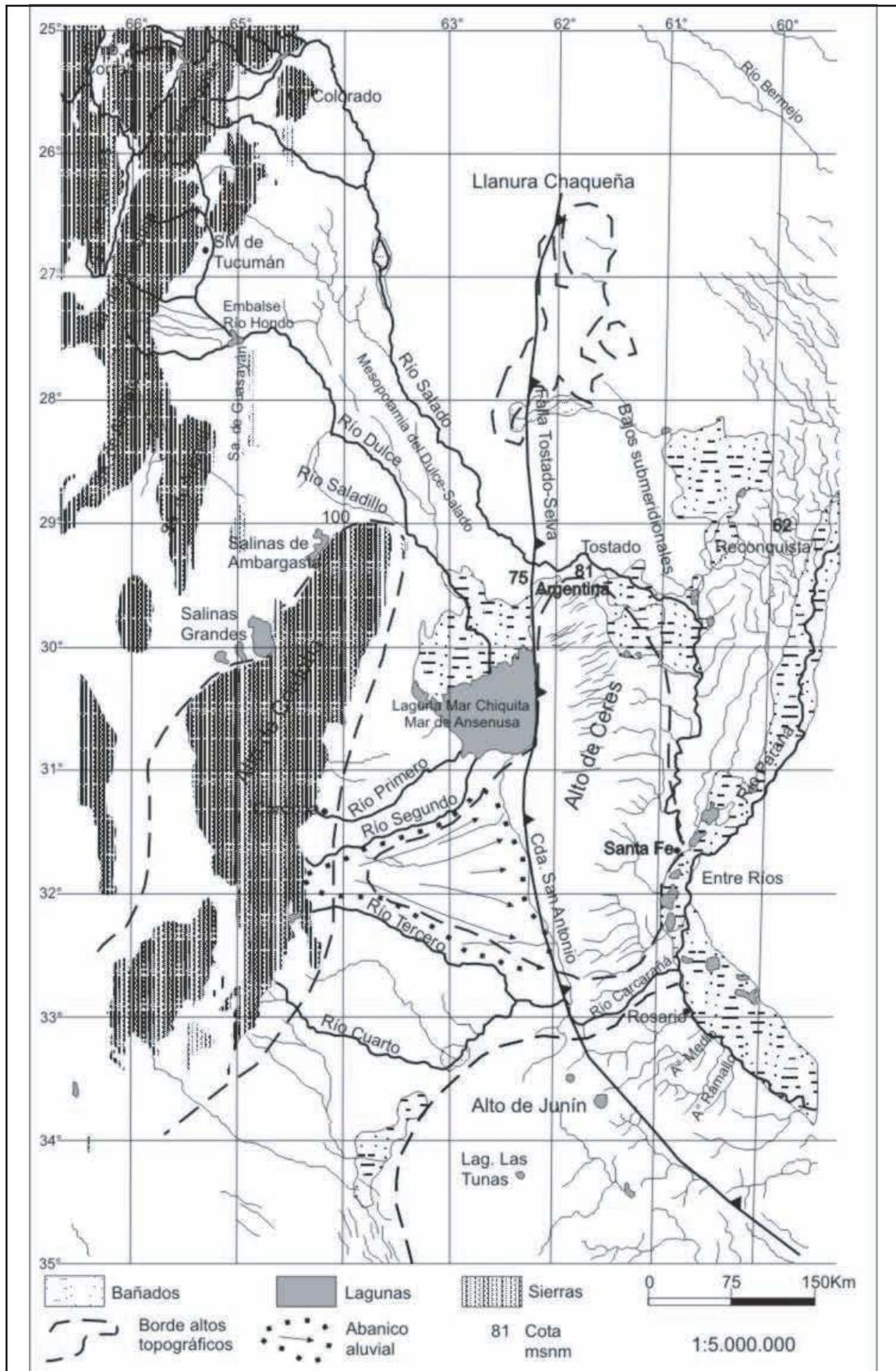
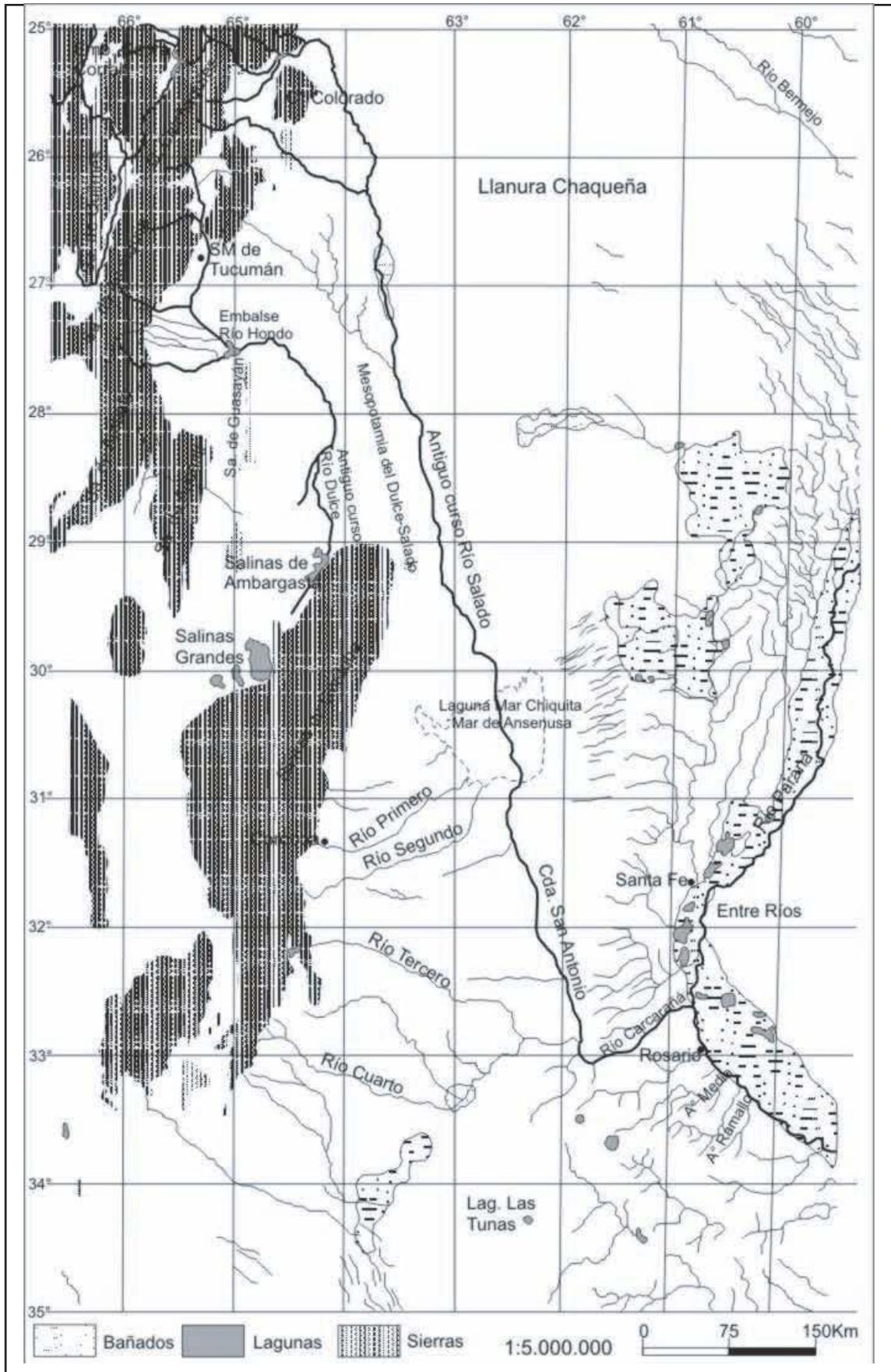


FIGURA 2. INTERPRETACION DE LA SITUACION PREVIA AL DESVIO DE LOS RIOS Y EMBALSE DE MAR CHIQUITA POR ELEVACION DEL ALTO DE CERES Y EL ALTO DE CORDOBA.



3. RÍO SALADO

Constituye uno de los colectores principales de la región, recoge las aguas de una dilatada extensión que va desde el borde de la Puna hasta el antepaís atravesando todo el sistema andino (Fig. 1). Sus aguas se conectaron frecuentemente con las del río Dulce, incluso llegó a fluir parcialmente hacia la Laguna Mar Chiquita, hecho sobre el cual existen testimonios históricos. También hay trasvases menores del río Dulce hacia el Salado. En una parte considerable de sus recorridos estos ríos tienen cauces paralelos y próximos entre sí, el interfluvio que los separa tiene muy bajo relieve, de manera que se explican sus trasvases mutuos. La existencia de intercambios de caudales entre los ríos Dulce y Salado es un hecho bien conocido desde hace mucho tiempo. Un episodio registrado en el año 1770 da cuenta de que en ese momento el Salado fluía directamente hacia la laguna Mar Chiquita, posteriormente en una época no determinada recuperó su cauce normal (Bucher y Chani 1998). Además hay mapas preparados por los Jesuitas en el Siglo XVII (Enrique Bucher comunicación verbal) que ya muestran al río Salado fluyendo parcialmente hacia la laguna Mar Chiquita. Por otra parte los trabajos científicos de, por ejemplo, Kanter (1935), explican detalladamente estos fenómenos, aportando datos de gran precisión obtenidos mediante observación directa en el terreno, en el momento de producirse los fenómenos.

4. COMPORTAMIENTO DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

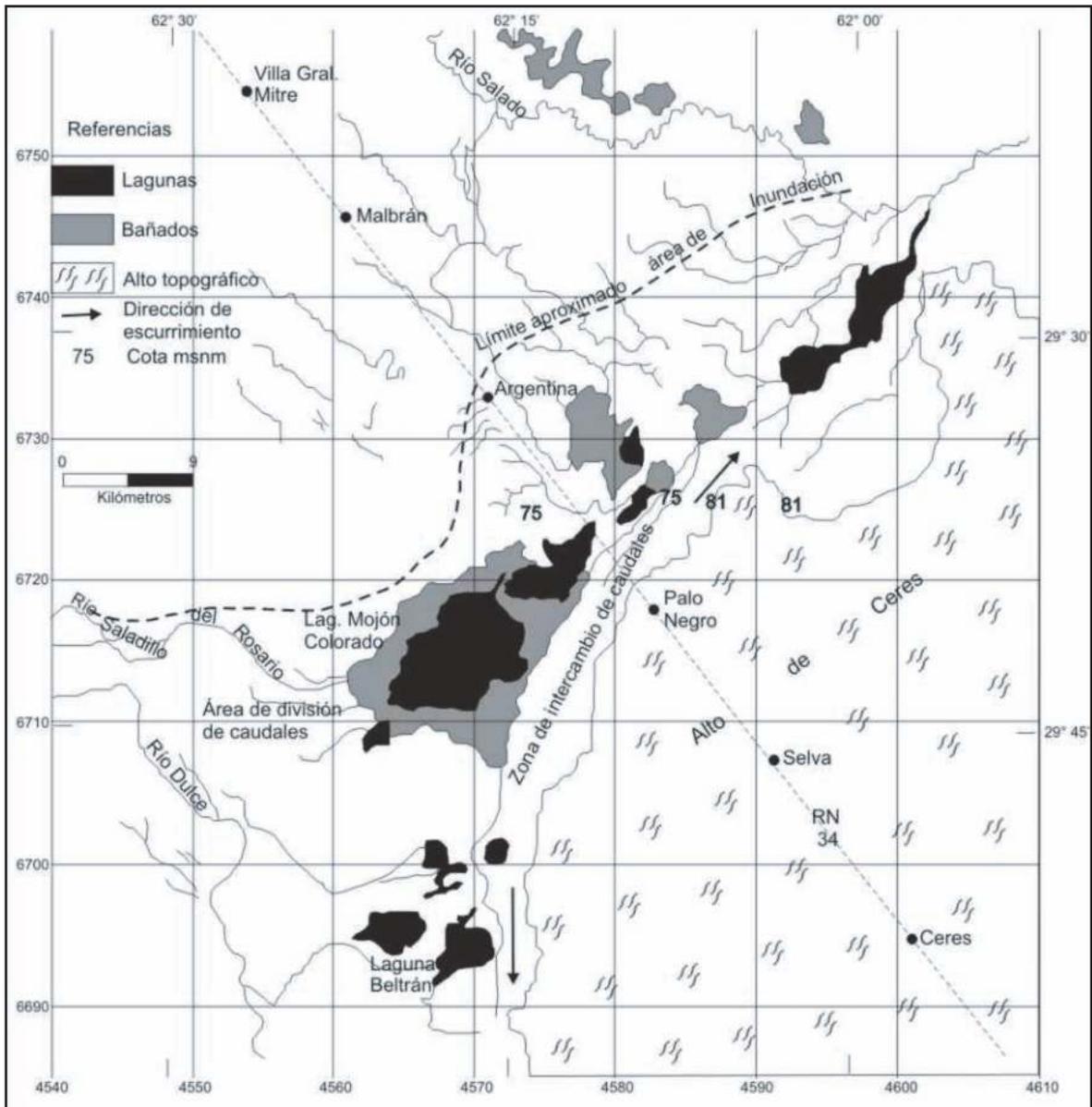
Tanto el río Dulce como el Salado se caracterizan por la alta inestabilidad de sus cauces en el pasado geológico reciente y en la actualidad. El río Dulce corría hacia las salinas de Ambargasta y el Salado hacia la depresión de Mar Chiquita (Fig. 2), hasta que movimientos de elevación tectónica recientes los desviaron hacia sus cauces actuales. Sin embargo, dado el poco tiempo transcurrido, frecuentemente estos cursos vuelven a sus lechos primitivos. En el año 1850 el río Dulce se desvió nuevamente hacia su cauce anterior, el actual río Saladillo, y fluyó hacia las salinas Ambargasta recogiendo una gran cantidad de sales que posteriormente volcó en la cuenca de Mar Chiquita produciendo una pronunciada salinización en ella. Posteriormente recuperó su cauce actual. Una situación similar se da con el Salado, cuando se producen crecidas importantes trasvasa parte de su caudal al Dulce. La zona de trasvase se encuentra contra el borde oeste del llamado Alto de Ceres (81 msnm) que representa un obstáculo natural para el escurrimiento superficial (Fig. 3). Los grandes caudales que trae uno de los brazos del Dulce durante sus crecientes de verano, el río Saladillo del Rosario, que corre directamente hacia el este, son frenados y retenidos contra este obstáculo donde se ha formado un enjambre de lagunas. Actualmente el río Saladillo del Rosario capturó totalmente al río Dulce, alejándolo de la localidad de Salavinas y engrosando los caudales del río Utis que alimenta la depresión de Mar Chiquita. Entre las lagunas que se mencionan más arriba

se destacan la del Mojón Colorado y la de Beltrán (Fig. 3) pero en realidad se trata de centenares de lagunas y bañados. Durante las crecientes de verano estas retienen grandes caudales y forman un solo gran cuerpo de agua que invade incluso la zona de la localidad La Argentina. Este fenómeno fue presenciado por Kanter (1935). Desde este embalse natural, de acuerdo al nivel que alcance, el agua puede correr tanto hacia Mar Chiquita como hacia la cuenca del Salado. Ocurre algo similar con los desbordes del Salado, estos también pueden alimentar este embalse natural y desbordar hacia la cuenca del Dulce tal como ha ocurrido repetidamente. Por otra parte este embalse retiene las crecientes y las amortigua haciendo que algunas de ellas lleguen a la laguna Mar Chiquita hasta un mes después. La zona de trasvase es una divisoria de agua muy llana (75 msnm) con un relieve casi inexistente. El cauce natural por donde corre el agua en ambos sentidos es un amplio canal que intersecta las vías del Ferrocarril y a la ruta 34 entre las estaciones La Argentina y Palo Negro (Fig. 3). Es probable que los terraplenes de estas obras actúen en parte como una presa interfiriendo en el flujo natural del agua obligándola a concentrarse en los puentes. Es necesario destacar que estos fenómenos pueden ser estudiados solo en las épocas en las que se producen dado que tienen una pobre representación en la documentación cartográfica. En la Hoja Ceres a escala 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar el río Saladillo del Rosario, que conduce gran parte del agua hacia las lagunas, no está representado. Por otra parte las fotografías aéreas y las imágenes satelitales disponibles son tomadas en las épocas sin cobertura de nubes, que no coincide con la estación de lluvias del verano, cuando se producen las crecidas. De manera que están representados los rasgos hídricos cuando se encuentran en su expresión más baja.

5. PLANTEOS PRELIMINARES SOBRE EVENTUALES OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

Hacia el este y tomando como referencia la localidad de Tostado se extiende una llanura hasta el río Paraná. La zona reconocida como los Bajos Submeridionales coincide con la superficie de drenaje del sur de la provincia del Chaco y norte de la provincia de Santa Fe (Fig. 1). Las depresiones de este terreno, siempre saturado, constituyen humedales permanentes. Actualmente se está construyendo una red de drenaje para sanear el sitio y descargar los excedentes hacia el río Paraná. Tomando como referencias las localidades de La Argentina (Santiago del Estero) y Reconquista (Santa Fe), sobre las márgenes de las depresiones del río Dulce y del río Paraná respectivamente se establece que la diferencia de cotas es del orden de los 35 msnm, en una línea de pendiente prácticamente uniforme hacia el este. Esta singularidad del relieve permitiría desarrollar un proyecto de drenaje asociado a la canalización para uso de la navegación interior por barcas entre el río Paraná y el río Dulce inferior. Con ello se reducirían sustancialmente los costos del transporte continental en un tramo no menor de 300 Km.

FIGURA 3. ESQUEMA DE LA ZONA DE TRASVASE ENTRE LOS RÍOS DULCE Y SALADO AL NORESTE DEL ALTO DE CERES



6. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Los dos colectores principales de la región, tanto el Dulce como el Salado, experimentaron pronunciados cambios en su recorrido durante el Holoceno o el Pleistoceno más alto, aunque aún no existen dataciones precisas de estos fenómenos. El río Dulce seguía el cauce actual del Saladillo y desembocaba en las Salinas de Amabargasta. El levantamiento y basculamiento hacia el noreste de las Sierras Pampeanas y la región aledaña que conforman el llamado “Alto de Córdoba” (Fig. 1) provocaron un pronunciado desplazamiento de su cauce hacia el noreste derivándolo hacia la Laguna de Mar Chiquita (Fig. 1), dejando a las Salinas de Amabargasta como un lago seco. Hasta el momento de producirse el cierre de la laguna por el levantamiento del “Alto de Ceres” y los fenómenos conexos, es probable que el

Dulce y el Salado hayan corrido muy próximos constituyendo prácticamente un único río que fluía hacia el Paraná a través del Carcarañá. El levantamiento del alto de Ceres (Fig. 1) aparte de contribuir al cierre del embalse de Mar Chiquita, produjo también la separación definitiva de los cauces bajos del Dulce y del Salado y, el desvío de este último hacia su actual desembocadura en el Paraná, situada mucho más al norte que la anterior.(Fig. 1). El levantamiento del Alto de Ceres combinado con el desarrollo de un gran abanico aluvial (Rossello et al. 2005), construido por los ríos Primero, Segundo y Tercero, produjo el cierre del valle del río Dulce y su embalse natural, dando lugar a la formación de la laguna Mar Chiquita. El umbral topográfico del Alto de Ceres (alturas superiores a 80 msnm) impidió la expansión de este abanico hacia el este que creció en altura generando una presa natural sobre el río Dulce. Por otra parte surgió una divisoria de aguas, haciendo

que los ríos Primero y Segundo que descienden hacia el este de las Sierras de Córdoba se desvían hacia el noreste para desembocar en la laguna Mar Chiquita. El cauce inferior del río Dulce desactivado, luego de producido el embalse, fue ocupado por otros ríos menores. Además, el ascenso del nivel de base de los ríos Dulce y del Salado les fueron quitando pendiente convirtiéndolos en ríos divagantes con múltiples cauces y bañados, ensanchando notablemente su llanura de inundación. Hacia el sur, todo el sistema fluvial sufre un pronunciado desvío hacia el este - noreste por la presencia de un alto del relieve que hemos denominado "Alto de Junín". La elevación de este elemento reorientó al río Carcarañá hacia el noreste, desviando su curso primitivo que era hacia el sur. Asimismo los ríos Cuarto y otros cauces han adaptado sus cursos a esta elevación rodeándola perimetralmente (Fig. 2).

7. CONCLUSIONES

Las Sierras Pampeanas situadas sobre el borde oeste de la depresión de Mar Chiquita fueron mencionadas como un ejemplo de una ancha franja de deformación del antepaís (Jordan y Allmendinger 1986), relacionadas a una zona de subducción prácticamente horizontal. Sin embargo se desconoce si esta deformación pudo extenderse más al este para generar los rasgos

estructurales expresados en el relieve de la llanura aledaña. Aunque no se conocen con precisión las condiciones geodinámicas bajo las cuales se produjeron estos movimientos es evidente que el continente experimentó deformaciones que se ponen en evidencia por los cambios que producen en las formas del terreno y en el escurrimiento superficial. Puede especularse que estos arqueamientos corticales se deben a movimientos de compensación isostática en la interfase litósfera - astenósfera. Es evidente que ocurre un frecuente intercambio de caudales entre los ríos Dulce y Salado durante las grandes crecientes estivales. El intercambio es mutuo, ocurre en ambos sentidos en una amplia zona de muy baja pendiente que permanece parcialmente inundada en las épocas de estiaje y que se inunda totalmente durante las crecientes. El nivel que alcanza este embalse natural regula la magnitud y la dirección del flujo. Actualmente se tiene sólo una visión cualitativa del fenómeno, si se quiere avanzar en su estudio será necesario un monitoreo durante las épocas de altos caudales y la implementación de una metodología de medición. Otro hecho que debe ser evaluado desde el punto de vista de la evolución geomorfológica es el impacto del embalse de Río Hondo (provincia de Santiago del Estero) sobre la red fluvial situada aguas abajo. Es probable que parte de los cambios registrados en ella puedan ser efectos de este embalse.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BUCHER, E. H. y CHANI, J. M., 1998. Chaco. En: Canevari, P., Blanco, D. E., Bucher, E. H., Castro, G. y Davidson, I. (Eds): Los humedales de Argentina. Wetlands International, 46. Buenos Aires.
- JORDAN, T. E. y ALLMENDINGER, R. W., 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina a modern Analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science*, 286: 737-764.
- KANER, H., 1935. La cuenca cerrada de Mar Chiquita en el norte de la Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, Córdoba*, 32: 285-322.
- KRÖHLING, M. D. and IRIONDO, M., 1999. Upper Quaternary paleoclimates of the Mar Chiquita area, North Pampa, Argentina. *Quaternary International* 57/58:140-163.
- PIOVANO, E. L., ARIZTEGUI, D. y DAMATTO MOREIRAS, D., 2002. Recent environmental changes in Laguna Mar Chiquita (central Argentina): a sedimentary model for a highly variable saline lake. *Sedimentology*, 49: 1371-1384.
- PIOVANO, E. L., LARIZZATTI, F. E., FÁVARO, I. T., OLIVEIRA, S. M. B., DAMATTO, S. R., MAZZILLI, B. P. and ARIZTEGUI, D., 2004. Geochemical response of a closed-lake basin to 20th century recurring droughts/wet intervals in the subtropical Pampeana Plains of South America. *Journal of Limnology*, 63 (1): 21-32.
- PIOVANO, E. L., ARIZTEGUI, D., BERNASCONI, S. M. and Mc KENZIE, J. A., 2004. Stable isotopic record of hydrological changes in subtropical Laguna Mar Chiquita (Argentina) over the last 230 years. *The Holocene* 14 (4): 525-535.
- ROSSELLO, E. A., MON, R., BORDARAMPÉ, C. y GUTIÉRREZ, A. A., 2005. Evidencias topográficas de actividad neotectónica en la llanura chacoparanaense: consecuencias en la organización del drenaje de Mar Chiquita (Córdoba, Argentina). X Simposio Nacional de Estudios Tectónicos – IV International Symposium of Tectonics (Curitiba, Brasil). *Boletim de Resumos Expandidos*, 205-208.



VULNERABILIDAD AL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR Y CAMBIO CLIMATICO EN LA COSTA ARGENTINA

Jorge Osvaldo Codignotto^(1,2,3)

Resumen

En este trabajo se adiciona a la fórmula del Índice de Vulnerabilidad Costera el factor "acción antrópica". Este índice así logrado permite trabajar en toda la costa argentina, incluyendo aquellas zonas de alta densidad demográfica que consecuentemente poseen obras de protección costera, como obras portuarias y otras. El mismo también permite valorar aquellos sectores de costa que por acción antrópica han generado una disminución de la resistencia a la erosión e inundación costera, como por ejemplo: extracción de arena de la playa, descarga de pluviales en la playa y destrucción de dunas, entre otros. Finalmente la obtención del Índice de Vulnerabilidad Costera es de importancia creciente dada la tasa de ascenso del nivel del mar como consecuencia del Cambio Climático.

Abstract

In this study the "anthropic action" factor is added to the Index of Coastal Vulnerability formula. This improved index is useful to work along the whole Argentine coast, including those high-demographic density sites which consequently possess artificial coastal protection, like ports and others. It also allows to value those coastal sectors where it have been generated a decrease in resistance to erosion, and to coastal flood by anthropic action, for example: beach sand extraction, discharges of pluvial in the beach and dunes destruction, among others. Finally, obtaining the Index of Coastal Vulnerability holds growing importance given the sea level rise rate by means of Climate Change.

1. INTRODUCCION

El ascenso del nivel del mar conlleva varios efectos geomorfológicos, ecológicos y socioeconómicos. Los

El ascenso del nivel del mar conlleva varios efectos geomorfológicos, ecológicos y socioeconómicos. Los más significativos son la modificación y/o desaparición de humedales, destrucción de viviendas y de obras costeras, como asimismo la afectación del turismo, el cual puede desaparecer.

Estos procesos destructivos están especialmente referidos a costas bajas y costas de microacantilados constituidos por rocas blandas. El ascenso del nivel del mar tiene un rango de afectación socio económico muy importante. Los impactos que se pueden señalar son:

- incremento en las pérdidas de propiedades y de los hábitat costeros.
- incremento de inundaciones costeras con riesgos de pérdidas de vidas.
- incremento de daños a los trabajos de protecciones costeras y a la infraestructura.
- pérdida de recursos de subsistencia renovables.
- pérdida de turismo, recreación, y del transporte.
- pérdida de recursos culturales no monetarios.

Hace unos 19.000 a 20.000 años la magnitud de la glaciación significó un nivel más bajo que el actual del orden de 120m. En la actualidad las áreas costeras se encuentran bajo la presión del ascenso acelerado del nivel del mar.

En este orden el delta del río Paraná es área que presenta el mayor grado de vulnerabilidad.

Entregado: 18 de Agosto de 2005 • Aceptado: 26 de Agosto de 2005

⁽¹⁾Departamento de Ciencias Geológicas, Pabellón 2, FCE y N, UBA, barnes@gl.fcen.uba.ar.

⁽²⁾CONICET.

⁽³⁾Departamento de Geografía, F F y L, UBA.

El Cambio Climático hace que los escenarios de ascenso del nivel del mar comprendidos entre los años 2000 y 2100 (IPCC 2001), sean del orden de los 0,90m; y de 0,50m hacia el año 2050. También debe tenerse en cuenta el incremento de la tasa de ocupación de las áreas costeras, fenómeno mundial al que no escapa Argentina. Finalmente el manejo inadecuado del área costera del litoral argentino que fue considerado por (Codignotto 2004), es un factor muy importante en el incremento de la Vulnerabilidad de las áreas costeras.

Esta trilogía, hace necesario un inventario de la vulnerabilidad y riesgo en nuestras áreas costeras. Para ello es necesario aplicar una metodología que tipifique los factores conducentes al concepto de vulnerabilidad.

2. METODOLOGÍA

Las cuestiones derivadas de la vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar fueron extensamente tratadas por (Gornitz 1990), (Gornitz et al 1994) y Gornitz et al 1997). En estos trabajos se vinculan diversos factores por medio de un algoritmo que calcula los índices de vulnerabilidad costera. Estos conceptos fueron tomados por (Saw et al 1998), denominándolos índices de susceptibilidad.

Para establecer estos índices (Gornitz et al 1997), proponen las variables como inundaciones que pueden vincularse a topografía y/o subsidencia. La erosión, la geología, geoformas, costa erosiva y altura de ola. Finalmente los fenómenos episódicos como tormentas tropicales, huracanes, rango de mareas etc. Esta metodología es especialmente apta para la costa baja del sudeste de Estados Unidos sometida en ocasiones a fuertes tormentas tropicales.

En nuestro territorio, (Codignotto y Herrera 2000), plantean indicios de vulnerabilidad costera en el norte de la provincia de Santa Cruz. Asimismo (Herrera y Codignotto, 2000), señalan la necesidad de adecuar un método para ser utilizado en nuestra región.

Finalmente (Kokot et al 2004), desarrollan una metodología considerada apta para ser utilizada en nuestra región y la aplican con éxito en la costa de la provincia de Río Negro. Esto se realizó sin considerar la acción antrópica en la costa de la provincia de Río Negro. Sin embargo, la acción antrópica en áreas densamente pobladas, en especial la referida a las obras destinadas a la protección, como así también las que inducen a la erosión, obligan a considerar este factor como integrante obligado de la fórmula que calcula la Vulnerabilidad.

La acción antrópica se manifiesta en la costa con claridad como se observa en la (figura 1).

FIGURA 1. Se observa que en el sector de costa (A), menos protegido o sin proteger la costa está en erosión; en tanto que, en los sectores (B), las obras de protección han posibilitado una pequeña progradación. Fotografía del SHN, entre Mar del Plata y Mar Chiquita.



Lo que aquí se agrega, al índice de Vulnerabilidad, es la variable correspondiente a la acción antrópica.

A continuación se desarrolla el Índice de Vulnerabilidad costera desarrollado por (Kokot et al 2004) con el agregado del factor antrópico.

3. FACTORES A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACION DE LA BASE DE DATOS

1. Elevación media del territorio, representada por valores de altitud e indicadora de riesgo de inundación.

2. Subsidencia local, que muestra las variaciones relativas del nivel del mar en el área de estudio. También indica riesgo de inundación.

3. Geología, representa la resistencia a la erosión de los afloramientos del área costera.

4. Geomorfología. Permite prever la evolución del paisaje, y posible degradación a partir de inundación y erosión.

5. Desplazamiento de la línea de costa: Dato que representa el comportamiento histórico de la línea de costa y su tendencia evolutiva respecto a la componente horizontal.

FIGURA 2. RANGO DE LOS COMPONENTES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA, MODIFICADO DE (Kokot et al 2004).

VARIABLES	RANGOS DE LAS VARIABLES DE VULNERABILIDAD COSTERA				
	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
	1	2	3	4	5
1. Altitud (m)	>30	21-30	11-20	6 - 10	0 - 5
2. Cambio del nivel del mar (mm/año)	< -1,0	-1,0 a 0	0,1 a +2,0	2,1 a 40	>4,0
3. Tipo de roca (geología)	Rocas plutónicas, volcánicas y metamórficas de alto grado	Rocas Metamórficas de bajo grado	Mayoría de las rocas sedimentarias	Rocas sedimentarias poco consolidadas.	Sedimentos inconsolidados
4. Geoforma (Geomorfología)	Fiordos, acantilados altos	Acantilados intermedios y bajos	Barreras, deltas, espigas tómbolos	Playa, y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea, marismas.
5. Desplazamiento de la línea de costa (m/a)	>+0,1 acreción	0 estable	-0,1 a -0,5 erosión	-0,6 a -1,0 erosión	< -1,0 erosión
6. Máxima altura de ola en un año (m)	0 - 2,9	3,0 - 4,9	5,0 - 5,9	6,0 - 6,9	>6,9
7. Rango de marea (m)	<0,50	0,5 - 1,9	2,0 - 4,0	4,1 - 6,0	>6,0
8. Valor antrópico (adimensional)	murallones, puertos, rompeolas, espigones, rellenos duros	rellenos blandos, forestación de dunas	costa natural, muelles sobre pilotes	deforestación extracción de áridos, Edificios de altura. Rampas de acceso en costas acantiladas	destrucción y deforestación de dunas, ocupación de playa, drenaje urbano en superficie de playa.

6. Altura máxima de ola: representa la energía del medio marino y su capacidad erosiva.
7. Rango de mareas, que junto con los episodios de tormenta permite identificar las variaciones episódicas del nivel del mar. Se relaciona tanto a inundación como al riesgo de erosión.
8. Antropismo, valor que representa el grado de la intervención humana, en el aumento o disminución de la resistencia a la erosión de la zona de interfase.

4. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA

Este índice identifica áreas críticas tanto por riesgo de erosión como inundación, sea permanente o temporaria, que corresponden a áreas de relieve bajo, afloramientos erosionables, zonas con historia de subsidencia y retroceso costero, o con presencia de grandes olas y alta energía de marea, teniendo en cuenta las mareas meteorológicas como asimismo la actividad humana como obras de urbanización protección, o debilitamiento por extracción de áridos, etc.

El objetivo es la obtención de un índice que represente la vulnerabilidad con valores aceptables y sencillos de tipificar.

Es muy claro el concepto de Vulnerabilidad en el área costera si tenemos en cuenta sectores como el Río de La Plata (Codignotto y Kokot 2005), donde el sector comprendido entre la localidad de Tigre hasta Punta Rasa, presenta claros indicios de Vulnerabilidad, incluyendo el área de la bahía de Samborombón. En la bahía de Samborombón la erosión fue de aproximadamente 70 metros en los últimos 40 años; es decir, a razón de 0,65 metros por año.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Codignotto J. O. 2004. Capítulo 2.1 Erosión Costera, 90-111; del libro Peligrosidad Geológica en Argentina Editores Gonzalez M. A. y Bejerman N.J.

Codignotto J. O. y R. R. Kokot 2005. Capítulo 8 85-105; del libro., El Cambio Climático en el Río de la Plata. Editores Barros V, A. Menéndez y G. Nagy. 200p CIMA-CONICET

Codignotto J. O. y C. L. Herrera 2000. Indicios de Vulnerabilidad en Ensenada Ferrer. Santa Cruz. IV Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar. Res. p. 52. Puerto Madryn.

Gornitz, V.M.,1990. Vulnerability of the East Coast. U.S.A. to future sea level rise, Journal of Coastal Research, Special Issue 9: 201-237.

Gornitz, V.M., Beaty Y.W. y Daniels R.C. 1997. A Coastal Hazards Data Base for the U.S. West Coast. Oaks Ridge National Laboratory. Environmental Sciences Division Publication 4590. 78p.

Gornitz, V.M., Daniels, R:C., White, T:W. Y Birdwell, K.R. 1994. The Development of a coastal Risk Assesment Database: Vulnerability to Sea level Rise in the U.S. Southeast. Journal of Coastal Research Special Issue, 12: 327-338.

Herrera C. L. y J. O. Codignotto. 2000. Vulnerabilidad Costera: Búsqueda de un Método para su Determinación. II Taller sobre Sedimentología y Medio ambiente. 23-24. Buenos Aires.

IPCC 2001. Climate Change.Impacts,Adaptation and Vulnerability, 980p. Canbridge University Press.

Kokot R. R., J. O. Codignotto y M. Elisondo 2004. Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 59 (3): 477-487.

También tenemos como ejemplo el sector de Punta Indio, cuya costa presenta un retroceso de aproximadamente 30 metros en los últimos 40 años; es decir, a razón de un promedio de 0,75 metros por año.

En la (figura 2) puede observarse el cuadro de las variables a tener en cuenta para obtener el índice de vulnerabilidad.

En función de los datos a utilizar se define

$$V = \sqrt{\frac{(a_1.a_2.a_3.a_4.a_5.a_6.a_7.a_8)}{8}}$$

; de acuerdo con la fórmula modificada de (Kokot et al 2004), donde:

a₁= elevación media

a₂= tendencia en la subsidencia local

a₃= geología

a₄= geomorfología

a₅= desplazamiento medio de la línea de costa

a₆= altura máxima de ola

a₇= media del rango de mareas

a₈= grado de antropismo

5. CONCLUSIONES

Se concluye que el índice de vulnerabilidad costera precedentemente considerado permite trabajar en toda la costa de nuestro país incluyendo aquellas de alta densidad demográfica que consecuentemente poseen obras de protección costera, obras portuarias, etc., como aquellas en que su resistencia a la erosión ha sido disminuida por extracción de arena, destrucción de dunas costeras, etc.



ESTIMACIÓN DE ESCURRIMIENTOS EN CUENCAS PEQUEÑAS. CUENCA INFERIOR DEL RIO CARCARAÑA, Pcia DE SANTA FE.

M. E., Fresina⁽¹⁾

Resumen

Se estimó el escurrimiento medio y máximo de la cuenca inferior del río Carcarañá Pcia de Santa Fe, mediante un método indirecto, a partir de datos de precipitación y características de los suelos.

Considerando que la mayor parte de la información colectada en el país sobre precipitación, es la cantidad precipitada en milímetros en un día y no existe suficiente información sobre intensidad-duración de la misma, este método adaptado del Servicio de Conservación del Suelo(S.C.S.), permite a partir de la precipitación, estimar los escurrimientos. La información utilizada, es precipitación por evento (minutos, horas o días) y no se considera la distribución en el tiempo (intensidad de la lluvia).

Para tal fin se analizaron y establecieron los parámetros, que permitieron subdividir la Cuenca inferior en cuatro Sub-cuencas en base a las características morfométricas, hidrológicas e hidrogeológicas.

Para la realización del trabajo se partió de la interpretación cartográfica que permitió complementar la información geomorfológica existente, además de establecer el diseño de la red hidrográfica y poder definir la división del área considerada en Sub-cuencas.

Se identificaron los suelos presentes en la región y sus usos tanto actuales como potenciales, se los clasificó según su permeabilidad. En base a este parámetro y a la Condiciones Hidrológica del Area de Drenaje, se estimó el Caudal Escurrido en la Cuenca mencionada.

Palabras claves: Permeabilidad de los suelos, Usos del suelo, Escurrimiento, Cuencas pequeñas

Abstract

The average and maximum draining of the lower Carcarañá basin (Santa Fe province) was considered by an indirect method, from data of precipitation and characteristics of grounds.

Considering that most of the information collected in the country about precipitation, is the precipitate amount in millimeters in a day and there isn't any information on intensity-duration of it, this adapted method of the Service of Conservation of the ground (S.C.S.), allows from the precipitation, estimate the draining. The used information is precipitation by event (minutes, hours or days) and doesn't consider the distribution in the time (intensity of rain).

For such end the parameters were analyzed and

established. That allowed to subdivide the inferior River basin in four Sub-river basins on the basis of the morfometric characteristics, hydrological and hydrogeological.

The accomplishment of the work began with the cartographic interpretation which allowed the complement of the existing geomorfológica information, the design of the hydrographic net and the division of the area considered in Sub-river basins.

The presents grounds in the region were identified with its respective present and potential uses.

Key words: Draining, Small River basins, Hydric Balance

1. INTRODUCCION

La geomorfología regional tiene incidencia directa en la génesis y distribución de los suelos. La misma relación se observa con respecto a la vegetación.

Entregado: 15 de Agosto de 2005 • Aceptado: 28 de Agosto de 2005

⁽¹⁾Departamento de Ciencias Geológicas, F. C. E. y N. , U.B.A.

Las diferencias litológicas y las variaciones de relieve de cada uno de los ambientes geomorfológicos, (IRIONDO, M. H., 1972, 1987, 1990), explica la diversidad de situaciones que presenta el cuadro edáfico de la región.

Así es que, en las áreas positivas con relieve normal y subnormal y drenaje superficial libre, tiene lugar la evolución de los suelos climáticos, que constituyen más del 80 % de la superficie total de la zona estudiada.

Entre éstas áreas, hay que diferenciar la perteneciente al bloque de Armstrong, que constituye la parte más elevada de la región, de la vinculada al bloque Pujato – Uranga, (YRIGOYEN, M. R., 1975, RUSSO, A., R. FERRELLO y G. CHEBLI., 1979, SALA, J. M., 1981).

En la primera, la capa freática se localizó en general, a gran profundidad y sobre el suelo no ejerce influencia alguna, (suelos sin capa de agua), KREIMER, R., 1968, 1969, .

Predominan sedimentos loésicos franco limosos, sobre los cuales se han formado los suelos Brunizens, con horizonte B textural ó su equivalente Argiudol típico, soil Survey (Staff 1998, en Atlas de Suelos de la República Argentina, 1990). Son suelos con buen drenaje, se distinguen por no presentar signos de hidromorfía en ninguna parte del perfil ni características vérticas asociadas.

La distribución de los mismos incluye a las ciudades de Casilda y Cañada de Gómez, alguno de ellos se extienden a lo largo de las márgenes del río Carcarañá y de la Cañada de Gómez.

La erosión hídrica actual que ocurre principalmente en los sectores con mayor pendiente, provoca el deterioro del suelo en las parcelas cultivadas y también en los caminos vecinales, en donde el desnivel es muy pronunciado con respecto a la línea del terreno que atraviesan, (Bonfils, 1972, Bonfils, 1981).

En las áreas positivas, se observan los rasgos propios de la pampa levantada, como la carencia de lagunas permanentes y que los arroyos que la surcan les son totalmente propios pues nacen en el borde oriental de la geofractura Selva-Melincué, morfológicamente visible o no y llevan rumbo al NE o ENE y desaguan en el río Paraná. Toda dirección que no sea la indicada ha sido forzada por la tectónica.

La red hidrográfica está representada por un solo colector principal, el río Carcarañá. El mismo es de carácter efluente y de régimen permanente.

El diseño es regular, la pendiente de cauce es relativamente baja, varía entre 0.5 y 0.8 m/Km., solamente en los últimos 8 Km. es de 3.3 m/Km..

El río Carcarañá drena el área comprendida entre las estribaciones orientales de las sierras Grande y Comechingones.

La zona que se extiende desde el norte de Bell Ville hasta el sur de río Cuarto mantiene los caracteres de la pampa hundida, donde las aguas pluviales se reúnen en cañadas que se suceden y se enlazan formando verdaderos planos de inundación a través de los cuales, los cauces de los ríos Tercero y Cuarto mantienen su condición de colectores. No es nada difícil que el drenaje anterior se haya producido según la dirección dominante de las cañadas que es, en términos generales, de norte a sur, como sucede con las cañadas de San Antonio y su prolongación el arroyo de las Tortugas, la de los

Jagüeles, etc., y que el río Carcarañá, surcando el borde de la pampa ondulada, haya traído a la cuenca del río Paraná todas las aguas de la zona por captura relativamente reciente.

El río Carcarañá, entra en la pampa levantada, describiendo un gran arco con sus concavidades hacia el norte, valiéndose de la dislocación que limita por el sur al bloque de Armstrong. Esta es una de las mas evidentes de la pampa pues su salto es de 26 a 30 m lo que es de mucha significación.

Su trazado denuncia desviaciones, reflejo evidente de fenómenos estructurales. Se consideran ahora, las dos áreas negativas de la región. El sector noreste, cuyas aguas llegan al río Paraná a través del sistema anteriormente mencionado, se compone de una serie de cañadas temporarias paralelas de dirección NE y de cauces apenas evidenciados y generalmente canalizados. La más importante es la cañada Bajo de los Leones, cuya nacimiento está a 5 Km. al sur de la localidad de Armstrong. En general estas cañadas son de valles menos pronunciados que las del sector oeste y sur. Los aportes esporádicos por torrentes de agua de lluvia son de menor poder de arrastre y en consecuencia, la erosión en cárcavas se produce únicamente en algunos sitios aislados y en general la susceptibilidad a la erosión hídrica es mínima. La parte más elevada que contiene la divisoria de aguas tiene un escurrimiento superficial mucho menor, que se traduce en encharcamientos después de lluvias. También y localizadas en esta zona únicamente, se observan algunas cubetas y charcas. Una fosa que no basculó es la que Pasotti (1979), denominara "cinco cuencas", constituyendo el segundo sector dentro de las áreas negativas. Presenta cinco áreas anegadizas bien definidas que integran otras tantas cuencas hidrográficas que de norte a sur, son los arroyos San Lorenzo (Racca, 1980), Ludueña (Pasotti, et al, 1981), Saladillo, Frías (Albert, 1980, 1983) y Seco. Las aguas avenaron y avenan hasta el Paraná valiéndose de algunas de las paleocañadas o de posibles cursos de mayor importancia. Es de unos 60 Km. de largo y unos 10 Km. de ancho. Estas cinco cuencas hidrográficas de modelo flabeliforme, variedad del diseño dendrítico, están ubicadas en su mayor parte dentro del área del Gran Rosario, constituyendo una zona baja de bañados donde aflora la freática e inundable.

Desde un punto de vista puramente hidrográfico, en la provincia de Santa Fe existen cursos de agua que desembocan en la margen derecha del Paraná (o en los brazos en que este gran emisario se abre para dar sección de pasaje suficiente a su potente caudal) y lagunas, esteros, bañados o cañadas de difícil o nulo desagüe. Pero hidrológicamente, es decir, tomando en cuenta la magnitud y el efecto de las lluvias y de las aguas, los problemas que ellos crean y el análisis de las soluciones respectivas, nos llevan a adoptar una clasificación distinta para su estudio. Observando un mapa altimétrico de la Provincia de Santa Fe y una planimetría del río Paraná, así como las indicaciones que suministra el conocimiento de este extenso litoral, vemos lo siguiente (C.F.I, 1962, 1969):

a) El río Paraná define su curso permanente -no afectable por desbordes en épocas de grandes o medianas crecidas,

debajo de Puerto Gaboto y hasta el comienzo del Delta. Arriba de él, la innumerable cantidad de islas brazos y divagaciones en estado normal del río es característica.

b) La costa entrerriana y buena parte de la correntina, es elevada mientras la santafecina es baja y anegadiza. Debajo de Santa Fe la situación se invierte y las barrancas comienzan a tomar altura sobre el río, llegando a varios metros, en la costa de Rosario y Buenos Aires.

c) El río Carcarañá marca una neta división en el territorio santafecino, en concordancia con las dos observaciones anteriores y con el relieve morfológico y topográfico: al norte del Carcarañá los campos son parejos y de difícil desagüe y los cursos naturales desbordan con facilidad, inundando a su vez por la poca capacidad de descarga en época de lluvias torrenciales; al sur de aquel río, las pendientes son mayores, los cursos más definidos, y por lo tanto, el desagüe más fácil.

Considerados así los recursos hidráulicos superficiales, en base al diseño de la red hidrográfica, (FILI, M.F. Y O.C. TUJCHNEIDER, 1977, CANOBA, C.A., 1981, FILI, M. F., 1983 Y OLIVARES, O., 1989, 1990), (MAPA DE RED HIDROGRAFICA), se estudian cuatro regiones:

Sub-cuenca I:

Corresponde al tramo inferior del río Carcarañá, desde la confluencia del A° Tortugas hasta su desembocadura. En este sector, el curso tiene un rumbo general SW-NE con un diseño recto en su dirección regional y con la particularidad de contar a lo largo de su recorrido con abundantes curvas que le hacen cambiar de rumbo a su corriente, haciéndola, en muchos casos, perpendicular a la dirección de escurrimiento general SO-NE.

Cuenta con un solo afluente importante, el A° Cañada de Gómez, ubicado sobre su margen izquierda y que desemboca al N de la localidad de Carcarañá. Por su margen derecha recibe un arroyo de poco caudal, que con trazo de semicírculo casi desemboca en sentido contra corriente de su colector.

Sub-cuenca II:

Corresponde al área drenada por el A° de las Tortugas, afluente N-S del río Carcarañá y de los bañados drenados artificialmente por el Canal San Antonio, prolongación hacia el N del primero.

Sobre la margen derecha presenta tributarios permanentes de diseño paralelo, e intermitentes de diseño subdendrítico controlado, en parte radial tipo estrella y que con dirección regional SO-NE desaguan en el San Antonio. Hacia el sur los tributarios permanentes son mas cortos y los intermitentes conservan el mismo diseño pero con menor densidad, ambos mantienen la misma dirección de escurrimiento.

La margen izquierda recibe también cursos no permanentes, mas cortos y paralelos.

Sub-cuenca III:

Comprende a la cuenca del río Carcarañá, antes de la confluencia con el arroyo Tortugas.

El río Carcarañá, aquí presenta su concavidad hacia el norte y se acomoda subsecuentemente sobre el rechazo

entre bloques norte-sur.

En la margen izquierda no existen tributarios, solo se detectan paleocauces y drenes poco definidos. En la margen derecha, si recibe unos pocos tributarios, con direcciones SW-NE, confirmando el hundimiento del bloque sur.

Sub-cuenca IV:

La red de avenamiento se encuentra pobremente integrada, parece más bien una sucesión de bajos y lagunas alineadas que lograrían solo la interacción completa en épocas de lluvia.

La orientación de estos drenes es aproximadamente SW-NE, manteniendo un llamativo paralelismo dando así típico diseño subparalelo, separándose entre 2000 y 5000 m entre cursos.

La red comienza a integrarse a la altura de la localidad de Corral de Bustos-Berabeyú y Chañar Ladeado, donde fluyen hacia el arroyo de las Mojaras, que nace a la altura de la población de Camilo Aldao. La Cañada del Toro, está bien definida a lo largo de su recorrido de dirección SW-NE que cambia E-W y luego tuerce con dirección NNW-SSE, hasta desembocar en el arroyo de Las Mojaras.

Se delimitaron las áreas de las Sub-cuencas, observándose su morfometría, y se estimaron los siguientes valores, utilizando el programa AutoCad 14:

Sub-cuenca I	3672.9 Km.2
Sub-cuenca II	7657.5 Km.2
Sub-cuenca III	2704.49 Km.2
Sub-cuenca IV	3333.70 Km.2

2. MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES

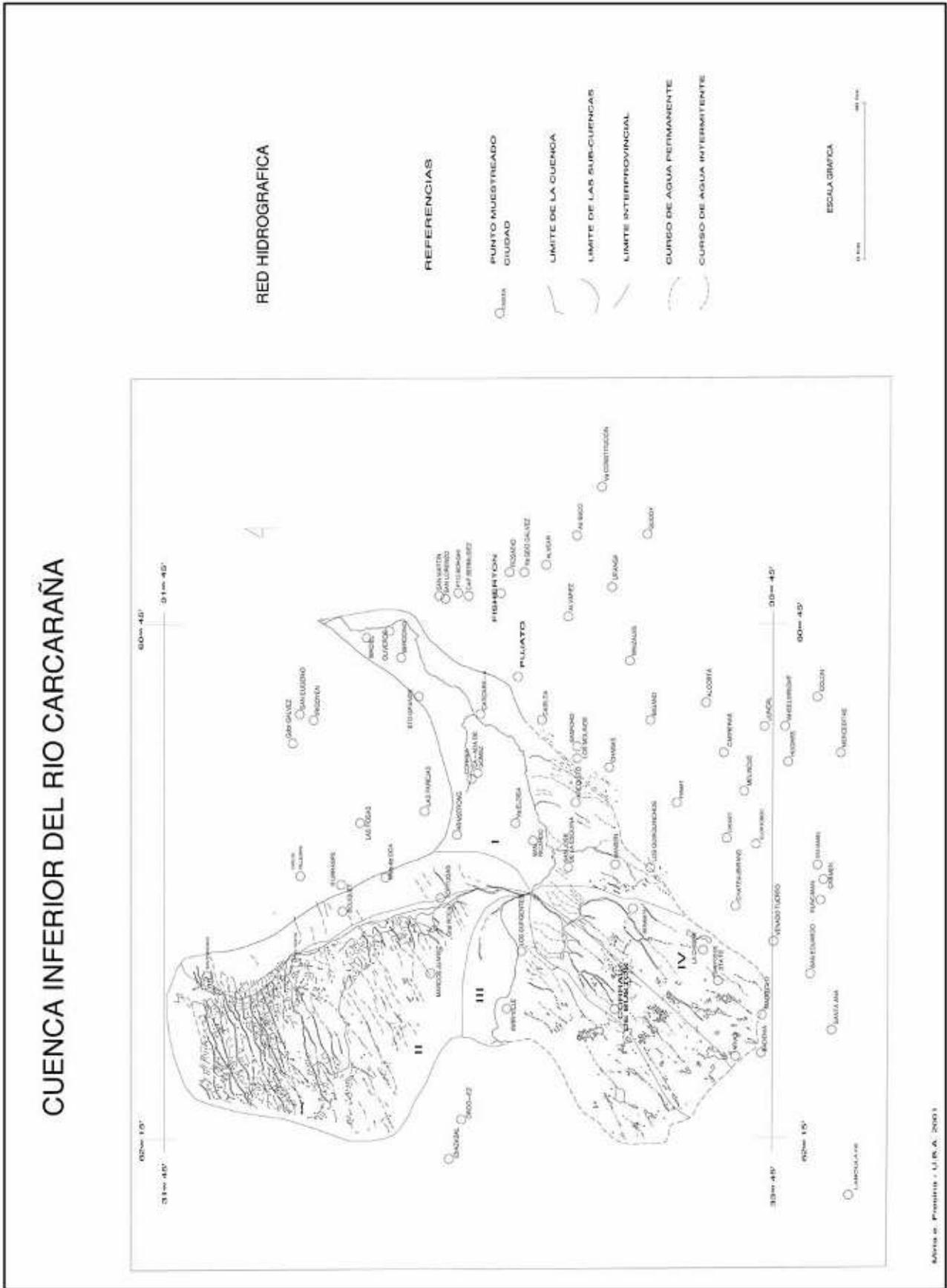
Para estimar el escurrimiento medio y máximo causado por una lluvia, se utilizó básicamente el método desarrollado por el Dr. Martin M. Fogel, (Martínez Menez, 1989) y adaptado del Soil Conservation Service, 1972. SCS National Engineering Handbook, Section 4 U.S. Department of Agriculture Washington, DC. El mismo se actualizó y se adaptó a la cuenca inferior del río Carcarañá, Pcia de Santa Fe.

Este método está basado en las investigaciones y metodologías desarrolladas por los hidrólogos del Servicio de Conservación del Suelo (S.C.S.). La ventaja de este método es poder predecir el escurrimiento basado en datos de precipitación y características de los suelos, donde no existan aforos de corrientes o datos hidrométricos.

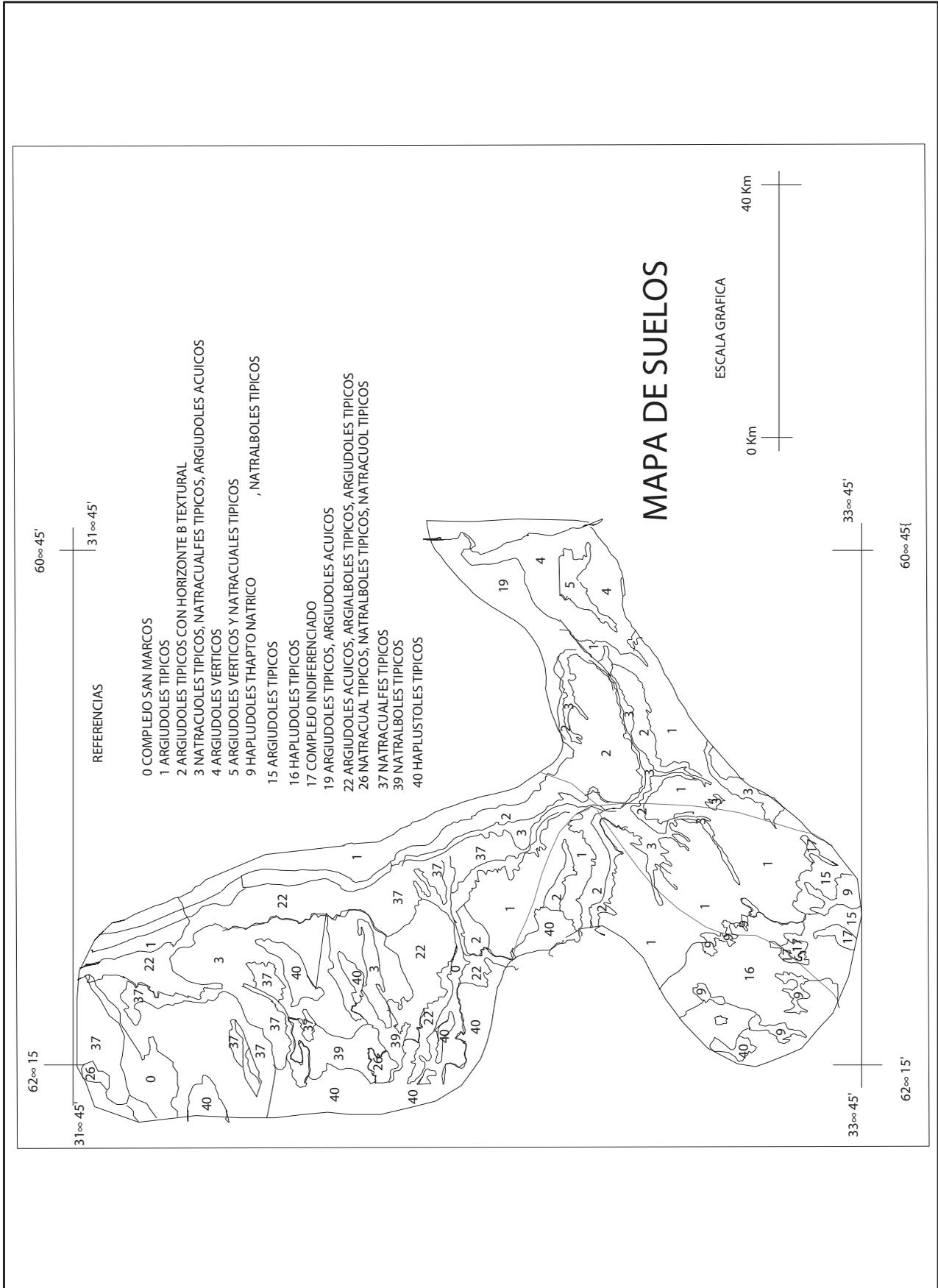
Este método estima el escurrimiento medio de una cuenca, el escurrimiento máximo instantáneo y el volumen total escurrido por evento.

Se basa en hidrogramas típicos para corrientes permanentes e intermitentes, que muestran el escurrimiento directo, flujo base y las componentes del hidrograma (curva de ascenso, cresta y curva de descenso).

Este método toma importancia en cuencas, donde no existen aforos de corrientes o datos hidrométricos.



Mónica E. Fresina - U.N.C.A. 2003



3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio está ubicada en el centro-sur de la provincia de Santa Fe y se enmarca entre los paralelos de 31° 45' y 33° 45' de latitud sur y los 60° 45' y 62° 15' de longitud oeste, abarcando un área de 17.368,59 Km.2.

El acceso se lleva a cabo por las rutas nacionales números 9, 11 y 33, por rutas provinciales y una densa red de caminos, tanto pavimentados como consolidados ó de tierra, en variable estado de conservación y mantenimiento.

La vegetación natural de la zona (CABRERA, A. L., 1971 E INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA, 1979, 1981, 1985, 1986, 1988, 1998), pertenece al distrito Uruguayense de la Provincia Pampeana, que corresponde a la región fitogeográfica neotropical.

La comunidad climax es la pradera de flechillo o "flechillar" (*Stippa* Sp), que constituye un tapiz casi continuo de gramíneas tiernas.

La vegetación natural refleja en cierto modo la conjunción paisaje - suelo, dado que ello ha sido modificado por el hombre en gran medida. En las áreas periódicamente bajo agua de menor drenaje, se ubican comunidades de especies leñosas y arbustivas con predominio de chañares (*GEOFFROEA decorticans*), asociadas con tusca (*ACACIA aramo*).

En las áreas de lomadas mejor drenadas se encuentran las sabanas, compuestas por una asociación de diversas especies de hierbas, donde además crecen árboles o arbustos dispersos o formando pequeños grupos de algarrobo blanco (*PROSOPIS alba*), algarrobo negro (*PROSOPIS nigra*).

Existen además numerosas comunidades edáficas como las selvas marginales, que se van empobreciendo a medida que aumenta la latitud, con predominio de laureles (*OCOTEA acutifolia*), mato - ojo (*POUTERIA salicifolia*), etc. Aparicio et al.

Estas selvas ricas en lianas y epífilas se hallan a lo largo de los ríos. También existen bosques edáficos xerófilos sobre las barrancas de los ríos y cuchillas. En ellos predominan el algarrobo (*PROSOPIS alba*), el tala (*CELTIS spinosa*) y otras especies.

En los suelos salados aparecen estepas de pasto salado (*DISTICHLIS spicata*) o de jume (*SALICORNIA ambigua*).

Hay además diversas comunidades hidrófilas: pajonales de *SPARTINA densiflora*, etc. y comunidades spamm.ófilas con *ELIONURUS muticus*, etc., Cabrera (1971).

Como ocurre en casi todo el ambiente de la pampa húmeda, el aspecto original de la vegetación, ha sido profundamente modificado por la actividad agropecuaria y las especies que constituyen el tapiz gramíneo primitivo en las lomadas, fueron suplantados por los cultivos de cereales y forrajeras.

4. METODOLOGÍA

4.1 Tipos de suelo presentes en cada sub-cuenca

En base a la Carta de Suelos de la República Argentina de Marcos Juárez, (1978), al Mapa de Suelos de la

Provincia de Santa Fe, (1981), y del Atlas de Suelos de la República Argentina, (1985), se describen los tipos de suelo presentes en cada Sub-cuenca, (MAPA DE SUELOS):

Sub-Cuenca I- Comprende los siguientes tipos de suelos, en orden de importancia:

1	$\frac{At}{0}$	At = Argiudol típico 0 = Sin límites
4	$\frac{Av}{W'}$	Av = Argiudol vértico W' = Drenaje deficiente por impermeabilidad
2	$\frac{At}{Eh'}$	At = Argiudol típico (ocupa el 80 % de la superficie) Eh' = Erosión hídrica actual
19	$\frac{At - Aa}{P - W''}$	At = Argiudol típico (70 %) - Aa = Argiudol ácuico (30 %) P = Permeabilidad lenta W'' = Drenaje deficiente por escurrimiento dificultoso
5	$\frac{Av - N3t}{P - Na'}$	Av = Argiudol vértico (70 %) - N3t = Natracualf típico (30 %) P = Permeabilidad lenta Na' = Alcalinidad sódica a menos de 50 cm.
3	$\frac{Nt + N3t + Aa}{G - Na}$	Complejo: Natracuol típico (50 %) + Natracualf típico (30%) + Argiudol ácuico (20 %) G = Aneabilidad Na = Alcalinidad sódica a más de 50 cm.

Sub-Cuenca II- Comprende los siguientes tipos de suelos, en orden de importancia:

37	$\frac{N3t}{W Na'}$	N3 t = Natracualf típico W = Drenaje deficiente por capa freática alta Na' = Alcalinidad sódica a menos de 50 cm.
39	$\frac{N2t}{W Na'}$	N2t = Natrabol típico W = Drenaje deficiente por capa freática alta Na' = Alcalinidad sódica a menos de 50 cm.
1	$\frac{At}{0}$	At = Argiudol típico 0 = Sin límites
40	$\frac{H3t}{C Na}$	H3t = Haplustol típico C = Clima Na = Alcalinidad sódica a mas de 50 cm.
2	$\frac{At}{Eh'}$	At = Argiudol típico Eh' = Erosión hídrica actual
3	$\frac{Nt + N3t + Aa}{G - Na}$	Nt = Natracuol típico N3 t = Natracualf típico Aa = Argiudol ácuico G = Aneabilidad Na = Alcalinidad sódica a mas de 50 cm.
22	$\frac{Aa - A3t/At}{W'' - G - P}$	Aa = Argiudol ácuico A 3t = Argialbol típico At = Argiudol típico W'' = Drenaje deficiente por escurrimiento dificultoso G = Aneabilidad P = Permeabilidad lenta

- 26 $\frac{N3t + N2t + Nt}{Na'G - Na}$ N3 t = Natracualf típico
N2t = Natralbol típico
Nt = Natracuol típico
Na' = Alcalinidad sódica a menos de 50 cm.
G = Aneabilidad
Na = Alcalinidad sódica a mas de 50 cm.
- 0 $\frac{COSM}{C}$ Complejo San Marcos: Natracualf típico (50 %) + Argialbol típico (45 %) + Argiudol típico (5 %)

Sub-Cuenca III- Comprende los siguientes tipos de suelos, en orden de importancia:

- 1 $\frac{At}{0}$ At = Argiudol típico
0 = Sin límites
- 16 $\frac{Ht}{0}$ Ht = Hapludol típico
0 = Sin límites
- 42 $\frac{At}{P' Na}$ At = Argiudol típico
P' = Permeabilidad rápida
Na = Alcalinidad sódica a mas de 50 cm.
- 2 $\frac{At}{Eh'}$ At = Argiudol Típico
Eh' = Erosión hídrica actual

Sub-Cuenca IV- Comprende los siguientes tipos de suelos, en orden de importancia:

- 1 $\frac{At}{0}$ At = Argiudol típico
0 = Sin límites
- 17 $\frac{Co In}{G - Na - Sa}$ Co In = Complejo Indiferenciado
G = Aneabilidad
Na = Alcalinidad sódica a mas de 50 cm.
Sa = Salinidad
- 15 $\frac{At - Ht}{0}$ At = Argiudol típico
Ht = Hapludol típico
0 = Sin límites
- 9 $\frac{H; n - N2t}{Na'}$ H: n = Hapludol thapto nátrico
N2t = Natralbol típico
Na' = Alcalinidad sódica a menos de 50 cm.
- 1 $\frac{At}{0}$ At = Argiudol típico
0 = Sin límites
- 3 $\frac{Nt + N3t + Aa}{G - Na}$ Nt = Natracuol típico
N3 t = Natracualf típico
Aa = Argiudol ácuico
G = Aneabilidad
Na = Alcalinidad sódica a mas de 50 cm.
- 2 $\frac{At}{Eh'}$ At = Argiudol típico
Eh' = Erosión hídrica actual

4.2. Ubicación, población y limitante principal de cada unidad

UNIDAD 0: $\frac{COSM}{C}$

El Complejo San Marcos, está constituido por 7 grupos, en donde dominan los Natracualfes típicos y los Argiudoles típicos (representados por las series Marcos

Juárez y M. Buey y Justiniano Pose).

Los problemas son alcalinidad sódica a menos de 50 cm. y drenaje deficiente por capa freática alta. La permeabilidad es lenta.

UNIDAD 1: $\frac{At}{0}$

Se la encuentra en las planicies altas suavemente onduladas, en las lomas extendidas y en las pendientes asociadas a esas lomas. El relieve dominante es el normal – subnormal, presentando una red de avenamiento bien definida.

La población está compuesta por *Argiudoles típicos*.

UNIDAD 2: $\frac{At}{Eh'}$

La población que la compone está representada por *Argiudoles típicos con horizonte B textural*, cuyo contenido de arcilla aumenta hacia el sur.

El factor limitante, es la erosión hídrica actual.

UNIDAD 3: $\frac{Nt + N3t + Aa}{G - Na}$

Se la encuentra irregularmente distribuida. Corresponde a planos bajos extendidos aledaños a vías de escurrimiento de cauce elaborado.

Es un complejo de suelos *Natracuoles típicos*, (representados por la Serie Santa Lucía), *Natracualfes típicos*, (representados por la Serie La Indiana) y *Argiudoles ácuicos*, (representados por la serie Carabelas).

Los Natracuoles típicos, se encuentran en planos aluviales de relieve dominante plano-cóncavo, lo que acentúa su drenaje imperfecto, creando marcadas condiciones de hidromorfismo.

Si bien no tienen buena aptitud agrícola, cuando los valores de sodio no son muy elevados, pueden practicarse algunos cultivos agrícolas, eligiendo especies adaptadas, a la presencia de dicho elemento, para obtener rendimientos satisfactorios.

En algunos, las sales solubles imprimen un grado de toxicidad que limitan aún más su uso.

Los Natracualfes típicos, por la posición que ocupan (sectores deprimidos y bajos), sufren anegamientos y/o encharcamientos frecuentes y la eliminación del agua es impedida por el escurrimiento superficial muy lento a nulo.

Por la naturaleza -tanto física como química- de las limitaciones, el uso y la aptitud de estos suelos están restringidos a campos naturales de pastoreo.

Las áreas mas elevadas de esta Unidad, están ocupadas por Argiudoles ácuicos.

Estos presentan menor drenaje, tanto superficial (escurrimiento) como interno y moteados de hierro y manganeso en los primeros 40 cm. de la superficie. Se ubican en sectores algo deprimidos, donde el drenaje superficial no es tan rápido, como en las medias lomas bajas, pie de lomas, vías de escurrimiento temporarios y adyacencias de cubetas y arroyos importantes.

Con respecto a sus limitaciones, le corresponden las citadas para el Subgrupo de los Argiudoles típicos, que se acentúan en aquellos casos en que el drenaje interno se restringe considerablemente. En épocas lluviosas estos suelos se encharcan debido a su baja permeabilidad.

UNIDAD 4: $\frac{Av}{W'}$

Se la encuentra en el centro-este de la Pvcia de Santa Fé, en un paisaje suavemente ondulado con lomas planas y extendidas, relieve normal - subnormal y moderadamente bien drenado. Los suelos están representados por *Argiudoles vérticos*.

Las limitaciones que pueden presentar estos suelos están dadas por las características del horizonte Bt que, puede constituirse en un serio impedimento para la economía del agua y el desarrollo radicular.

UNIDAD 5: $\frac{Av - N3t}{P - Na'}$

Ocupa el centro del Dpto. San Lorenzo y se halla muy escasamente representado en el norte y este del Dpto. Rosario, (Pvcia de Santa Fé).

Se la encuentra en un paisaje muy suavemente ondulado con lomas planas extendidas de relieve normal - subnormal y moderadamente bien drenadas, interrumpidas por planos bajos de relieve subnormal cóncavo, aledaños a vías de escurrimiento permanentes de lento drenaje.

La Unidad se compone de una asociación de *Argiudoles vérticos* y *Natracualfes típicos*. Los primeros se ubican en los sectores de lomas, mientras que los segundos se encuentran en los planos bajos extendidos.

La limitante de los *Argiudoles vérticos*, deriva del alto contenido de arcilla del horizonte Bt, haciéndolos relativamente impermeables en períodos de lluviosos, lo cual trae aparejado problemas para la normal actividad respiratoria de los vegetales.

Los *Natracualfes típico* presentan limitaciones provocadas por su ubicación en las áreas más deprimidas y peor drenadas, como también por la alta concentración de sodio intercambiable y sales solubles, localizados a menos de los 50 cm. de la superficie.

UNIDAD 9: $\frac{H: n - N2t}{Na'}$

Se la encuentra en un paisaje muy ligeramente ondulado, con planicies extendidas y microrelieves de cubetas. Pequeñas lomadas rodeadas por áreas más bajas y extendidas.

Esta Unidad está compuesta por una asociación de *Hapludoles thapto nátrico*, en las áreas más elevadas y *Natralboles típicos* en las áreas ligeramente deprimidas. Estos suelos tienen su limitación principal derivado del alto contenido de sodio a menos de 50 cm. de profundidad.

UNIDAD 15: $\frac{At - Ht}{0}$

Se la encuentra en el sud-oeste de la Pvcia de Santa Fé y sud-este de la Pvcia de Córdoba, en las lomas altas extendidas, bien drenadas, de relieve predominante normal - subnormal.

Estos suelos están compuestos por una asociación de *Argiudoles típicos* y *Hapludoles típicos*. Estos suelos no presentan limitaciones para la producción de cultivos agrícolas.

UNIDAD 16: $\frac{Ht}{0}$

El paisaje en donde se encuentra corresponde a las lomas altas extendidas muy suavemente onduladas.

La unidad está compuesta casi exclusivamente por *Hapludoles típicos* representados por la Serie Santa Isabel. Son suelos muy bien provistos de materia orgánica y reacción neutra.

Estos suelos no presentan limitaciones para la producción de cultivos agrícolas.

UNIDAD 17: $\frac{Co In}{G - Na - Sa}$

Se los encuentra en el Sud-Oeste de la Pvcia de Santa Fe y Sud-Este de la Pvcia de Córdoba, en las áreas deprimidas aledañas a lagunas permanentes y vías de escurrimiento. El relieve dominante es el cóncavo, en las áreas de influencia de lagunas permanentes y bajos amplios interconectados. Esta Unidad está compuesta por un *complejo indiferenciado* de suelos alcalinos y salinos. Se encuentran *Natralboles típicos* y *Natracualfes típicos*.

Los primeros se encuentran en los sectores ligeramente más elevados y mejor drenados. Estos son los suelos que mayor atención merecen, por ser los más abundantes y poseer más amplitud agronómica, a pesar de su lenta permeabilidad y elevados contenidos de sodio en el horizonte Bt. En las áreas algo más deprimidas y peor drenadas, se encuentran los *Natracualfes típicos*. Ambos forman un patrón muy intrincado de suelos.

Las limitaciones, son variables de acuerdo al uso que se trate, pero en general todos tienen un exceso de sodio. En el caso de los *Natracualfes* esta alcalinidad se da casi de la superficie, que sumada a la salinidad y al anegamiento, le restringen en gran medida su capacidad de uso.

Para los *Natralboles* el lento drenaje y la alcalinidad, limita el crecimiento vegetal y los circunscribe a la ganadería, mostrando buen comportamiento con pasturas tanto naturales como cultivadas. Estas últimas, lógicamente, aportan mayor calidad, por que en la generalidad de los casos las pasturas naturales se encuentran degradadas en su valor forrajero debido al mal manejo.

UNIDAD 19: $\frac{At - Aa}{P - W''}$

Es una Unidad profusamente distribuida en la región central de la Pvcia. De Santa Fe. Corresponde a planicies altas, muy extendidas, de relieve predominantemente normal - subnormal y bien drenados superficialmente. Se presentan en lomas suaves que se suceden en el paisaje, interrumpidas por ejes de avenamiento de orientación OSO -ENE, dispuestas en forma paralela.

Estos ejes de avenamiento o cauces de escurrimiento temporario, están compuestos por una sucesión de cubetas o pequeñas lagunas semeando un collar de cuentas, que en los períodos de lluvias de cierta magnitud, se intercomunican drenando normalmente los sectores. La Unidad está compuesta por una asociación de *Argiudoles típicos* y *Argiudoles ácuicos*. Los *Argiudoles típicos* se encuentran en los sectores bien drenados, de lomas planas extendidas y los *Argiudoles ácuicos* en los sectores deprimidos del paisaje, donde el

drenaje superficial no es tan rápido, como en las medias lomas bajas, pié de lomas, vías de escurrimiento temporarios y adyacencias de cubetas y arroyos importantes.

Las limitaciones de los Argiudoles ácuicos, son las mismas que para el Subgrupo de los Argiudoles típicos, y se acentúan en aquellos casos en que la permeabilidad es menor y el drenaje interno se restringe considerablemente, razón por la cual la selección de cultivos y el manejo debe ser mas cuidadoso que en los Argiudoles típicos.

UNIDAD 22: $\frac{Aa - A3t/At}{W'' - G - P}$

Se encuentra uniformemente distribuida en el sector centro-oeste de la Pvcia de Santa Fe. El paisaje comprende a pendientes muy suaves que se encuentran principalmente en zonas de influencia de arroyos o vías de escurrimiento bien marcadas. El relieve predominante es el subnormal, hallándose sectores dentro de este paisaje, donde adquiere importancia el relieve subnormal – cóncavo. Está compuesto por una asociación de *Argiudoles ácuicos*, *Argialboles típicos*, y *Argiudoles típicos*. En ésta Unidad, predominan los Argiudoles ácuicos, estos se encuentran en las posiciones intermedias del paisaje, en las pequeñas lomadas los Argiudoles típicos y en las pendientes, depresiones extendidas y cubetas que forman las vías de escurrimiento temporario, los Argialboles típicos.

El drenaje deficiente, motivado por el entrecruzamiento de las líneas de escurrimiento, originan grandes áreas con exceso de humedad. Todos estos factores inciden para provocar la otra limitación señalada en esta Unidad, que es la anegabilidad a que están sujetos estos sectores, acentuada por la escasa permeabilidad de los suelos que se encuentran en los ambientes más bajos. Si bien de este modo se han señalado las tres limitaciones mas importantes, existen otras, como ser el ascenso de la capa de agua cargada de sales y sodio, precisamente en los lugares vecinos a los bajos importantes o zonas de precañadas donde se encuentran suelos Natracuoles. **UNIDAD 26: $N3t + N2t + Nt$**

$\frac{Na/G - Na}{Na/G - Na}$

Muy irregularmente distribuida a lo largo del canal San Antonio. La ubicación en el paisaje es en los planos bajos muy extendidos de relieve predominantemente subnormal a subnormal cóncavo, de drenaje extremadamente dificultoso y periódicamente anegados. Corresponde a un complejo de *Natracualf típico*, *Natralbol típico* y *Natracuol típico*. Los primeros se encuentran en las áreas mas bajas de peor drenaje en las zonas de cañadas. Los segundos en las áreas ligeramente más elevadas en pequeñas pendientes, pero también integrados del área de cañadas y los terceros o sea los Natracuoles se encuentran en las zonas mejor drenadas y más altas, aunque también en ellos, hacen sentir el efecto del ascenso de las capas, llevando cerca de la superficie las sales del subsuelo. Las limitaciones de los *Natracualfes típicos*, consisten en que la presencia de la capa de agua cercana a la superficie se ve agravada por los frecuentes períodos de anegamiento a que se encuentran sujetas estas áreas. La presencia de sales y especialmente sodio en cantidades que provocan

inconvenientes en el desarrollo de muchas especies son las limitaciones más destacadas.

Los suelos Natralboles y Natracuoles presentan ligeras ventajas por su ubicación algo más elevada que el resto, pero no obstante las deficiencias señaladas también son extensibles a ellos.

UNIDAD 37: $\frac{N3t}{W Na'}$

La Unidad está constituida exclusivamente por suelos *Natracualfes típicos*, la descripción de estos y sus limitantes, están indicadas en la Unidad 26.

UNIDAD 39: $\frac{N2t}{W Na'}$

La Unidad está constituida exclusivamente por suelos *Natralboles típicos*, la descripción de estos y sus limitantes, están indicadas en la Unidad 26.

UNIDAD 40: $\frac{H3t}{CNa}$

La Unidad está constituida exclusivamente por suelos *Haplustoles típicos*, la limitante es el clima y presentan acumulaciones de sodio a mas de 50 cm..

4.3. Tipos de suelos

4.3.1. Características de la permeabilidad

Se consideran los perfiles tipo de cada localidad, tomados de las Cartas de suelos de la República Argentina, I.N.T.A., y en base a datos de porosidad y permeabilidad de los sedimentos pampeanos, (MUSKAT, M. 1946, ETCHICHURY, M.C. Y M.E. FRESINA, 1993 Y FRESINA, M.E., 2002), se clasificaron los suelos, según su permeabilidad, (DAVIS, S. N., 1969):

Argialboles típicos (Perfil B112): Son suelos desarrollados sobre materiales loésicos que presentan una acentuada condición hidromórfica, manifestada por abundantes moteados y en la formación de un horizonte diagnóstico de intenso lavado (álbico), reconocible por su color claro, sobre un horizonte Bt con elevado contenido de arcilla.

Argiudoles ácuicos (Perfil 6): Se los denominaba antes Brunizem hidromórficos, por esa tendencia de su régimen de humedad de údico a ácuico (perúdico).

Presentan menor drenaje, tanto superficial (escurrimiento) como interno y moteados de hierro y manganeso en los primeros 40 cm. de la superficie.

En épocas lluviosas estos suelos se encharcan debido a su baja permeabilidad.

Argiudoles típicos (Serie Maggiolo, Serie Casilda, Perfil 3010 y Perfil B 122): Son suelos profundos, bien drenados, de permeabilidad moderadamente rápida, no susceptibles a anegamiento y con horizontes bien diferenciados. Presentan buena aptitud para producir cultivos agrícolas, con la limitación que le otorga la condición limosa en los horizontes superficiales, que los hace susceptibles al "planchado" y a densificarse, estos problemas se agravan por los bajos tenores relativos de materia orgánica, que no alcanzan a compensar el efecto negativo del limo y el manejo inadecuado, tanto de las labranzas como de las pasturas y rastros. En profundidad, el Bt de baja permeabilidad, que en la provincia de Santa Fé, se acentúa en la dirección

sudoeste a noreste, disminuye en gran medida la capacidad de captación y almacenaje de agua útil.

Argiudoles vérticos (representados por la Serie Roldán): Presentan textura arcillo – limosa a arcillosa en el Bt. En algunos pedones, constituye un verdadero “pan de arcilla” de permeabilidad muy lenta y generalmente resulta un impedimento a la penetración radicular. Se los haya en planos extendidos suavemente ondulados.

Los *Hapludoles típicos* (representados por la serie Santa Isabel): Estos suelos se han desarrollado en un régimen de humedad údico, sobre materiales loésicos de textura franca o franca arenosa. El rasgo característico de este Grupo está constituido por la presencia, debajo del epipedón mólico, de un horizonte cámbico en lugar de un horizonte argílico. Se ubican en los relieves ondulados, son suelos profundos, bien drenados y de permeabilidad moderada, con gran capacidad de captación y almacenamiento de agua.

Hapludoles thapto nátrico (representado por la Serie Lazarino): Son suelos con perfiles poligenéticos, bien provistos de materia orgánica y de reacción ligeramente alcalina, de textura franca y poca cantidad de arcilla. Se han formado sobre otro suelo preexistente originando una discontinuidad litológica.

Hapludoles típicos: se dan en condiciones de clima subhúmedo a semiárido y temperaturas templadas y cálidas que se caracterizan por estar relativamente libres de los problemas de saturación con agua e hidromorfismo. Las sequías son frecuentes y las precipitaciones de carácter errático. Inmediatamente debajo del horizonte superficial oscuro, tienen un horizonte que consiste únicamente de materiales minerales ligeramente alterados. Muchos, también tienen horizontes de acumulación de carbonatos o sales.

Natralboles típicos (representados por la Serie Aarón Castellanos y el Perfil 374): Se encuentran asociados en el paisaje con otros suelos como Argialboles e incluso Argiudoles ácuicos, en franjas alledañas a bajos extendidos, vías de escurrimiento permanentes y situaciones de precañadas.

Su génesis está asociada a condiciones de hidromorfismo, lixiviado de materiales y acumulación de ión sodio.

En general se encuentran afectados por fluctuaciones de una capa de agua y esporádicamente ésta suele encontrarse cercana a la base del solum, pero en los perfiles estudiados en esta zona, hay evidencias que en el pasado pudieron haber sufrido una afectación mayor de este fenómeno.

Natracuoles típicos (representados por el Perfil 371): El material que les ha dado origen es del tipo limo-loésico y normalmente se encuentran en las planicies inundables y en las márgenes de los arroyos o ríos.

Son imperfectamente drenados y tienen muy baja permeabilidad.

Natracualfes típicos (representados por la Serie Zavalla, Serie Amenabar y el Perfil 08): Se han desarrollado a partir de sedimentos eólicos franco arenosos, loésicos franco a franco limosos y fluviales franco arenosos. Estos suelos, frecuentemente sufren períodos de saturación con agua. Esta es producida por fluctuaciones de capas de agua cercanas a la superficie y por anegamientos como consecuencias de lluvias o desbordes de ríos o arroyos. Se encuentran en paisajes

deprimidos, de escurrimiento difícil, con serios problemas de drenaje interno. El horizonte superficial, o bien es muy decolorado con muy bajo contenido de materia orgánica, o es demasiado delgado o duro y masivo en seco (epipedón órico). Luego, pasa en forma abrupta a un horizonte enriquecido en arcilla iluvial, en el cual el sodio representa más del 15 % de los cationes de intercambio (horizonte nátrico). La presencia de sodio en estos suelos, es generalmente atribuida a la muy baja permeabilidad del horizonte nátrico, que impide su arrastre en profundidad y favorece su acumulación. Asociado a la presencia de sodio, se encuentran tenores variables de sales solubles y carbonatos de calcio en concreciones. Estos suelos presentan variaciones entre sí, dependiendo de la posición en que estén ubicados en el paisaje, de la mayor o menor frecuencia en que están saturados con agua durante el año, de los diferentes tenores de sales y sodio que contengan, etc. Los Natracualfes imperfectamente drenados, frecuentemente anegables, con altos tenores de sodio y sales solubles desde superficie, poseen limitaciones severas de difícil solución. Son utilizables para ciertas actividades ganaderas como la cría con baja carga, aprovechando la vegetación natural o bien con pasturas implantadas resistentes a esas condiciones. Asimismo el manejo es complicado a causa de los problemas de inundación y falta de piso.

Resumen:

Sub-cuenca 1: suelos de permeabilidad moderada

Sub-cuenca 2: suelos de permeabilidad baja

Sub-cuenca 3: suelos de permeabilidad alta

Sub-cuenca 4: suelos de permeabilidad regular

4.4. Estimación del escurrimiento

La relación lluvia/escorrentía, se expresa gráficamente (FIGURA N° 1) y se calcula mediante un desarrollo matemático que contempla: la precipitación o escurrimiento máximo potencial (P) -El escurrimiento actual (Q) -La retención máxima potencial de agua por el suelo (S) -Retención actual (F) y las abstracciones iniciales (Ia), donde:

P = es la cantidad de lluvia caída en una cuenca durante un evento

Q = es la escorrentía del evento, considerando las abstracciones iniciales

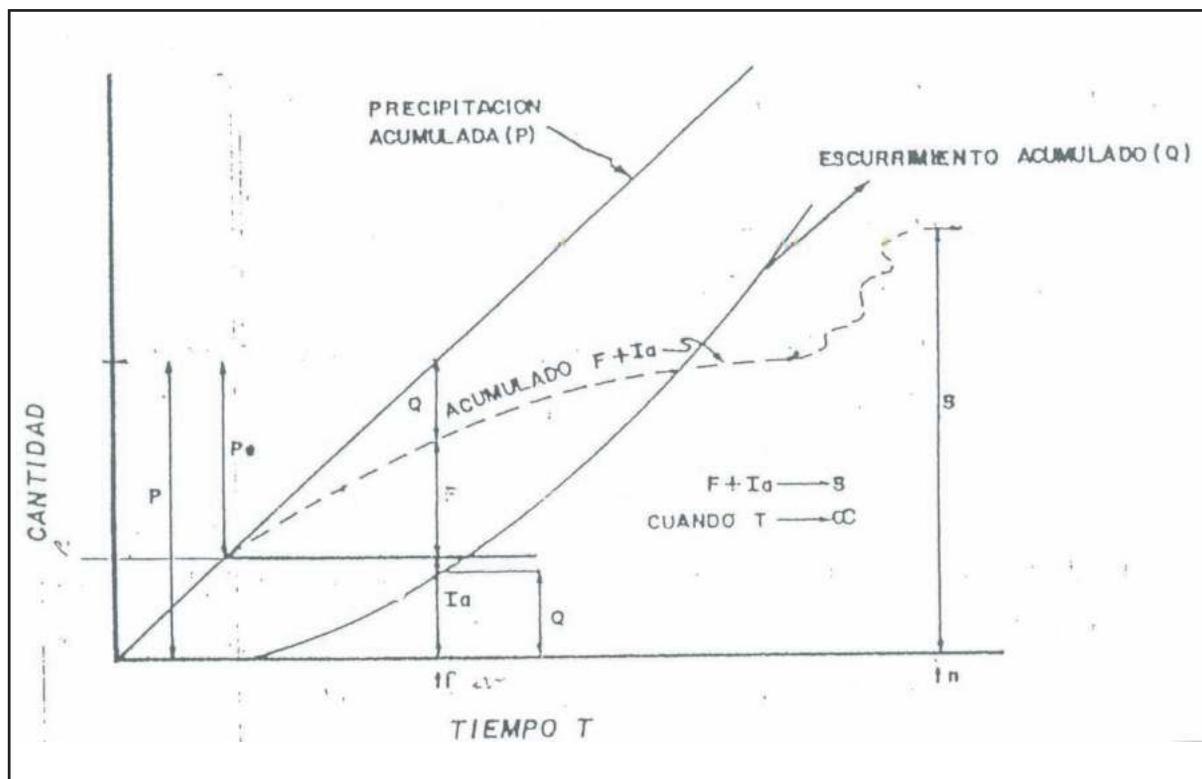
S = es la suma de la infiltración total acumulada más las abstracciones iniciales, cuando el tiempo tiende a infinito

F = es la diferencia entre la precipitación efectiva para escorrentía y el escurrimiento actual

Ia = consideran los procesos de intercepción de agua por la vegetación, almacenamiento en pequeñas depresiones e infiltración antes de que empiece la escorrentía. Sus valores son variables por condiciones climáticas, precipitación, vegetación, área de drenaje, sistemas de drenaje, presentación de la lluvia a través del tiempo, etc.

Empíricamente se encontró que las abstracciones iniciales, podrían ser estimadas en función de, la retención máxima potencial (S): $Ia = 0.2 S$

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA PRECIPITACIÓN (P) Y ESCORRÉNIA ACUMULADA (Q), CONSIDERANDO LA INFILTRACIÓN (F) Y LAS ABSTRACCIONES INICIALES (IA)



La expresión general del método queda reducida a:

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

Donde: Q = Escurrimiento medio (mm.)
P = Precipitación por evento (mm.)
S = Retención máxima potencial (mm.)

La Retención Máxima Potencial (S), depende de las condiciones del suelo, vegetación y tratamiento de cultivos, por lo que es factible relacionarla con las Curvas Numéricas (C.N.), que son función de los factores antes mencionados.

Se la puede obtener sobre la base de la siguiente relación empírica: $S = \frac{25400}{CN} - 254$

Donde: S = Retención Máxima Potencial (mm.)
CN = Curvas Numéricas (adimensional)

Curvas numéricas (C.N.) Estas curvas numéricas son una representación general de los coeficientes de escurrimiento y fueron obtenidas por el Servicio de Conservación de Suelos basados en la observación de hidrogramas procedentes de varias tormentas en diferentes áreas de los Estados Unidos.

Estas curvas dependen de: a) Grupo de Suelos, b) Condición Hidrológica de la Cuenca, c) Uso del Suelo, con su Tratamiento, d) Condición de Humedad Antecedente, (FIGURA N° 2).

a) Grupo de Suelos

Utilizando las características texturales de los suelos (más de 3000) el Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S.), clasificó a aquellos en cuatro grupos de acuerdo con sus características hidrológicas para producir escurrimiento, (TABLA N° 1).

b) Condiciones Hidrológicas del Area de Drenaje

Este indicador de la cubierta vegetal y su variación depende de la densidad de la cobertura, de tal manera que se agrupan en tres grandes grupos como:

Condición Hidrológica

Buena = cobertura > del 75 %
Regular = cobertura entre 50 y 75 %
Mala = cobertura < del 50 %

Como la vegetación es clasificada de acuerdo con su porte, el tipo de vegetación influye en la condición hidrológica, (facilita ó disminuye la infiltración) y esta varía con el uso del terreno, (TABLA N° 2).

c) Uso del Suelo

La utilización de los terrenos ya sea como áreas de cultivo, pastizales y bosques tienen influencia en la escurrimiento y esto es más notorio cuando además de la cubierta vegetal, se desarrollan tratamientos o prácticas de manejo al suelo o se realizan sistemas de siembra en hilera, tupidos, en surcos rectos o en contorno. Por esta razón, de los usos del suelo de las zonas húmedas y subhúmedas de los Estados Unidos y de las prácticas de cultivos y de tratamientos al suelo, se obtuvieron los valores de "Curvas Numéricas" (C.N.), para diferentes Condiciones Hidrológicas y Tipos de Suelos, (TABLA N° 3).

Como estos datos fueron obtenidos para las zonas húmedas de U.S.A., en las zonas áridas y semiáridas se propone que las curvas numéricas se obtengan de la (FIGURA N° 3), considerando los grupos de suelos y los por cientos de cobertura vegetal para los matorrales desérticos, áreas herbáceas, matorrales de montaña, pastizales y áreas boscosas.

TABLA 1. CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DEL SUELO

GRUPO DE SUELOS	DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO
A	Suelos con bajo potencial de escurrimiento. Tienen valores altos de infiltración, incluso cuando están frecuentemente húmedos. Son suelos permeables, que incluyen en su perfil, arenas profundas con muy poco limo y arcilla ó grava. Se los encuentra en las depresiones, ya sea por excesivo drenaje de arenas ó gravas. Estos suelos tienen un alto índice de transmisión de agua.
B	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Tienen índices moderados de infiltración, frecuentemente húmedos. Son suelos areno – limosos. Se encuentran en depresiones moderadas. Moderadamente bien a bien drenados con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen un índice moderado de transmisión de agua.
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Tienen bajos índices de infiltración cuando están húmedos. Son suelos migajones arcillosos, de texturas finas a muy finas, principalmente presentan una capa que le impide los movimientos del agua hacia abajo. Son suelos someros, con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Estos suelos, tienen un bajo índice de transmisión de agua.
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Tienen muy bajos índices de infiltración cuando están húmedos. Son suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles o suelos someros con materiales fuertemente cementados o con un permanente nivel freático alto, presentan una capa de arcilla en la superficie ó cerca de ella. Suelos poco profundos, sobre materiales poco permeables. Estos suelos tienen un muy bajo índice de transmisión de agua.

d) Condición de Humedad Antecedente

Es de esperar que el escurrimiento aumente a medida que aumenta la Condición de Humedad del suelo al momento de presentarse la tormenta. Por esa razón, en este método la Condición de Humedad del suelo producto de los cinco días previos a la tormenta son considerados y agrupados en tres grupos, (TABLA N° 4).

Cuando se haya seleccionado el valor de C.N., se obtiene un valor que está dado por la Condición de Humedad antecedente intermedia (II), (TABLA N° 4), por tal razón, se deben considerar los datos de precipitación de los cinco días previos al evento que se desea utilizar para la predicción de la escorrenría y si esto es menor de 12.7 mm., la Condición de Humedad Antecedente es seca (I) y en la TABLA N° 3, se busca el nuevo valor de C.N. que corresponde a esta condición, lo mismo se realiza cuando la precipitación es mayor de 38.1 mm., pero ahora para

la Consideración de Humedad Antecedente es húmeda (III).

e) Cálculo de la Retención Máxima Potencial (S)

Con las Curvas Numéricas corregidas, según las Condiciones Antecedentes de Humedad, (TABLA N° 5), se calcula la Retención Máxima Potencial (S), para cada zona, aplicando la fórmula: $S = \frac{25400}{C.N.} - 254$

f) Cálculo del Escurrimiento Medio Directo Anual (Qm) en mm./año

Con los valores de Retención Máxima Potencial (S) y conociendo la Precipitación del evento en mm. para cada zona, se obtienen por medio de ponderación, los valores de Escurrimiento Directo Medio Anual, en mm./año, para cada Sub- subcuena, aplicando la fórmula:

$$Qm = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

FIGURA 2. DETERMINACION DE LAS CURVAS NUMERICAS (CN) DE ACUERDO CON EL PORCENTAJE DE COBERTURA VEGETAL PARA DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION GRUPOS HIDROLOGICOS DE SUELOS USADOS POR EL S.C.S.

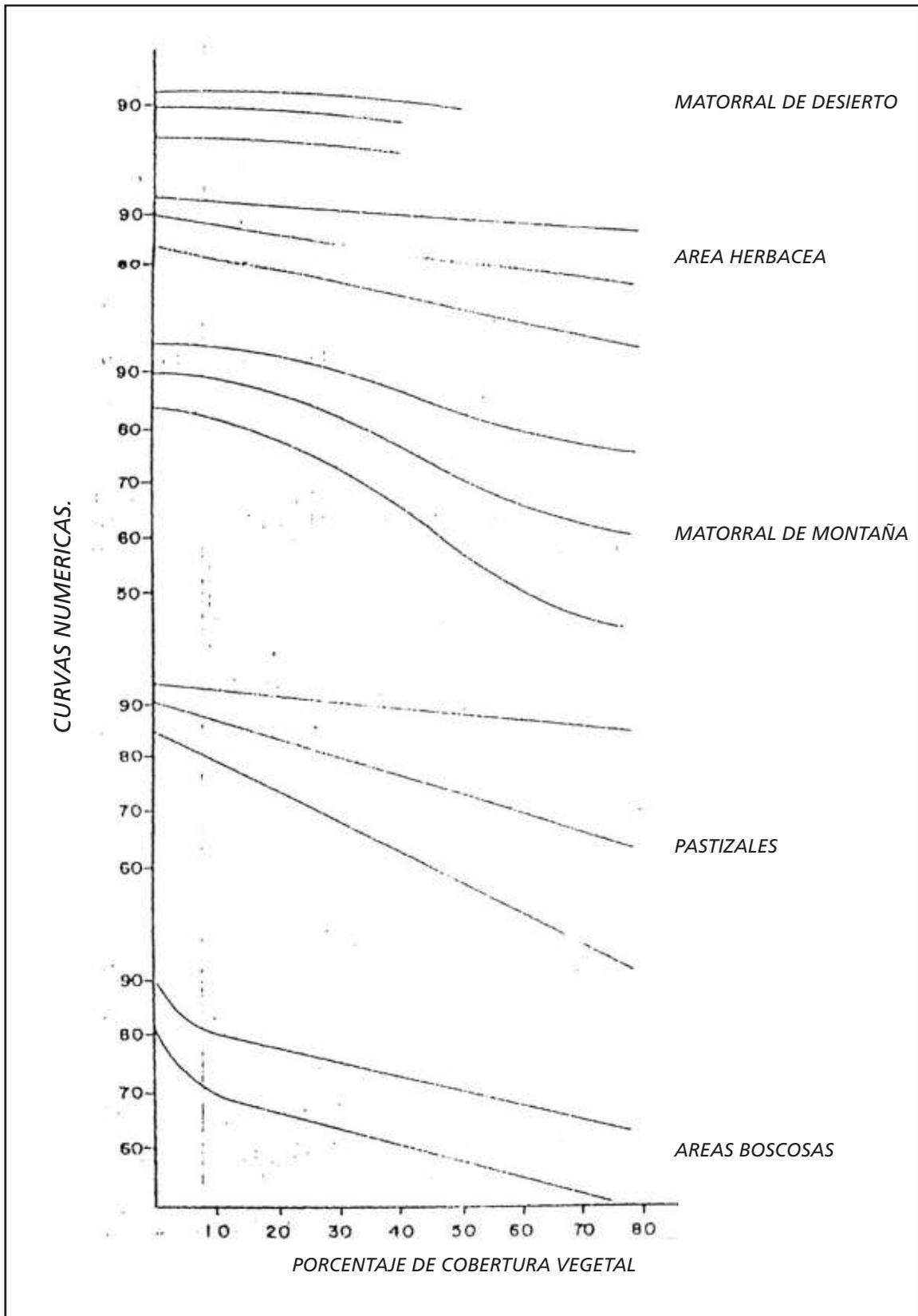


TABLA 2. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA PARA VARIOS USOS DEL SUELO

USO DEL SUELO	CONDICION HIDROLOGICA
Pastos Naturales	<p><i>Pastos con malas condiciones:</i> son dispersos, fuertemente pastoreados con menos de la mitad del área total con cobertura vegetal.</p> <p><i>Pastos con regulares condiciones:</i> están moderadamente pastoreados con la mitad o las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal.</p> <p><i>Pastos con buenas condiciones:</i> están ligeramente pastoreados y con más de las tres cuartas partes del área total, con cubierta vegetal.</p>
Áreas Boscosas	<p><i>Áreas con malas condiciones:</i> tienen árboles dispersos y fuertemente pastoreados sin crecimiento rastrero.</p> <p><i>Áreas con regulares condiciones:</i> están moderadamente pastoreadas y con algo de crecimiento.</p> <p><i>Áreas con buenas condiciones:</i> están densamente pobladas y sin pastorear.</p>
Pastizales Mejorados	<p><i>Pastizales con buenas condiciones:</i> están mezclados con leguminosas sujetas a un cuidadoso sistema de manejo de pastoreo.</p>
Rotación de Praderas	<p><i>Praderas con malas condiciones:</i> son áreas con material disperso, sobrepastoreado.</p> <p><i>Praderas con buenas condiciones:</i> son áreas densas, moderadamente pastoreadas, usadas en una bien planeada rotación de cultivos y praderas.</p>
Cultivos	<p><i>Áreas con malas condiciones:</i> son cultivos manejados como monocultivos.</p> <p><i>Áreas con buenas condiciones:</i> son cultivos que forman parte de una buena rotación de cultivos (cultivos de escarda, praderas y cultivos tupidos).</p>

El Escurrimiento Directo Medio Anual de una cuenca por unidad de superficie puede ser obtenido directamente usando las FIGURAS N° 3 y N° 4. La FIGURA 3 permite calcular el Escurrimiento Directo en mm. a partir de conocer la Precipitación en mm. y de escoger el valor de C.N. que varía de 20 a 100. La FIGURA N° 4 muestra la misma relación, pero para Precipitaciones mayores de 200 mm. y los mismos C.N.

g) Cálculo del Caudal Anual de cada Subcuenca (Qt) en Hm³/año

Se obtiene el Caudal Anual de cada Subcuenca (Qt) en Hm³/año, llevando el valor de Qm de cada una a la subcuenca correspondiente, multiplicando éste por el área de cada una respectivamente.

4.5. Estimación del escurrimiento directo total anual de la cuenca

De acuerdo a la metodología explicada, se estima el Escurrimiento Directo Medio Anual (Qm) en mm./año, para cada subcuenca y el Escurrimiento Directo Total Anual de la cuenca inferior del río Carcarañá:

a) Determinación del Grupo Hidrogeológico de los Suelos.

Se determina el Grupo Hidrogeológico del/los suelo/s predominante/s en cada Subcuenca, en base a las características hidrogeológicas de los mismos, TABLA N° 1:

Sub-cuenca I

Predominan los Argiudoles típicos con un potente Bt de textura franco arcillo-limoso-arcillo-limoso, (visible en la Serie Casilda, con 77 cm. de espesor). Este restringe la permeabilidad y provoca el planchado y densificación, dificultando la normal infiltración del agua de lluvia. Siguen en importancia los Argiudoles vérticos, que presentan textura arcillo – limosa a arcillosa en el Bt, impidiendo la infiltración.

Resumen: La subcuenca presenta una regular permeabilidad, debido al potente espesor del horizonte Bt.

Grupo hidrogeológico del suelo predominante: C

Sub-cuenca II

Los suelos Natracualfes típicos son los mas extendidos en esta cuenca con un drenaje natural imperfecto, debido

TABLA 3. CURVA NUMERICA (C.N.) USADA PARA ESTIMAR ESCORRENTIA BAJO DIFERENTES COMPLEJOS SUELO – COBERTURA Y MANEJO (DATOS PARA LA CONDICION DE HUMEDAD II, Y $I_a = 0.25$)

COBERTURA			GRUPO DE SUELOS			
USO DEL SUELO	TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICION HIDROLOGICA	A	B	C	D
			C.		N.	
SUELO EN DESCANSO	SURCOS RECTOS	MALA	77	86	91	94
CULTIVO DE ESCARDA	SURCOS RECTOS	MALA	71	81	88	91
	SURCOS RECTOS	BUENA	67	78	85	89
	CURVA DE NIVEL	MALA	70	79	84	88
	CURVA DE NIVEL	BUENA	65	75	82	86
	TERRAZA Y CURVA DE NIVEL	MALA	66	74	80	82
	TERRAZA Y CURVA DE NIVEL	BUENA	62	71	78	81
CULTIVOS TUPIDOS	SURCOS RECTOS	MALA	65	76	84	88
	SURCOS RECTOS	BUENA	63	75	83	87
	CURVA DE NIVEL	MALA	63	74	82	85
	CURVA DE NIVEL	BUENA	61	73	81	84
	TERRAZA Y CURVA DE NIVEL	MALA	61	72	79	82
	TERRAZA Y CURVA DE NIVEL	BUENA	59	70	78	81
LEGUMINOSAS EN HILERA O FORRAJE EN ROTACION	SURCOS RECTOS	MALA	66	77	85	85
	SURCOS RECTOS	BUENA	58	72	81	85
	CURVA DE NIVEL	MALA	64	75	83	85
	CURVA DE NIVEL	BUENA	55	69	78	83
	TERRAZA Y CURVA DE NIVEL	MALA	63	73	80	83
	TERRAZA Y CURVA DE NIVEL	BUENA	51	67	76	80
PASTIZALES	SIN TRATAMIENTO MECANICO	MALA	68	79	86	89
	SIN TRATAMIENTO MECANICO	REGULAR	49	69	79	84
	SIN TRATAMIENTO MECANICO	BUENA	39	61	74	80
	CURVA DE NIVEL	MALA	47	67	81	88
	CURVA DE NIVEL	REGULAR	25	59	75	83
	CURVA DE NIVEL	BUENA	6	35	70	79
PASTO DE CORTE		BUENA	30	58	71	78
BOSQUE		MALA	45	66	77	83
		REGULAR	36	60	73	79
		BUENA	25	55	70	77
CAMINOS DE TIERRA		BUENA	72	82	87	89
CAMINOS PAVIMENTADOS		BUENA	74	84	90	92

FIGURA 3. SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DE ESCURRIMIENTO CON P, Q Y S EN mm

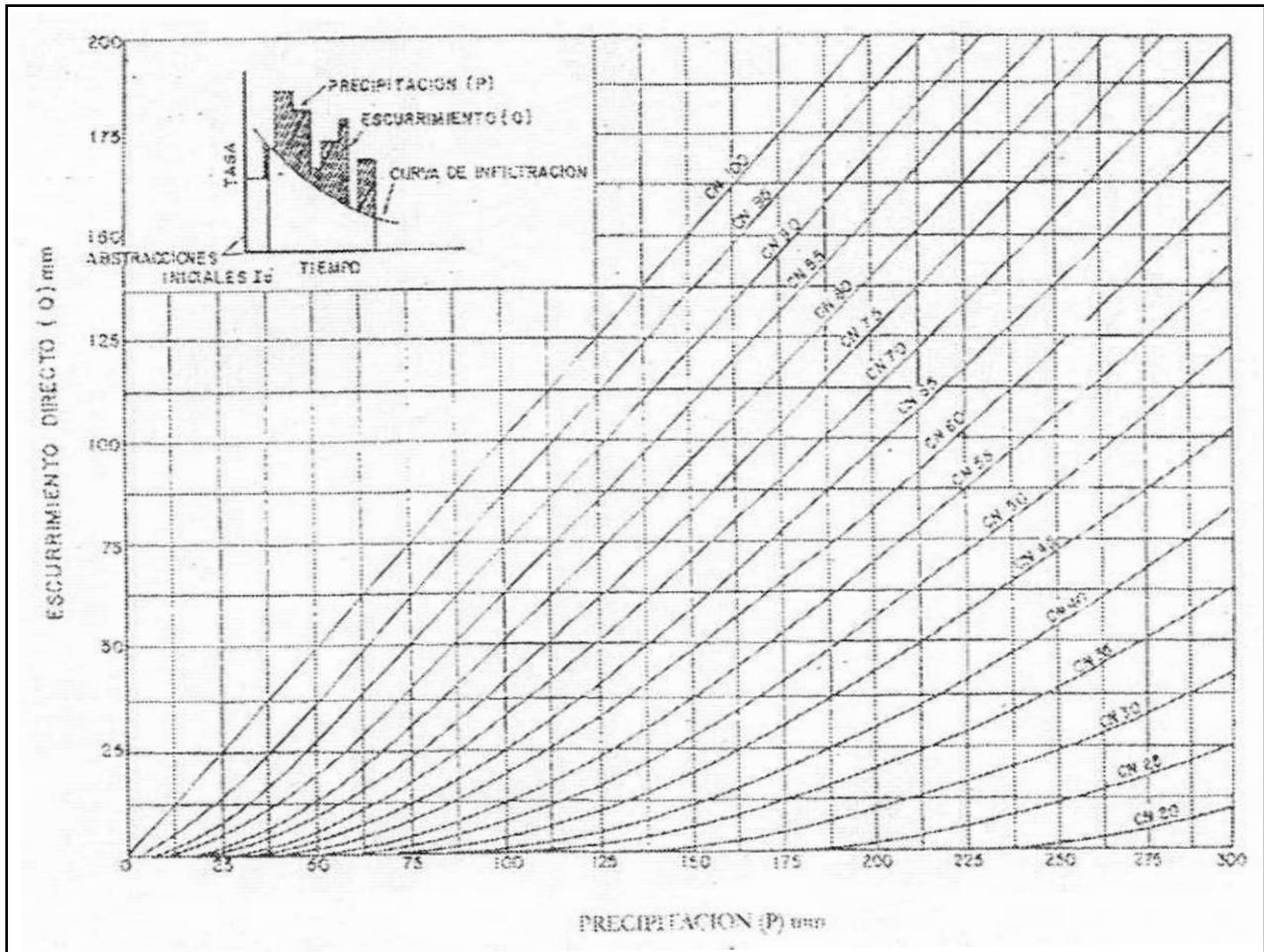


TABLA 4. CONDICION DE HUMEDAD ANTECEDENTE COMO FUNCION DE LA PRECIPITACION

CONDICION DE HUMEDAD ANTECEDENTE	PRECIPITACION ACUMULADA DE LOS CINCO DIAS PREVIOS AL EVENTO EN CONSIDERACION
I	0 – 12.7 mm.
II	12.7 - 38.1 mm.
III	> 38.1 mm.

a una capa freática fluctuante próxima a la superficie. Siguen en importancia los Argiustoles údicos, los Natralboles típicos, que se encuentra en franjas aledañas a los bajos extendidos, vías de escurrimiento permanentes y situaciones de precañadas, los Natracuoles típicos, cuyo horizonte nátrico aparece próximo a la superficie y es el factor responsable de su baja permeabilidad, los Hapludoles típicos, que a pesar de ser suelos profundos, bien drenados son de moderada permeabilidad y en menor porcentaje los Argiudoles ácuicos que presentan anegamiento en épocas de lluvia. El agua de la capa freática está a poca profundidad en la mayor parte del año y por el ascenso capilar muchos Natracuoles tienen alta concentración de sales y sodio

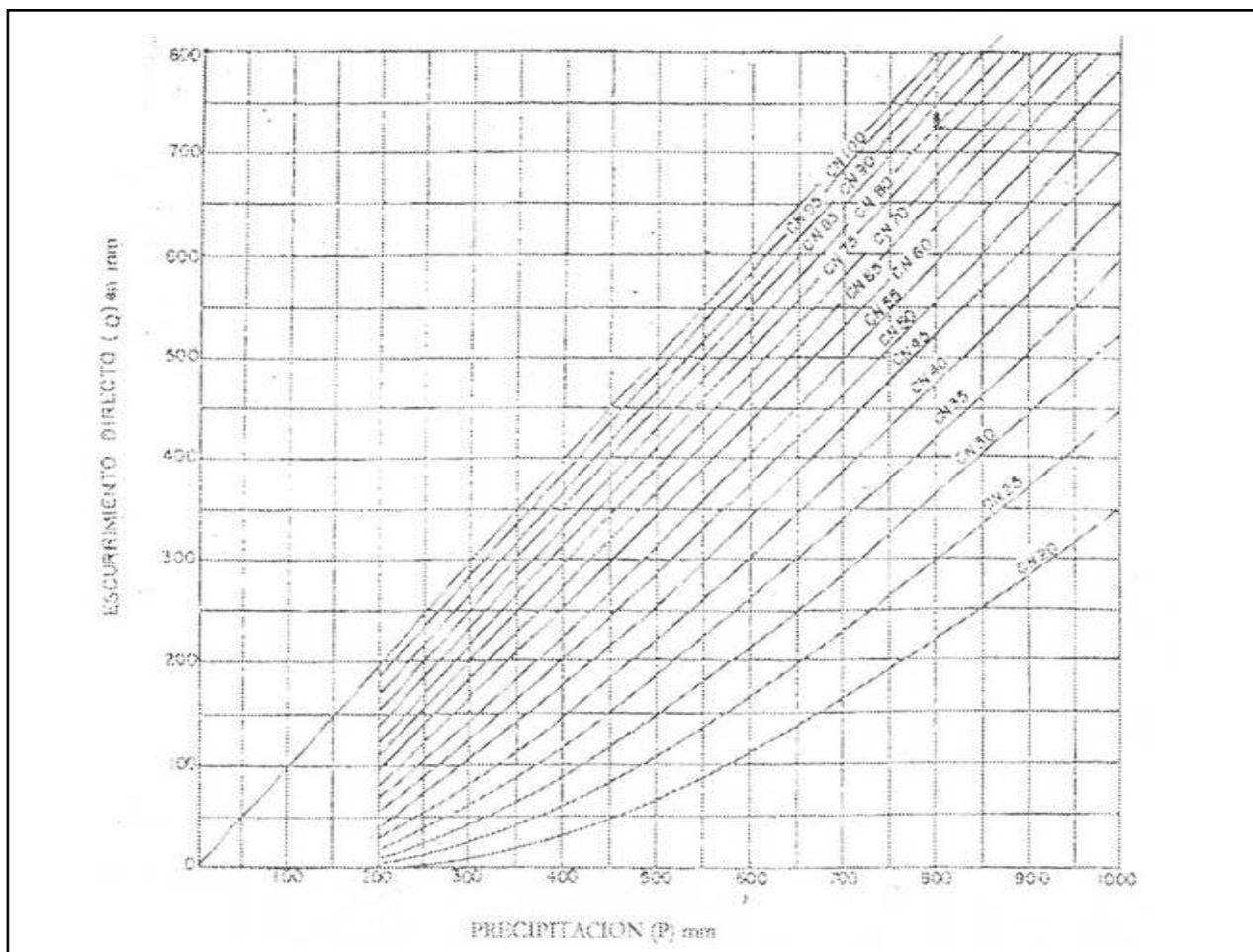
intercambiables en los primeros 50 cm. En toda la subcuena asociado a la presencia de sodio, se encuentran tenores variables de sales solubles y carbonatos de calcio en concreciones.

Resumen: La subcuena presenta una **baja permeabilidad**, debido a la presencia de un horizonte nátrico cercano a la superficie, con alta concentración de sales y sodio intercambiables en los primeros 50 cm.. Nivel freático cercano a la superficie y fluctuante a lo largo del año.

Grupos hidrogeológicos de los suelo predominantes: D y C

Sub-cuenca III

Los Argiudoles típicos son los suelos dominantes, con un

FIGURA 4. SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DE ESCURRIMIENTO CON P, Q Y S EN mm

Bt delgado, lo que permite una mayor infiltración.

Resumen: La subcuenca presenta una **alta permeabilidad** debido al horizonte Bt muy delgado.

Grupo hidrogeológico del suelo predominante: B

Sub-cuenca IV

Predominan los suelos Argiudoles típicos con una textura franco-limosa, que hacia la provincia de Córdoba, pasan a una textura franco-arenosa. Muy subordinados a aquellos, se presenta un grupo indiferenciado de suelos alcalinos y salinos, compuesto por Natralboles típicos, (en los sectores ligeramente más elevados y mejor drenados) y Natracualfes típicos, (en las áreas algo más deprimidas y peor drenadas). También están representados muy ligeramente los Hapludoles típicos y los Hapludoles thapto nátricos, que son suelos profundos, bien drenados, de permeabilidad moderada y que presentan una alcalinidad sodica a menos de 50 cm..

Resumen: La subcuenca presenta una **moderada permeabilidad** debido a la textura franco arenosa de sus suelos predominantes.

Hay presencia de sodio a menos de 50 cm..

Grupo hidrogeológico del suelo predominante: B Y C

b) Condiciones Hidrológicas de las Areas de Drenaje.

De las foto cartas a escala 1:50.000 del INTA, de los mosaicos fotográficos originales a 1:50.000 y de la Aptitud y Uso Actual de las Tierras Argentinas, (1986), con la actualización 1998, se determinan las Condiciones Hidrológicas y los usos del suelo.

b) 1 – Porcentajes atribuidos a cada actividad en cada subcuenca (TABLA N° 6)

b) 2 – Los cultivos, los bosques implantados y la mayoría de los pastizales naturales, (con ganado vacuno que no arranca el pasto), sobre suelos Argiudoles y Hapludoles, presentan una cobertura de mas del 75 %, lo que equivale, según lo expresado en el TABLA N° 1, a una **Buena Condición Hidrológica** (TABLA N° 7).

b) 3 – Los pastizales naturales y bosques implantados, sobre suelos Natracualfes, Natracuoles y Natralboles, tienen entre 50 y 75 % de cobertura, lo que equivale, según lo expresado en el TABLA N° 1, a una **Regular Condición Hidrológica**, (TABLA N° 7).

b) 4 – Los cultivos sobre suelos Natracualfes, Natracuoles y Natralboles, son generalmente monocultivos, con menos del 50 % de cobertura, lo que equivale, según lo expresado en el TABLA N° 1, a una **Mala Condición Hidrológica**, (TABLA N° 7).

c) Uso del Suelo – Curvas Numéricas (C.N.)

En base a las prácticas de cultivos y de tratamientos al suelo, se obtuvieron los valores de “Curvas Numéricas” (C.N.), para diferentes Condiciones Hidrogeológicas y Tipos de Suelos (TABLA N° 8).

C.H. = Condición Hidrogeológica

C.N. = Curva Numérica

d) Condición de Humedad Antecedente

d)1 - Para las Cuencas II, III y IV, la Condición de Humedad Antecedente, es la II y para la Cuenca I es la

TABLA 5. CURVAS NUMERICAS (C.N.) PARA CONDICIONES ANTECEDENTES DE HUMEDAD DEL SUELO HUMEDO (III) Y SECA (I) A PARTIR DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD INTERMEDIA (II)

C.N. PARA CONDICION II	C.N. PARA CONDICION I	C.N. PARA CONDICION III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

TABLA 6. PORCENTAJES ATRIBUIDOS A CADA ACTIVIDAD EN CADA SUBCUENCA

CUENCA	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)
Pastos naturales	25	30	20	30
Bosques implantados	7	5	5	5
Cultivos	61	58	73	50
Ciudades	7	7	2	15

TABLA 7. CUENCA - CONDICIÓN HIDROLÓGICA

CUENCA- CONDICION HIDROLOGICA	I		II		III		IV	
	(%)	C.H.	(%)	C.H.	(%)	C.H.	(%)	C.H.
Pastos naturales	25	B	30	R	20	B	30	R
Bosques implantados	7	B	5	R	5	B	5	B
Cultivos	61	B	58	M	73	B	50	B y M
Ciudades	7		7		2		15	

TABLA 8. CUENCA - GRUPO HIDROGEOLOGICO

CUENCA GRUPO HIDROGEOLOGICO	IC	C.H.	C.N.	II	C.H.	C.N.	III	C.H.	C.N.	IV	C.H.	C.N.
				DyC			B			ByC		
Pastos naturales (%)	25	B	84	30	R	86.5	20	B	61	30	B	61
Bosques implantados (%)	7	B	77	5	R	79	5	B	55	5	R	60
Cultivos (%)	61	B	90	58	M	90	73	B	75	50	B	67
Ciudades	7			7			2			15		

condición III, (TABLA N° 7).

d)2 – Se busca el nuevo valor de C.N. para la Cuenca I, a partir del TABLA N° 5 y por interpolación, (TABLA N° 9).

e) Cálculo de la Retención Máxima Potencial (S)

En base a los valores de las Curvas Numéricas (C.N.), se obtienen los valores de la Retención Máxima Potencial (S), para cada zona, (TABLA N° 10).

f) Cálculo del Escurrimiento Directo Medio Anual (Qm) en mm./año

Con los valores de la Retención Máxima Potencial (S) y la Precipitación del Evento (P), (promedio anual de cada zona), por medio de ponderación, se obtiene el Escurrimiento Medio Directo Anual (Qm), para cada subcuenca (TABLA N° 11).

g) Cálculo del Caudal Anual de cada subcuenca (Qt) en Hm3/año

Se calcula el Caudal Anual de cada subcuenca, (Qt) en Hm3/año, multiplicando el valor de Qm de cada una a la subcuenca correspondientes, por el área de cada una respectivamente, (TABLA N° 11).

Cuenca I = 64.9 mm./año escurrido

Cuenca II = 39.6 "

Cuenca III = 15.2 "

Cuenca IV = 8.5 "

Cuenca Completa = 128.2 mm./año = 2226.65 Hm3/año

B) Los valores de escurrimiento, en mm./año, obtenidos a partir de valores de escorrentía superficial aforados en Pueblo Andino, 1980/94, (Estadística Hidrológica, 1994), son los siguientes:

Cuenca Completa = 138.8 mm./año = 2410.76 Hm3/año

C) Se puede comprobar que el valor aforado, (con datos de la Estadística Hidrológica, 1994), y el obtenido mediante el método aplicado, (Martínez Menez, 1990), arrojan valores muy similares, lo que da validez al mismo, (FRESINA, M. E., M. E. FORZINETTI Y A. SILVA BUSSO, 1995).

4.6. Datos comparativos de escurrimiento

A) Los valores de escurrimiento, en mm./año, obtenidos a partir del cálculo de la escorrentía superficial, mediante el método de Martínez Menez op. cit., son los siguientes:

TABLA 9. NUEVA CURVA NUMÉRICA

C.N. PARA CONDICION II	C.N. PARA CONDICION III
84	93
77	89.5
90	96

TABLA 10. RETENCIÓN MÁXIMA POTENCIAL

CUENCA	C. N.	S
I	93	20
	89.5	30
	96	10
II	86.5	40
	79	67.5
	90	28
III	61	162.40
	55	207.82
	75	84.67
IV	61	162,39
	60	169,33
	67	125

TABLA 11. ESCURRIMIENTO DIRECTO MEDIO ANUAL (Qm) EN mm/año Y CAUDAL ANUAL (Qt) EN Hm3/año

CUENCA	AREA (Km. ²)	P (mm.)	S	Q (mm.)	Qm (mm./año)	Qt QmxA (Hm ³)
I	3672.9	84.47	20	64.4	64.9	238.4
			30	56.7		
			10	73.5		
II	7657.5	74.34	40	41.3	39.6	303.8
			67.5	28.8		
			28	48.8		
III	2704.49	74.34	162.40	8.6	15.2	32.4
			207.82	4.4		
			84.67	23.2		
IV	3333,70	70.40	162.39	8.5	8.5	28.3
			169.33	7.18		
			125	12.0		

5. CONCLUSIONES

- Hacia el E, los suelos son menos permeables, mas pobremente drenados y tienen menos cantidad de materia orgánica.
- En profundidad, el horizonte Bt de baja permeabilidad, en la cuenca se acentúa en la dirección sudoeste a noreste, disminuye en gran medida la capacidad de captación y almacenaje de agua útil, pero esto no influye sobre los valores de infiltración, los que aumentan aproximadamente en ese sentido.
- La **Sub-cuenca 1**, posee suelos de permeabilidad moderada, la **Sub-cuenca 2**, posee suelos de permeabilidad baja, la **Sub-cuenca 3**, suelos de permeabilidad alta y la **Sub-cuenca 4** suelos de permeabilidad regular.
- Cuanto mayor es la pendiente, mayor es el escurrimiento superficial.
- La permeabilidad del suelo con la densidad de drenaje, la recarga y el área, está en relación inversa.
- La **Sub-cuenca 1**, posee una Condiciones Hidrológicas Buena, la **Sub-cuenca 2**, posee una Condiciones Hidrológicas Regular a Mala, la **Sub-cuenca 3**, tiene una Condiciones Hidrológicas Buena y la **Sub-cuenca 4**

posee una Condiciones Hidrológicas Buena a Regular y Mala.

- La Condiciones Hidrológicas del Area de Drenaje es un indicador de la cubierta vegetal y su variación depende de la densidad de la cobertura.

- Mayor Condiciones Hidrológicas, indica mayor densidad de cobertura vegetal y menor permeabilidad.

-En un 55.9 % de la región, la mayor infiltración, coincide con los sectores de mayor pendiente y mayor escurrimiento superficial.

- La aplicación de la metodología propuesta, permitió calcular el escurrimiento medio, el escurrimiento máximo instantáneo y el volumen total escurrido por evento, de la cuenca a partir de datos de precipitación y características de los suelos.

- La ventaja de este método es poder predecir el escurrimiento basado en datos de precipitación y características de los suelos, donde no existan aforos de corrientes o datos hidrométricos.

6. AGRADECIMIENTOS

La autora agradece las críticas, aportes y sugerencias realizadas por el Dr Jorge N. Santa Cruz.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ALBERT, O. A., 1980. La Cuenca del Arroyo Frias. Instituto de Fisiografía y Geología Dr. Alfredo Castellanos. Fac. de Cs. Ext. e Ing. de la Univ. Nac. de Rosario, Rosario: 317 - 332.

ALBERT, O. A., 1983. Erosión hídrica por acción antrópica. Actas del Coloquio sobre Hidrología de las Grandes Llanuras. Conaphi-Unesco, Olavarría, I: 101 - 117.

ATLAS DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA, 1990. Inst. Nac. de Técn. Agrop. Centro de Inv. de Rec. Nat, Bs.As., I.

BONFILIS, C. G., 1972. Suelos de la cuenca lechera de Rosario. Cons. Fed. de Inv. Univ. Nac. de Rosario. Rosario.

BONFILIS, C. G., 1981. Suelos del centro-sur de la provincia de Santa Fé. Estudios de la geografía de la provincia de Santa Fé. Soc. Arg. de Est. Geog. Serie especial (9): GAEA, Bs. As.: 171 - 197.

CABRERA, A. L., 1971. Fitogeografía de la República Argentina. Bol. de la Soc. Arg. de Botánica, Bs. As., 14 (1-2): 24 - 26.

CANOBA, C. A., 1981. Interpretación visual con imágenes MSS LANDSAT aplicadas a un sector del territorio santafecino. Estudios de la geografía de la provincia de Santa Fé. Soc. Arg. de Est. Geog. Serie especial (9): GAEA, Bs. As.: 49 - 58.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES, 1962. Recursos hídricos subterráneos. Serie : Evolución de los Recursos Naturales de la Argentina, Bs. As. V (1-2): 125 - 127 y 707 - 751.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES, 1969. Los recursos hidráulicos de la Argentina. Comisión Econ. para la Amér. Latina. Bs. As.: 205 - 207.

DAVIS, S. N., 1969. Porosity and permeability of natural materials. Flow through porous media. Ed. R. N. M. De Wiest. Academic Press, New York: 53 - 89.

ETCHICHURY, M.C. y M.E. FRESINA, 1993. Porosidad y permeabilidad de arenas puelchenses de San Lorenzo, Povia de Santa Fé, estimados a partir de su granulometría y selección. Actas de la Asoc. Arg. de Geol. Aplic. a la Ingen. Bs. As. VII: 185 - 198.

FILI, M. F. y O. C. TUJCHNEIDER, 1977. Características geohidrológicas regionales del subsuelo de la provincia de Santa Fé (Argentina). Rev. Asoc. Cien. Nat., Litoral, Santa Fe 8: 105 - 113.

FILI, M. F., 1983. Ground water in water resources planning. Proceed. of on inter. simp. conv. by UNESCO in coop. with the Nat. Comt. of there Fed. Rep. of Germ. for the Inter. hidrol. progr., Koblenz, Federal Republic of Germany: 95 - 101.

- FRESINA, M. E., M. E. FORZINETTI Y A. SILVA BUSSO, 1995. Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad del acuífero libre en el Area Hidrogeológica del Salado. Provincia de Santa Fe. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Volumen IX. Pag.: 214-224.
- FRESINA, M.E., A., SILVA Y J. N. SANTA CRUZ, 2001. Análisis de factores concurrentes a la protección del agua subterránea en la cuenca inferior del río Carcarañá, Argentina. "6" Even. Nac. de Hidro. Pinar del Río. Cuba. Exposición oral.
- FRESINA, M. E., 2002. Comportamiento Hidrogeológico – Hidroquímico del acuífero pampeano en la cuenca inferior del río Carcarañá. Pcia de Santa Fé. Tesis Doctoral, F.C.E. y N., U.B.A.. Inédito.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA, 1979,1985,1986,1988,1988. Cartas de Suelos de la República Argentina: Hoja 3363-18, Armstrong; Hoja 3360-19, Casilda; Hoja 3360-7 y 8, Totoras y Serodino; Hoja 3363-24, Cruz Alta; Hoja 3360-13 y 14, Cañada de Gómez y Rosario y la Hoja 3363-17, Marco Juárez. Minist. de Agric. y Ganad., Buenos Aires,: 77, 88, 143, 174, 197.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA, 1981. Mapa de suelos de la provincia de Santa Fé. Minist. de Agric. y Ganad., Santa Fé, Tomo I: 246.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA, 1986. Aptitud y uso actual de las tierras argentinas. Sec. de Agric., Ganad., Pesc, y Alim. Minis. de Econom. y Obr. y Serv. Públ.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA, 1998. Actualización 1998. Sec. de Agric., Ganad., Pesc, y Alim. Minis. de Econom. y Obr. y Serv. Públ.
- IRIONDO, M. H., 1972. Geomorfología cuantitativa de las cabeceras del río Carcarañá. V Cong. Gológ. Arg., Córd.:139-147.
- IRIONDO, M. H., 1987. Geomorfología y Cuaternario de la provincia de Santa Fé. Serie D'Orbignyana, Corrientes, 4: 54.
- IRIONDO, M. H., 1990. Relación longitudinal de onda/caudal en los ríos chaco - pampeanos. Tercera Reunión Argentina de Sedimentología, Entre Ríos, Actas: 145 - 150.
- KREIMER, R., 1968. Descripción hidrogeológica de la zona de Arias, Venado Tuerto y Colón, Provincias de Córdoba, Santa Fé y Buenos Aires. Direc. Nac. de Min., Bs. As. Bol. 116: 5 - 50.
- KREIMER, R., 1969. Descripción hidrogeológica de la zona de Firmat, Casilda y Cañada de Gómez,(Prov. de Santa Fé). Dir. Nac. de Minería, Bs. As., Bol. 117: 9 - 33.
- KREIMER, R., 1969. Descripción hidrogeológica de la zona de Rosario, Villa Constitución y San Nicolás, provincias de Bs. As. y Santa Fé. Direc. Nac. de Geol. y Min., Bs. As., carpeta 701.
- MARTINEZ MENEZ, M. R., 1990. Estimación de escurrimientos en cuencas pequeñas. Dto de suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México: 33.
- MUSKAT, M. 1946. The flow of homogeneous fluids through porous media. J.W.Edwards. Inc., A. Habour, Michigan: 736.
- OLIVARES, O., 1989. Análisis topológico aplicado a redes fluviales. Tratamiento elemental a un caso particular. Análisis Geográfico. Rev. de Geogrsf. Empírica, Bs As: 3-33.
- OLIVARES, O., 1990. Morfometría fluvial comparada. Análisis Geográfico. Rev. de Geogrsf. Empírica, Bs As: 3-49.
- PASOTTI, P. y A. CASTELLANOS, 1963. El relieve de la Llanura santafecino-cordobesa, comprendida entre los paralelos 32o y 33o 30' y desde 62o 45' W hasta el río Paraná. Inst. de Fisiog. y Geol., Univ. Nac. del Litoral, Rosario, Publ. XLVII: 5 - 79.
- PASOTTI, P., 1979. Estudio de la Llanura Pampeana con imágenes Landsat. Inst. de Fisiog. y Geol. Univ. Nac. de Rosario, Rosario, Publ. LVIII: 5 - 27.
- PASOTTI, P.,O. ALBERT y C. A. CANOBA, 1981. La Cuenca del Arroyo Ludueña. Inst. de Fisiog. y Geol., Univ. Nac. de Rosario, Serie A, 11 Rosario,: 3 - 19.
- RACCA, J. M. G., 1980. Geomorfología cuantitativa de la cuenca del arroyo San Lorenzo (Sta.Fé.), y su relación con la neotectónica. Instituto de Fisiografía y Geología " Dr. Alfredo Castellanos". Fac. de Cs. Ext. e Ing. Univ. Nac. de Rosario, Rosario : 293 - 316.
- REMENIERAS, G., 1974. Tratado de hidrología aplicada. Ed. Técnica Asoc. SS, Barcelona: 515.

- REINOSO, M. S. y S. L. MIRRE, 1969. Suelo y loess. Sus relaciones genéticas a través del estudio de los minerales de arcillas. *Rev. de la Asoc. Geol. Arg., Bs. As.*, 24(3): 211 - 222.
- RUIZ HUIDOBRO, O. J. y M. V. J. SOSIC., 1980. Aguas subterráneas. Apartado de "Geología Regional Argentina". *Acad. Nac. de Ciencias, Córdoba*, II: 1641 - 1691.
- RUSSO, A., R. FERRELLO y G. CHEBLI., 1979. Llanura Chaco-Pampeana. 2do. Simp. de Geol. Reg. Arg. Acad. Nac. de Cienc., Córdoba, I: 139 - 183.
- SALA, J. M., 1969. El agua subterránea en el nordeste de la prov. de Bs.As. Reunión sobre la geología del agua subterránea de la Provincia de Buenos Aires. *Com. de Inv. Cient. de Bs.As., La Plata*: 25 - 49.
- SALA, J. M., C. C. CAVALIE, M. F. FILI y J. F. MAANDEL, 1973. Algunas consideraciones geohidrológicas sobre la factibilidad de drenar subterráneamente el agua de la zona inundada. *DYMAS CFI - PBA, La Plata*: 1 - 20 (inédito).
- SALA, J. M., 1975. Recursos hídricos (Especial mención de las aguas subterráneas). VI Congr. Geol. Arg., Relatorio, Bahía Blanca: 169 - 193.
- SALA, J. M., 1981. Geología en áreas de Llanura con énfasis en hidrogeología. Comité de cuencas hídricas del área del Gran Rosario. *Estudios de la geografía de la provincia de Santa Fé. Soc. Arg. de Est. Geog. Serie especial (9), G.A.E.A., Bs. As.*
- YRIGOYEN, M. R., 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. VI Congr. Geol. Arg., Relatorio, Bahía Blanca: 139 - 150



EVALUACIÓN DEL DETERIORO POTENCIAL DE ROCAS ORNAMENTALES

Alicia Karlsson⁽¹⁾, Rosa Ayala, Lylian Mansilla y Raúl Paredes

Resumen

El deterioro potencial de mármoles y travertinos es evaluado por medio de un método estadístico mineral. Este método ha sido fundamentado en la categorización de las características mineralógicas. Estas características han sido seleccionadas según influyan en la alterabilidad de las placas ornamentales. Las rocas Argentinas que han sido estudiadas son Blanco Serrano, Gris Platino y Travertino Las Lajas. Las rocas Italianas son Bianco Carrara, Rosso Verona, Botticcino Classico y Verde Alpi Chiaro. Las rocas de Chile son Travertino Cedolin, Travertino Calama, Broncetto Nacional y Madera Cedolin. Crema Marfil proviene de España. Las propiedades que han sido cuantificadas son: porcentajes mineral, microfracturas y tipo de borde de grano. El estudio petrográfico ha sido realizado en cortes delgados y por medio de microscopio con luz polarizada. Como conclusión ha sido posible agrupar las rocas estudiadas en tres conjuntos. Las rocas que han presentado alta resistencia para uso ornamental han mostrado homogeneidad mineralógica y uniformidad en el tamaño de grano. Un segundo grupo ha mostrado no ser apto para recubrimientos de pisos. Las rocas de este grupo han presentado dos tamaños de granos y más de una especie mineral. El tercer grupo de rocas solo son aptas para revestimientos interiores. Estas rocas han mostrado variedad en los tamaños de granos y de especies minerales.

PALABRAS CLAVES: Rocas aplicación, Evaluación deterioro.

Abstract

The potential deterioration of marbles and travertine are evaluated by means of a mineral statistical method. This method has been based in the categorization of the mineralogical characteristic. These characteristics have been selected as they influence in the degradation of the ornamental plates. The Argentinean rocks that have been studied are Blanco Serrano, Gris Platino and Travertino Las Lajas. The Italian ones are Bianco Carrara, Rosso Verona, Botticcino Classico and Verde Alpi Chiaro. The Chili rocks are Travertino Cedolin, Travertino Calama, Broncetto Nacional y Madera Cedolin. Crema Marfil comes from Spain. The properties that have been quantified are: mineral percentage, micro fracture and grain border type. The petrographical study has been

carried out by means of light polarized microscope. Such as conclusion it has been possible to assemble the studied rocks in three groups. The rocks with high resistance for ornamental use have shown homogeneous mineralogy and grain size standardizes. A second rock group is not useful as floor plates. The rocks of this group have presented two sizes of grains and mineral variety. The third group of rocks only serves as interior coatings. These rocks have shown variety in the sizes of grains and mineral species.

1. INTRODUCCION

Se plantea un método mineralógico estadístico a fin de evaluar el deterioro potencial de placas de mármoles y travertinos nacionales y extranjeros. El método se basa en la evaluación de las características mineralógicas que más influyen en la alterabilidad de las placas ornamentales. El término mármol en sentido comercial se aplica a las rocas de composición carbonáticas (cuya

Entregado: 31 de Julio de 2005 • Aceptado: 26 de Agosto de 2005

⁽¹⁾e-mail: karlsson@arnet.com.ar

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. Estas rocas en estudio se evalúan desde la óptica de la piedra ornamental (Alcalá 1991). La nominación o tipificación mineral las rocas carbonáticas estudiadas deriva de la armonización de una o más de sus características, la primera 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 mármoles Argentinos estudiados son : Blanco Serrano, Gris Platino y el Travertino Las Lajas. Las siguientes placas de mármol estudiadas provienen de Italia: Bianco Carrara, Rosso Verona, Botticino Classico y Verde Alpi Chiaro. Travertino Cedolin, Travertino Calama, Broncetto Nacional y Madera Cedolin provienen de Chile, a demás el mármol Crema Marfil que proviene de España.

Los mármoles ornamentales son largamente utilizados, 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, EN de Europa, A.S.T.M. de EE.UU. e I.R.A.M. en la Argentina. No se consideran hasta el momento ensayos normalizados que cuantifique la potencialidad de alteración de las rocas, frente a diferentes microambientes químicos a que puedan ser sometidas en su función ornamental.

En este trabajo se aplica un método desarrollado por (Karlsson et al. 1996) que se basa en la influencia de los parámetros petrográficos sobre las propiedades geotécnicas, tema estudiado recientemente por (Jeng et al. 2004). La durabilidad de los mármoles destinados a recubrimientos externos, esta íntimamente relacionado con el aporte antropogénico a la atmósfera. Ya que este crea compuestos orgánicos e inorgánicos en forma de gases, aerosoles y partículas orgánicas que se depositan en la superficie de los mismos, (Arnold 1993), (Urzi et al. 1987) y (Friedmann 1984). Así también la bioreceptividad depende de la composición mineral y textura pétreas, mientras que la intensidad de la contaminación microbiológica esta determinada por la eutrofización atmosférica. Igualmente los microporos y la humedad aceleran la formación de películas de recubrimientos, estos generan la alteración del color y brillo a demás de que estas películas causan presiones en las grietas secundarias por crecimientos cristalinos, (Warscheida et al. 2000). Estos procesos varían los valores de microambientes químico en la superficie rocosa hasta pH 4, lo que produce una alteración mineral diferenciada en las placas pétreas. 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). Debido a ello 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).

2. METODO

A fin de diseñar una categorización de la potencialidad de alteración química, se tiene en cuenta 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, analizados en un microscopio de polarización (Leica 810 POL). La cuantificación de las características planteadas se realiza 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, igualmente 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. A fin de categorizar la alteración de las especies minerales nos basamos en (Karlsson et al., 1996).

TABLA 1. 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

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 1).

Una vez descriptos y evaluados estos parámetros de alteración mineral según la (tabla 2) se procede a aplicar los siguientes cálculos estadísticos: a) Determinados los

valores correspondientes a las características internas, se procede a sumar los índices correspondientes a cada especie mineral, es decir (a+b+c+d+e). b) Aplicando el factor correspondiente a la estabilidad de cada especie mineral según el pH a que será sometido (VA)pHx obtenemos el índice $NpHx = (VA)pHx (a+b+c+d+e)$. c) los índices de alterabilidad potencial para cada roca se genera de la sumatoria de los $NpHx$. Así los índice de alterabilidad potencial de la roca sometida a microambientes determinado esta expresado por $IAPpHx = \sum NpHx$, presentando, a modo de ejemplo, el cálculo desarrollado sobre una de las rocas consideradas en la (tabla 3).

TABLA 2. Guía de Clasificación para la Caracterización Química.

	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 3. Índice de Alterabilidad Potencial.

Roca	Categorización Química					NpHx		
	a	b	c	d	e	NpH4	NpH6	NpH8
Verde Alpe								
Antigorita	3	3	3	2	2	48	24	35
Dolomita	1	2	1	1	2	28	7	21
IAPpHx						76	31	57

3. RESULTADOS

Las rocas denominadas Madera Cedolín y mármol Broncetto Nacional provienen de la comuna de Chancoquín, provincia de Vallenar, Chile. La primera se extrae del yacimiento Cedolín en la quebrada de Las Pircas, desde el punto de vista pétreo corresponde a una toba consolidada. Su aspecto macroscópico es de una roca áspera con bandeo pardo amarillento. Al microscopio presenta textura hipocristalina eutaxítica (bandeo fluidal) xenomórfica. Mineralógicamente se detectaron vidrio volcánico, olivino y lititos volcánicos de variada petrología.

El mármol Broncetto Nacional proviene del yacimiento Chancoquín, su aspecto macroscópico es similar al Bronzetto di Verona, generando placas de un color pardo claro homogéneo con alto brillo por pulido. Microscópicamente se determinó como una caliza de precipitación química con microfósiles. Esta presenta carbonatos criptocristalinos de tamaño uniforme con microporos de 100 a 50 μm distribuidos en toda la masa, recubiertos por películas de ópalo. Se observan microfracturas sin orientación preferencial y microfósiles reemplazados por aragonita mayoritariamente.

El Travertino Cedolín (Fig. 5) proviene del yacimiento Carmen, de la comuna de Calama sita en la provincia homónima de Chile. Se corresponde petrologicamente con una caliza oolítica, que presenta calcita

criptocristalina de hábito anhedral y en menor proporción carbonato recristalizado (Fig.6), formado por agregados en mosaico, relleno de grietas. También se observan oolitos, fragmentos de fósiles y granos detríticos de calcita y ópalo. Presenta un 21% de macroporos.

Las placas de Travertino Calama provienen del yacimiento Opache, comuna de Calama sita en la provincia homónima de Chile. Macroscópicamente placas del mismo, muestran brillo intenso (Fig. 7) y color pardo mediano, en donde se destacan restos de conchillas de varios centímetros de largo. Se determinó al microscopio una caliza orgánica que presenta carbonato criptocristalino y recristalizado, de tamaño de grano mediano, acompañado de ópalo. Se observan fósiles de forma redondeada (Fig. 8) con estructuras irregulares. Los poros se presentan en un 28%, de variadas dimensiones.

Los mármoles Argentinos, Blanco Serrano y Gris Platino, provienen de los yacimientos de los Gigantes, provincia de Córdoba y el Travertino Las Lajas viene de la provincia de San Juan. El mármol Blanco Serrano macroscópicamente es una roca de color gris perla claro, con estructura nebulítica en zonas y de granulometría muy fina. Microscópicamente muestra ser una caliza metamórfica con estructura holocristalina compacta formada por calcita mayoritariamente acompañada por dolomita, cuarzo y tremolita.

FIGURA 1. Macrofoto del mármol Rosso Verona.



FIGURA 2. Microfoto del mármol Rosso Verona.

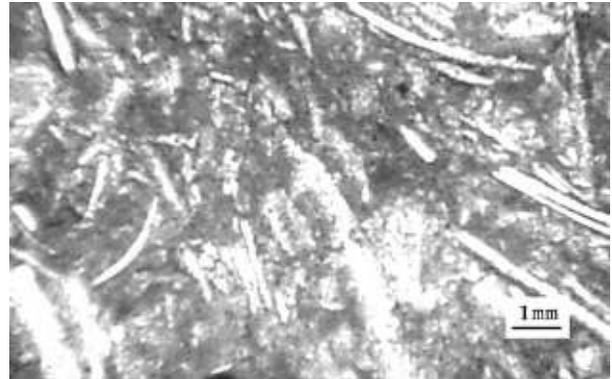


FIGURA 3. Macrofoto del mármol Verde Alpi Chiaro.

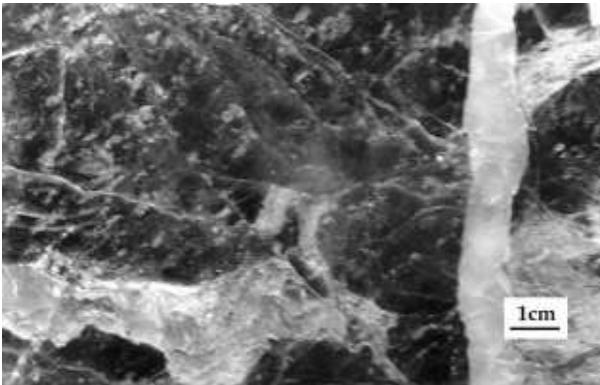


FIGURA 4. Microfoto del mármol Verde Alpi Chiaro.

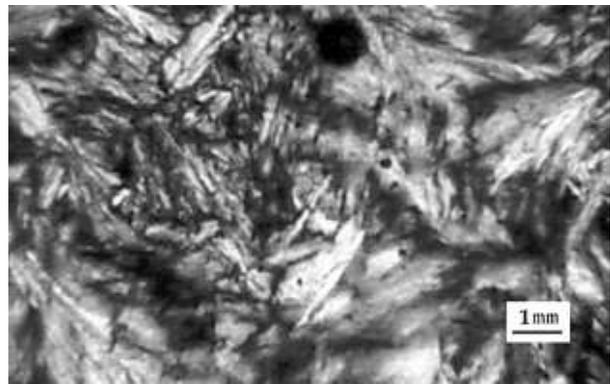


FIGURA 5. Macrofoto del Travertino Cedolin.

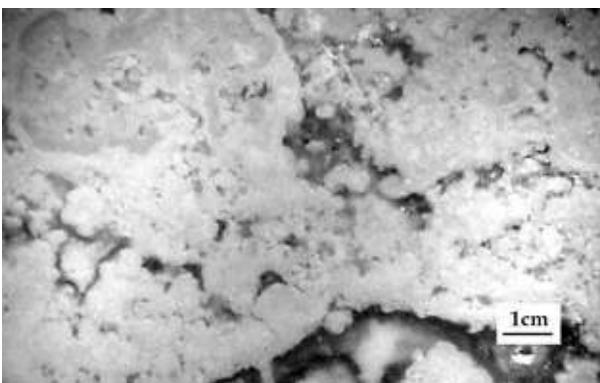


FIGURA 6. Microfoto del Travertino Cedolin.

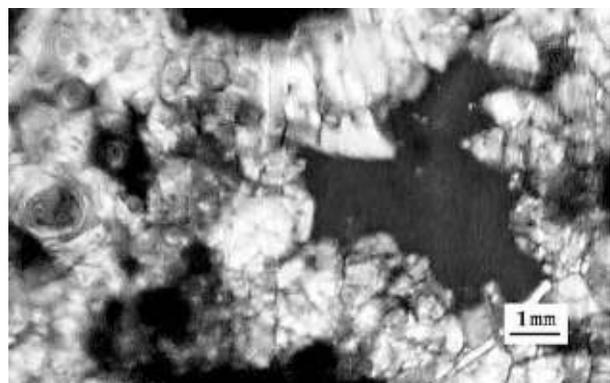


FIGURA 7. Macrofoto del Travertino Calama.

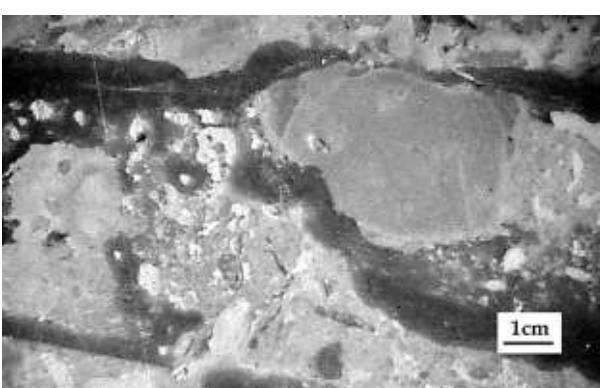
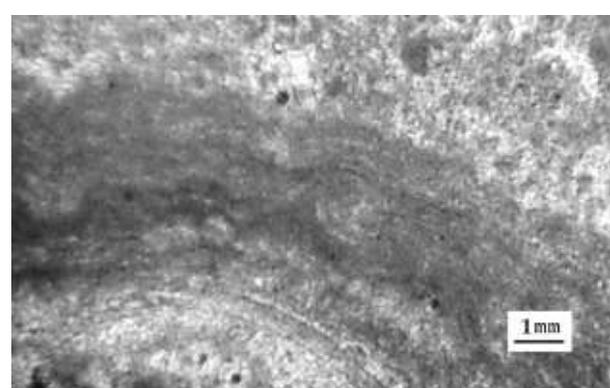


FIGURA 8. Microfoto del Travertino Calama.



El mármol Gris Platino es una roca de tonalidad blanca tiza de textura sacaroidea. Al microscopio esta dolomía calcárea muestra una estructura holocristalina muy compacta con nubes y bandas heterogéneas gris oscura. El Travertino Las Lajas se corresponde petrologicamente con una caliza de precipitación química. Al microscopio muestra una estructura uniforme y sin fósiles con grietas rellenas de carbonato recristalizado. Los poros son de 200 a 100 μm , distribuidos homogéneamente.

Las rocas de origen italiano estudiados en este trabajo corresponden a las más utilizadas en el mundo, como son el Bianco Carrara, Botticino clásico, Rosso Verona y Verde Alpi Chiaro. Las placas de Bianco Carrara se extrae de la provincia de Massa-Carrara en la región de la Toscana, macroscópicamente es una roca de color gris claro con finas estructura nebulítica gris perla y granulometría muy fina. Al microscopio se presenta como un mármol de recristalización metamórfico con granos de carbonato equigranular de tamaño mediano, con maclas polisintéticas, exfoliación romboédrica y bordes en sutura.

Las placas de Botticino Classico son explotadas en la comuna de Botticino de la provincia de Brescia, en la región de Lombardia. La masa de las placas es pardo claro rosado con bandas subparalelas y nubes heterogéneas de tomo más oscuro. Esta caliza oolítica al microscopio se muestra formada por agregados

esferulíticos de calcita con granos de recristalización relleno de grietas y poros.

El marmol Rosso Verona proviene de San Ambrogio di Valpolicella, Verona, región del Veneto. Es una caliza orgánica (amonítica) que da placas de tonos coralino no uniforme (Fig. 1). Al microscopio denota estar formada por restos de conchillas de amonites con fracturas rellenas de carbonato de calcio y coloides férricos (Fig. 2). Los poros son elongados y se disponen a lo largo de microfrazuras, estas así mismo están invadidas por dichos coloides férricos que le dan el tono rosado-rojizo. El mármol Verde Alpi Chiaro estudiado, proviene de Verrages, Aosta, de la región del Valle d'Aosta. Es una roca con zonas verde oscuro y textura fibrosa, atravesadas por gruesas bandas blancas (Fig. 3), al microscopio se determinó como brecha tectónica donde prevalece antigorita (Fig. 4) con subordinación de tremolita, magnecita, diopsido, clorita y espinelo cromífero rojo oscuro.

Por ultimo se describió uno de los mármoles de más antigua explotación, como es el Crema Marfil, que proviene de la Cantera Navadie de Novelda sita en la región de Alicante, España. Corresponde a una caliza orgánica conformada por oolitos cálcicos y restos de fósiles distribuidos irregularmente. Al microscopio se observan grietas rellenas con calcita recristalizada y un 8% de microporos.

TABLA 4. Características Microscópicas y Categorización de Uso.

Nombre Comercial	Textura	Minerales		Pisos	Revestimientos	
		Principales	Acesorios		Interior	Exterior
1° Categoría						
Bianco Carrara	Granoblástica equigranular	Calcita		32	8	24
Blanco Serrano	Granoblástica	Calcita, dolomita.	Cuarzo, tremolita.	36	9	27
2° Categoría						
Broncetto Nacional	Criptocristalina xenomórfica	Aragonita	Calcita, opalo	48	12	36
Travertino Las Lajas	Criptocristalina xenomórfica	Aragonita	Calcita, opalo	52	13	39
Gris Platino	Granoblástica fina	Calcita, dolomita	Biotita, cuarzo.	57	19	38
3° Categoría						
Rosso Verona	Criptocristalina xenomórfica	Calcita	Dolomita Coloides férricos	44	11	33
Botticino Classico	Criptocristalina xenomórfica	Calcita	Aragonita	68	17	51
Crema Marfil	Criptocristalina xenomórfica	Calcita	Aragonita	72	18	54
Verde Alpi Chiaro	Fibrosa xenomórfica	Antigorita	Opacos, clorita, espinelo	76	31	57
Travertino Cedolin	Criptocristalina xenomórfica	Aragonita	Calcita, opalo	76	19	57
Travertino Calama	Criptocristalina xenomórfica	Aragonita	Calcita, palo	84	21	63
Madera Cedolin	Hipocristalina, xenomórfica	Olivino	Lititos y vidrio volcánico	88	31	65

Los estudios planteados permiten, a la hora de decidir la aplicabilidad de placas de mármol, seleccionar aquellos que muestren valores apropiados para una posible utilidad. En la (tabla 4) se expone la categorización de aptitud de los mármoles ordenados de acuerdo a los usos posibles (pisos, revestimientos interiores y revestimientos exteriores).

Analizando la (tabla 4), podemos agrupar las rocas en tres categorías llamadas: 1º categoría que incluye las rocas de gran resistencia para cualquier uso ornamental a que se les destine, 2º categoría que incluye las rocas con aptitudes disminuidas para su aplicación en pisos y la 3º categoría con aptitudes reducidas en el uso de pisos y recubrimientos exteriores.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Analizando los resultados de los estudios ópticos de las rocas se puede indicar que aquellas que pertenecen a la 1º categoría presentan homogeneidad mineralógica en cuanto a la presencia de calcita y dolomita primordialmente. Las rocas que manifiestan una categoría 2º indican dos tamaños de granos minerales bien diferenciados. Mientras que las rocas que muestran una categoría 3º indican variando su composición mineral. Estando acompañados estos minerales de coloide férrico u orgánico. En el caso extremo como Verde Alpi Chiaro y Madera Cedolín, si bien se venden bajo la denominación comercial de mármoles desde el punto de vista pétreo no lo son, su anisotropía

mineral genera una mayor facilidad de alteración al considerar su uso como roca de aplicación. Llamativamente todos los mármoles estudiados son más aptos para pisos que para revestimientos externos; esto se debe a la acidez del ambiente generado por la contaminación antrópica en las ciudades. En la antigüedad los mármoles expuestos a la intemperie resistieron hasta 5000 años sin alterarse, pero en las condiciones generadas por las grandes ciudades este aspecto se invirtió. Esto último es debido a que la alteración de los mármoles es un proceso complejo, en el que se ven involucradas transformaciones generadas por factores físicos, químicos y biológicos (Tiano et al. 1999). En cuanto a los mármoles (Akos 2003) documenta la formación de películas de recubrimiento que cambia las propiedades mecánicas y la composición mineralógica de las rocas carbonáticas. Así mismo (Camuffo et al. 1983) explica que la disolución de las rocas carbonáticas en conjunción con los compuestos sulfurados, producidos por los motores de explosión, genera la recristalización de anhidrita. Al transformarse este mineral en yeso, por hidratación, crea tensiones internas que desagregan la roca. La consecuencia de estas acciones combinadas, es la pérdida de la cohesión y progresiva disolución mineral. Podemos indicar que los estudios mineralógicos estadísticos aplicados a los mármoles, permiten categorizar los mismos en su uso potencial de revestimientos internos y externos. Debiendo tener en cuenta que no evalúan los fenómenos de alteración que podrían producirse por la eutrofización atmosférica extrema asociado al clima del ámbito donde serán utilizadas como rocas de aplicación.

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*, Madrid. 41,21-38.

AKOS TOROK, 2003. Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest. *Building and Environment* 38,1185 – 1192.

ARNOLD, A., 1993. Composition-mechanical properties: porosity and humidity | diagnosis of stony materials | pollution. *Congres International sur la Conservation de la Pierre et autres Materiaux*. UNESCO, Paris, 23-29.

CAMUFFO D, DEL MONTE M, SABBIONI C., 1983. Origin and growth mechanisms of the sulphated crusts on urban limestone. *Water, Air, and Soil Pollution*, 19,351-359

DE MAIO, M. Y DOMINGUEZ, M., 1993. Deterioration and conservation of the National Congress building stone, Argentina. *International congress of the conservation of stone*, 1,184-1991. Paris

FRIEDMANN, E.I. AND OCAMPO-FRIEDMANN, R., 1984. Endolithic microorganisms in extreme dry environments: analysis of a lithobiontic microbial habitat. In: Klug, M.J., Reddy, C.A. (Eds.), *Microbial Ecology*. American Society for Microbiology, Washington DC, 177-185.

JENG F.S., WENG M.C., LIN M.L. AND HUANG T.H., 2004. Influence of petrographic parameters on geotechnical properties of tertiary sandstones from Taiwan. *Engineering Geology* 73, 71-91

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, Argentina*, Tomo IX, 632-634.

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.

KARLSSON A., AYALA R., 1996. Método de categorización de la alteración mineral. *Actas del V Simposio de GIAEG y Medio Ambient*, Argentina, 23-26.

TIANO P., L. BIAGIOTTI AND MASTROMEI G., 1999. Bacterial bio-mediated calcite precipitation for monumental stones conservation: methods of evaluation. *Journal of Microbiological Methods* 36,139–145

URZI, C., KRUMBEIN, W.E., LYALIKOVA, N., PETUSHKOVA, J., WOLLENZIEN, U., ZAGARI, M., 1994. Microbiological investigations of marbles exposed to natural and anthropogenic in northern and southern climates. In: Fassina, V., Ott, H., Zezza, F. (Eds.), *Proceedings of the Third International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*. Venice, pp. 297-304.

WARSCHEIDA TH. AND BRAAMSB J., 2000. Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 46,343-368.

WINKLER, E.M., 1987. Weathering and weathering rates of natural stone. *Environmental Geology and Water Science* 9,85-92



PROTECCIÓN DE LAS MÁRGENES DEL RÍO GRANDE EN TIERRA DEL FUEGO

Franco M. Francisca^(1,2), Luis Giovine⁽¹⁾, Andrés Rodríguez^(1,2), Gonzalo Moya⁽¹⁾,
Gerardo Hillman⁽¹⁾, Mariana Pagot⁽¹⁾, Mariano Corral⁽¹⁾

Resumen

Se presenta un caso histórico de estabilización costera en el tramo estuarino del Río Grande, sobre la margen urbana de la ciudad del mismo nombre en la provincia de Tierra del Fuego. Sobre esta margen, existen en la actualidad taludes verticales con alturas que oscilan entre 2 a 7 metros, los cuales están sometidos a la erosión permanente del agua. En particular se trata de un sistema estuarino controlado por el ascenso y descenso de la marea, con una amplitud máxima cercana a los 9 metros, lo que produce que en pleamar, el agua del océano penetre hasta 20 kilómetros hacia adentro del continente. En este trabajo se analiza la estabilización de las laderas, mediante la construcción de defensas de muro de suelo reforzado con geotextiles apoyado sobre estratos limosos altamente compresibles. Se analiza el sistema de defensa y la altura mínima de coronamiento considerando la altura del agua por el ingreso de mareas, oleaje y factores climáticos.

PALABRAS CLAVES: Muro de contención, erosión, defensa fluvial, estabilización de laderas.

Abstract

A history case presenting the stabilization of the Grande River shore in Rio Grande City in the state of Tierra del Fuego is presented. The shore of the river has vertical slopes with heights ranging from 2 to 7 meter which are permanently affected by water erosion. This is an estuarine system controlled by the rise and decrease of the sea level with amplitudes up to 9 meters. The water of the ocean goes in to the continent up to 20 kilometers during flood-tide. This work analyzes the stabilization of the slopes, by means of the construction of reinforced soil walls over the highly compressible sediments observed near the Grande River shoreline. Reinforced soil walls are analyzed by considering geotechnical, weather, waves and tide factors.

The work refers to the studies and environmental impact evolutions in the quarries exploitation. Also talk about the importance of the first studies like the diagnosis, the mitigations planning, corrections and attenuations actions during the exploitation and the final destiny of the exploited estate.

Boulder and calcareous ground case, exploited in the Uruguay River's coast in Entre Ríos province was utilized in this analysis. The Fields were studied. Satellites images and aerial and terrestrial photographs were used for the detailed analysis.

Conclusions, procures and comparison methods are exposed to compare socioeconomic benefit between no wished exploitation effects of natural resource.

1. INTRODUCCION

La ciudad de Rio Grande se encuentra emplazada en la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, sobre la margen norte del Río Grande en su desembocadura al Océano Atlántico. Desde su

Entregado: 31 de Julio de 2005 • Aceptado: 26 de Agosto de 2005

⁽¹⁾SRH, Universidad Nacional de Córdoba (UNC)

⁽²⁾Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

fundación en el año 1921, la ciudad se ha desarrollado urbanísticamente en forma ordenada. Sin embargo, a partir de los últimos años se ha observado un intenso crecimiento, aproximándose a la costa del estuario en zonas que presentan riesgos considerables de anegamiento e inestabilidad debido a la potencial erosión producida por el río.

El nivel máximo de crecida del río se encuentra condicionado en forma directa a los alcanzados por la marea, la cual presenta una amplitud en eventos extremos, de aproximadamente 9,0 metros (INA, 2001).

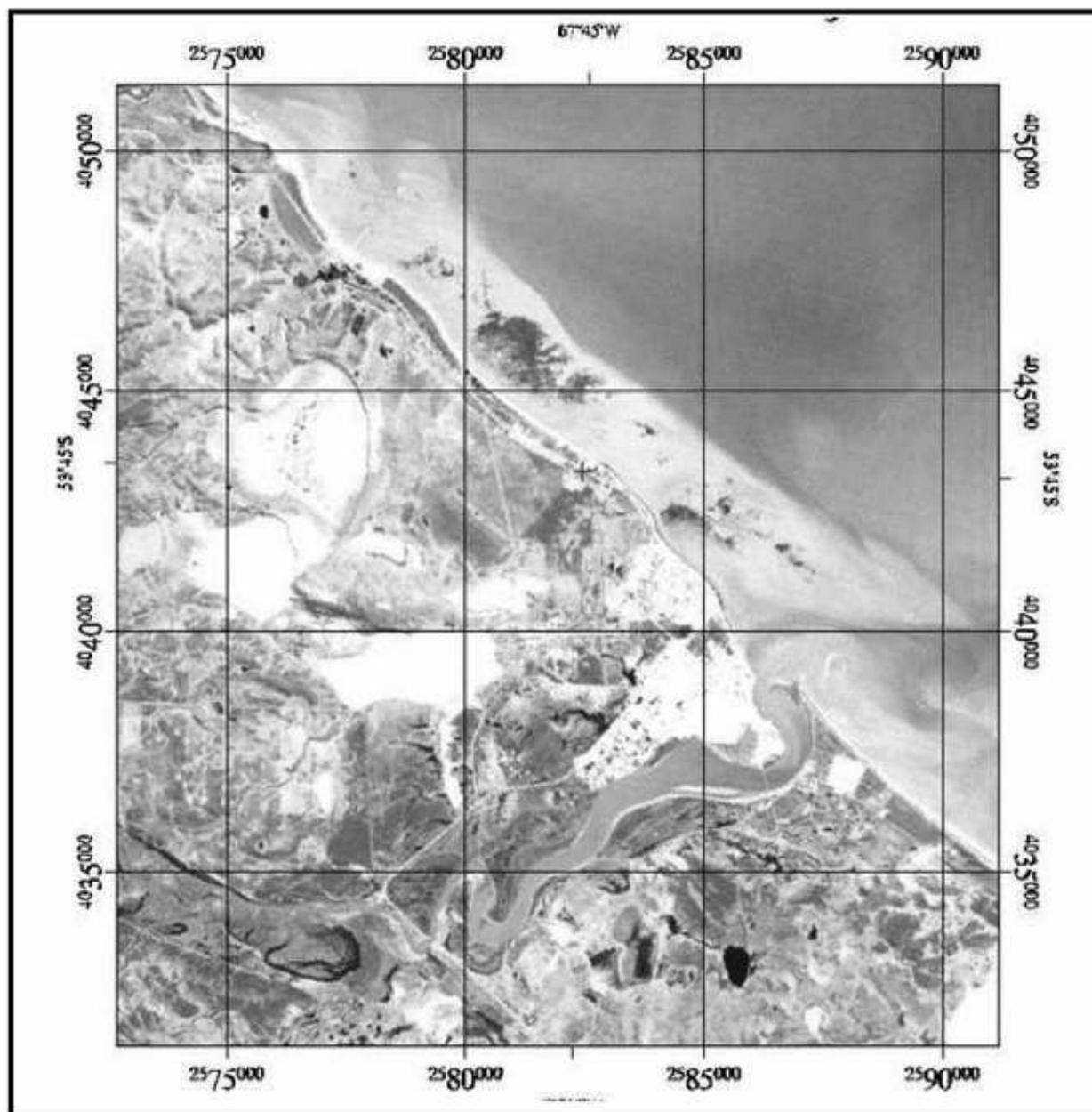
La dinámica hídrica de la zona costera está condicionada en forma casi exclusiva por el acceso y egreso de importantes volúmenes de agua asociados a los niveles de marea. De esta manera y en forma periódica, se genera un flujo con altas velocidades de escurrimiento que actúa sobre las costas generando erosiones de

margen que podrían llegar a comprometer la infraestructura urbana. La marea penetra en el estuario hasta 20 km, generando velocidades de flujo entre 1 a 2 m/s.

Con el objetivo de limitar el riesgo por erosión y anegamiento de importantes zonas de la ciudad ante la ocurrencia de niveles de marea extraordinarias, se analizaron las posibles situaciones para remediar esta problemática en 4,5 km desde la desembocadura hacia aguas arriba en la margen norte del río. En esta extensión se cubre desde aguas abajo del puente General Mosconi, el estribo norte de puente, el sector de antena de Radio Nacional y el sector urbano e industrial.

Los estudios realizados consistieron en un relevamiento topobatómico, análisis geomorfológico, estudios de suelo, modelación hidráulica del río y diseño de las defensas.

FIGURA 1. IMAGEN GEO-REFERENCIADA DE RÍO GRANDE.



Características de la zona de estudio.

Análisis de imágenes aéreas y satelitales

El uso de imágenes satelitales y la aplicación de técnicas de teledetección se utilizaron para estudiar las terrazas y laderas erosionadas por la dinámica del río y el mar. Para ello se realizaron combinaciones de bandas espectrales y generaron mosaicos para las áreas de interés, a partir de imágenes del satélite LANDSAT 7 ETM en bandas de 30 y 15 m de tamaño de píxel.

A partir de una interpretación visual y procesamiento de las imágenes se determinó el alcance del agua en superficie respecto del resto de las cubiertas del terreno, para lo cual se utilizaron composiciones en falso color obtenidas de combinaciones de índices espectrales. Posteriormente se realizó una cuantificación del área relevada en cada escena, permitiendo realizar un seguimiento espacial de la misma.

En primer lugar se georeferenciaron y registraron las imágenes en un sistema conocido común, seleccionándose "UTM" con datum en WGS84. De esta forma, las imágenes adquieren propiedades de mapa: sistema de proyección y escala, para poder medir distancias entre puntos y extensiones de superficie. El procesamiento digital de las imágenes se realizó con el programa Envi 3.5 (ESRI, 2000), y un programa de manejo de información vectorial.

El programa ENVI 3.5 se utiliza para manejar y analizar grandes volúmenes de datos junto con sus atributos temáticos asociados, dentro de un sistema de coordenadas terrestres que permita mantener la coherencia de la información recogida (e.g. UTM, geográfico, Lambert, etc).

La Figura 1 presenta una imagen satelital georeferenciada de la zona correspondiente a la ciudad de Río Grande y alrededores.

FIGURA 2. MOSAICO DE FOTOS AEREAS DEL ESTUARIO DE RIO GRANDE.



Las fotografías aéreas disponibles fueron facilitadas por la Municipalidad de Río Grande y cubren el área en estudio un total de 9 fotos. Teniendo como base la imagen satelital pancromática se generó un mosaico con las fotos aéreas, cuyo resultado se presenta en la Figura 2.

Características climáticas.

La Tabla 1 presenta las principales características climáticas de la ciudad de Río Grande. La temperatura media anual es cercana a los 5,5 °C, y se encuentra una

amplitud térmica de 10 a 5 °C en verano e invierno respectivamente. En cuanto a la temperatura de rocío, el valor promedio anual es de 1,2 °C con valores extremos mensuales de 4,9 a -2,4 entre enero a julio respectivamente. La humedad relativa media anual es igual a 76%, con valores mensuales en el rango de 60% a 86%. La dirección de viento predominante es Oeste con una velocidad media anual de 34 km/h con frecuencia igual a 446. La nubosidad media anual es alta, casi 75% del cielo cubierto, registrándose con mayor frecuencia en el verano. El número de días con nevadas alcanza los 11 días/año, el granizo se presenta en escasas ocasiones (0,3 días

TABLA 1. Datos climáticos de Río Grande. Datos recopilados de la estación meteorológica Río Grande y cartas náuticas argentinas H-462 y 90.

Mes	Precipitación Media [mm]	Temperatura			Humedad Media [%]	Viento Velocidad [km/h]
		Media [°C]	Máxima [°C]	Mínima [°C]		
Ene	33,4	9,8	15,2	5,3	71	8,6
Feb	28,7	9,5	14,9	4,5	76	8,6
Mar	27,3	7,7	12,6	3,5	81	6,5
Abr	33,2	5,2	9,6	0,9	84	6,5
May	39,2	1,7	5,2	-1,9	92	4,9
Jun	25,2	0,1	3,4	-2,5	90	5,9
Jul	25,5	0,4	3,2	-2,2	92	4,3
Ago	21,5	1,2	4,7	-1,8	88	5,9
Sep	16,4	2,9	7,5	-0,2	84	5,9
Oct	18,5	5,4	10,5	1,8	75	9,2
Nov	29,0	6,7	11,7	2,7	73	8,6
Dic	32,8	9,2	14,5	5,3	72	8,6

TABLA 2. Resumen de datos de viento para distintas estaciones del año.

Periodo	Vel. med. [km/h]	Vel. Max. [km/h]	Dirección predom.	Frec. [%]	Calmas frec. [%]
Otoño	21,20	49,33	Oeste	40,17	28,60
Invierno	16,90	41,50	Oeste	33,47	36,30
Primavera	25,33,	53,67	Oeste	41,27	17,13
Verano	26,70	68,67	Oeste	42,07	15,23

TABLA 3. Estadística de olas (INA, 2001).

Período de recurrencia Tr [años]	Altura de ola significativa Hs [m]	Período de la ola T [s]
10	6,0	8,3
25	6,9	8,6
50	7,9	8,9
100	8,7	9,1

promedio) y los días con precipitación llegan a sumar 120 por año. Finalmente, la precipitación media anual supera los 300 mm registrándose las máximas precipitaciones en otoño / verano y las mínimas en invierno / primavera.

La Tabla 2 presenta las características de los vientos en Río Grande. Se observa una interesante variación estacional con un máximo de velocidad alcanzado en verano y dirección predominante del oeste

La Tabla 3 presenta la altura de ola significativa para distintos períodos de recurrencia (INA, 2001). El nivel medio del mar sobre el plano de reducción del Servicio de Hidrografía Naval (SHN) se considera a los 4,5 m, con un régimen de marea semidiurno. La máxima marea astronómica pronosticada para Pleamares de Sicigias Equinociales de Perigeo alcanza los +8,7 m. Por otro lado, entre los años 1966 y 1980 el SHN registró valores de +8,83 m, o sea 13 cm mayor que el valor para marea astronómica. Para una recurrencia de 100 años, el Instituto Nacional del Agua (2001), considera una serie de valores ajustados con distribución Weibull, arrojando un valor de 9,08 m, es decir, +4,54 m sobre el nivel medio del mar (semejante a los 4,5 m.s.n.m.).

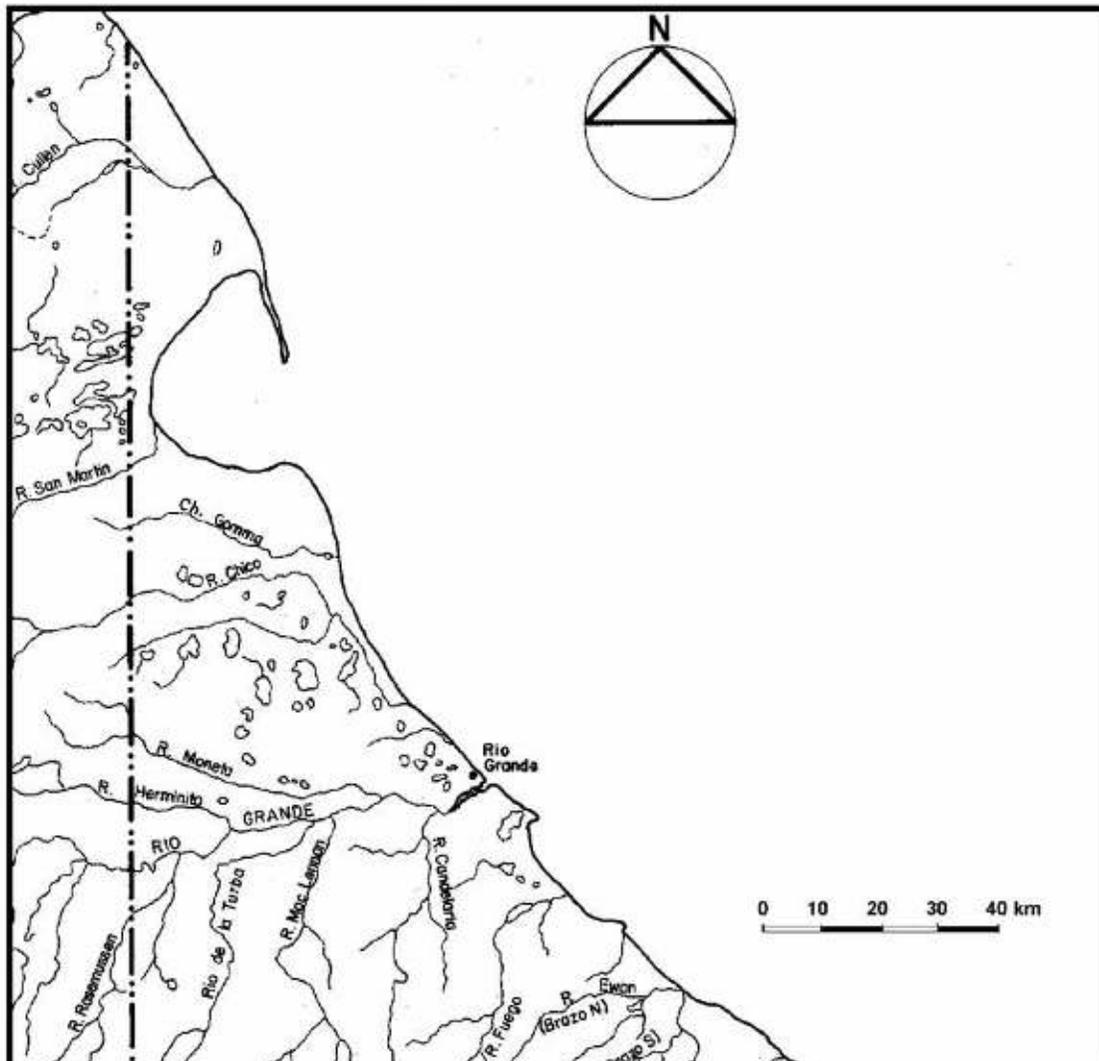
De acuerdo a las características climáticas, y por diferencia respecto de la marea astronómica, se estimó que efectos meteorológicos podrían producir un incremento de 0,30 m

Descripción de la cuenca hidrológica.

El Río Grande desemboca al sudeste de Cabo Domingo, y nace al Oeste de Tierra del Fuego, con un ancho de cauce variable entre 60 y 1500 m. A este aportan los ríos: Rassmussen, Menéndez, Mac Lennan, Moneta, Herminita, de la Turba y Candelaria (Figura 3).

La cuenca del río Grande alcanza los 7000 km², y comprende una región de características pluvionival. De los datos climáticos analizados en el apartado anterior se observa que la precipitación máxima (lluvia y nieve) se encuentra entre los meses de Marzo y Mayo, generando crecidas en septiembre y octubre. En estas cuencas pluvionivales, la estimación de la escorrentía requirió la consideración de la fusión de nieves, lo que sumado a la precipitación arroja un caudal pico cercano a 155 m³/s (INA, 2001).

FIGURA 3. MAPA HIDROGRAFICO DE LA REGION DE RIO GRANDE - TIERRA DEL FUEGO. (Fuente: Provincia de Tierra del Fuego)



Características Geológicas y Geomorfológicas.

La rivera del río grande esta compuesta por sedimentos cuaternarios, los cuales se encuentran caracterizados principalmente por dos tipologías de suelos bien diferenciados.

El primero consiste en un material granular con una fracción granulométrica predominante del tamaño de las arenas con presencia de gravas. Estos sedimentos tienen partículas muy redondeadas y carecen de la presencia de finos. Este material se denomina comúnmente en el lugar como mixto de playa, y la forma redondeada de las partículas se debe a la permanente erosión y arrastre de las partículas en ambas direcciones, ocasionada por acción de las mareas semidiurnas. En general este material se encuentra en las proximidades de la desembocadura del río y en los tramos costeros a cota de pleamar.

La segunda tipología está compuesta por una fracción fina de limos muy poco densos y con elevados contenidos de humedad. Este material presenta una muy alta compresibilidad. Estos sedimentos conforman el estrato superior del perfil estratigráfico en gran parte del desarrollo de la margen del Río Grande, en particular aguas arriba de la desembocadura mismo. Los limos presentan taludes estables para pequeñas alturas. Al mismo tiempo, las aguas del río erosionan este material socavando inicialmente el pié y produciendo la caída o desmoronamiento posterior de bloques. No se observan rasgos de inestabilidad de laderas del tipo circular en ningún sector de la costa y planicie.

El escurrimiento superficial de las aguas pluviales, proveniente de desagües urbanos y/o ante ausencia de ellos, produce a lo largo de la costa del río erosiones en las márgenes. Este tipo de erosión se manifiesta debido a la interacción físico-química del agua dulce, proveniente de los desagües, el agua salada, proveniente del mar, y la fracción fina de las partículas de suelo, en conjunción con la acción mecánica del agua. Sumado a ello, la acción de sucesivos ciclos de humedecimiento y secado producen en la superficie un cuarteado regular que con la acción de la escorrentía superficial genera puntos preferenciales de inicio de erosión.

Respecto de la geomorfología regional pertinente a la obra, el sector se encuentra modelado por la interacción río/océano. Las fotografías aéreas del sector permiten

establecer que el valle del río y su margen izquierda se encontrarían estables desde el punto de vista geomorfológico, sin evidenciar cambios sustanciales en su patrones geométricos y meandros desde los últimos 50 años aproximadamente (Figura 2).

Se realizó un estudio de suelos con el objeto de identificar y caracterizar el perfil estratigráfico del lugar en distintos sectores a lo largo de la costa del estuario. Los estudios realizados consistieron en excavaciones a cielo abierto del tipo calicatas de profundidad variable y ensayos de penetración o hincia dinámica.

En los sectores próximos a la desembocadura del río Grande, el perfil de suelos esta conformado por un manto arenoso, con presencia de gravas y finos (SM según la clasificación unificada de suelos) y con muy baja humedad. La presencia del nivel freático se determinó a una profundidad de 1,4 metros aproximadamente. La continuidad de este estrato se verificó hasta el final de los sondeos a una profundidad aproximada de 4,0 metros.

Respecto del material fino observado aguas arriba, esta compuesto por limos arcillosos, en ocasiones pudiendo clasificarse como limos orgánicos de acuerdo a la clasificación unificada de suelos, con muy altos contenidos de humedad superiores al límite líquido en la mayoría de los casos, de color ocre con tonalidades gris verdosa y muy poco compacto (pesos unitarios secos promedios de 12 kN/m³). Finalmente, de acuerdo a los resultados de un ensayo de consolidación, los estratos presentan características de suelos normalmente consolidados muy compresibles (coeficiente de consolidación $C_c = 0,312$). En todos los casos se obtuvo un número de golpes para la penetración con la hincia dinámica continua (DPSH) en el rango de 1 a 4 golpes/20 cm en los 4 metros superiores aumentando a 6-8 golpes/20 cm a profundidades entre 4 y 10 metros, lo que corrobora la consistencia muy baja de este material.

En la misma Figura 2 se indica el sector en estudio señalando la altura de los taludes en cada uno de los tramos analizados. La Figura 4 presenta una fotografía del sector inferior del tramo estudiado donde se observan taludes pequeños sobre la margen izquierda del río, sobre un estrato de suelo limoso, y bloques de desprendimientos producidos por la erosión del pié del talud. En la primera barranca del tramo inferior, la altura alcanza los 1,00 metros, mientras que aguas arriba en el tramo superior es mayor alcanzando los 3,00 metros.

FIGURA 4. FOTOGRAFIA DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO GRANDE.



2. METODOLOGIA

Análisis de niveles máximos del nivel del agua

Se realizaron modelaciones unidimensionales y bidimensionales empleado los programas HEC-RAS y RMA2 respectivamente. El modelo unidimensional permite la estimación de diversos parámetros hidráulicos medios del flujo, tales como altura del pelo de agua, velocidades, etc. para una serie de caudales determinados.

La modelación hidrodinámica unidimensional se realizó con el software HEC-RAS (River Analysis System), versión 3.0.1, desarrollado por U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC, 2002). Este modelo permite estimar los niveles alcanzados por el agua en un canal, o sistema de canales (natural o artificial), con flujo permanente o transitorio, gradualmente variado, en condiciones de flujo subcrítico, supercrítico o combinaciones de ambos. El procedimiento de cálculo utilizado es la solución unidimensional de la ecuación de energía y de continuidad y las pérdidas friccionales son evaluadas mediante la ecuación de Manning.

RMA2 (Norton et al., 1973) es un modelo numérico hidrodinámico en elementos finitos bidimensional, que calcula los niveles de la superficie libre alcanzada por el agua y las componentes horizontales de velocidad para régimen subcrítico en campos bidimensionales de flujo, en cada punto de la malla, relevantes en este caso para evaluar el potencial erosivo en la margen norte del Río Grande. RMA2 calcula la solución por elementos finitos de las ecuaciones de Navier – Stokes bajo la forma de Reynolds para flujos turbulentos. Las pérdidas friccionales se estiman a través de la ecuación de Manning, mientras que para caracterizar la turbulencia se utilizan coeficientes de viscosidad de remolino. Se pueden analizar problemas tanto en flujo permanente como transitorio.

Como condiciones de contorno se utilizaron niveles de marea (aguas abajo) y velocidades del modelo unidimensional aguas arriba.

Muros de Suelo Reforzado

Debido a la muy baja capacidad portante y la alta compresibilidad del suelo, se propuso como solución para la estabilización de los taludes en la margen del río, la utilización de muros de suelo reforzado con geotextil. Los muros de suelo reforzado con geotextil consisten en capas de suelo compactado con intercalaciones de material sintético (geotextil o geomallas) formando de esta forma una especie de material compuesto. Las mallas sintéticas le otorgan al sistema la resistencia a la tracción que no tiene el suelo por sí mismo, aumentando la capacidad portante y disminuyendo los niveles de deformación esperados. Finalmente, el lado expuesto se protege con un paramento de un metro de ancho, que disminuye los riesgos de erosión en el pie del talud y al mismo tiempo previene potenciales daños en los geosintéticos producidos por efectos naturales (ej. rayos ultravioletas, incendios) o por el hombre (accidentes, vandalismo). Para la protección del frente o cara vista existen distintas alternativas comerciales consistentes en estructuras modulares, algunas con mallas metálicas y varias con elementos de hormigón prefabricado. Debido al ambiente salino, es necesario tener en cuenta la durabilidad del material de protección por lo que resulta conveniente no utilizar elementos metálicos.

Las verificaciones realizadas consistieron en determinar la estabilidad rotacional de la estructura, verificar las condiciones de estabilidad al deslizamiento en la base, falla por capacidad de carga y estabilidad al vuelco (Das, 1999). La Tabla 4 muestra los principales parámetros físico-mecánicos del suelo utilizados en el cálculo, mientras que para los refuerzos de geotextil se especificó como condición de diseño una resistencia a la tracción a largo plazo $\sigma_g = 21$ kN/m.

TABLA 4. Parámetros Físico-mecánicos del suelo utilizados en el cálculo de la estructura de suelo reforzado

Tipo de suelo	Peso unitario húmedo γ [kN/m ³]	Ángulo de fricción ϕ [°]	Cohesión C [kPa]
Terreno natural (limos)	15	23	0
Relleno compactado	17	28	0
Gavión modular	18	-	-

La separación vertical (S_v) entre capas del refuerzo de geotextil se obtuvo como (Barry y Holtz, 1988):

$$S_v(z) = \frac{\sigma_G}{\gamma_z K_a F S_B} \quad (1)$$

Donde, σ_G es la resistencia a la tracción del geotextil, K_a es el coeficiente de empuje activo del terreno y $F S_B$ es el factor de seguridad adoptado. Se puede observar que la separación vertical resulta dependiente de la profundidad o presión actuante, por lo tanto a mayores

profundidades se requieren menores separaciones.

Por otro lado, la longitud mínima del refuerzo de geotextil resulta de la suma de la longitud que queda por dentro de la cuña de falla de Rankine (la cual tiene un ángulo de $45 + \phi/2$ medido desde la horizontal), más la longitud necesaria para resistir la tracción generada en el refuerzo. Esta última se calcula con la siguiente expresión:

$$L_e(z) = \frac{S_v(z) K_a F S_B}{2 \tan(\phi_f)} \quad (2)$$

donde S_v es la separación vertical previamente determinada, FSp es el factor de seguridad al desgarre y ϕ_f es el ángulo de fricción entre el refuerzo y el suelo (aproximadamente $2/3$ del ángulo de fricción del suelo).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

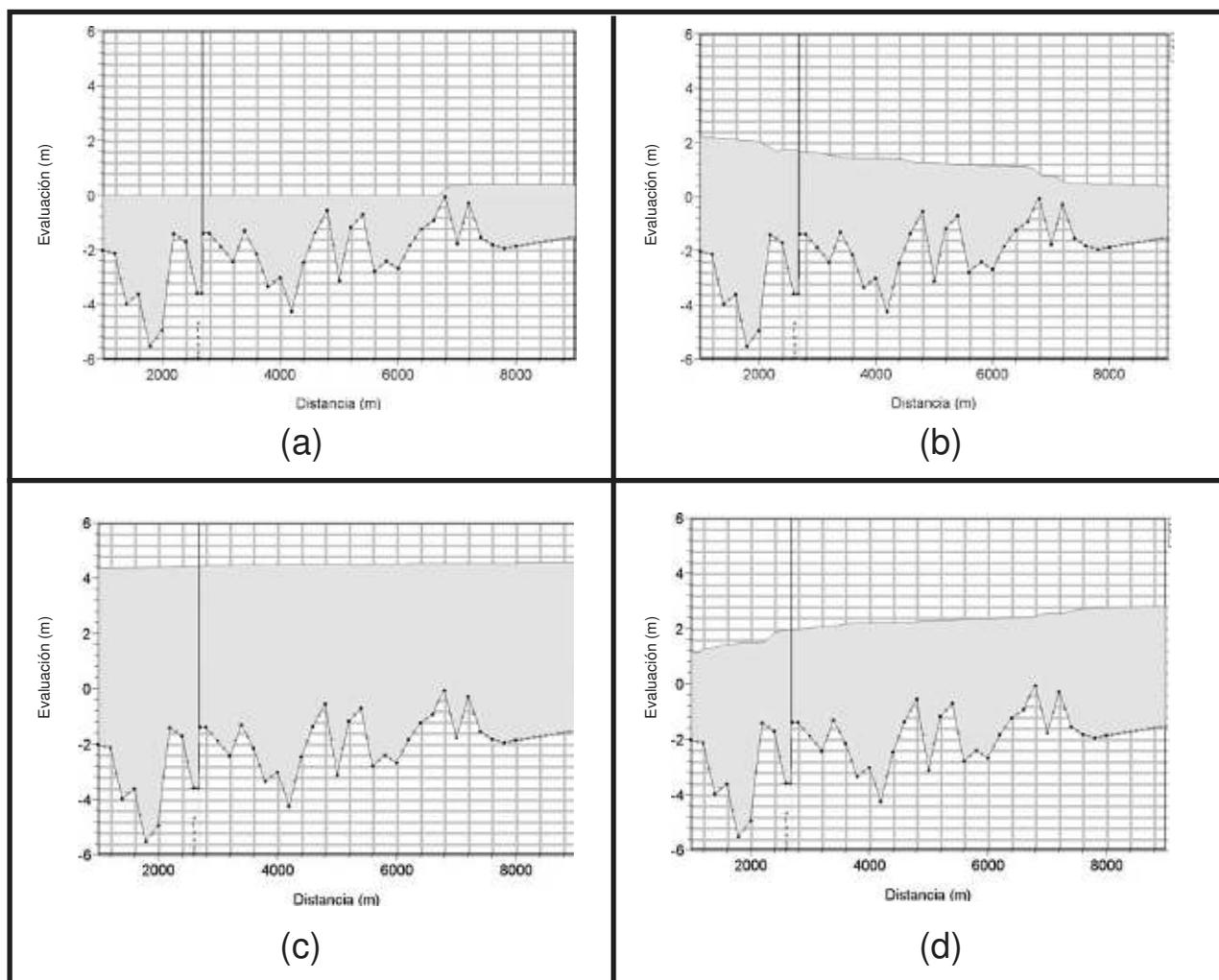
Modelaciones Hidráulicas

La Figura 5 presenta una secuencia de las predicciones de la superficie del agua según la modelación unidimensional, cuando se produce el ingreso y egreso de la onda de marea máxima. En la sección aguas abajo

se establecieron las condiciones de borde determinadas por el nivel de marea ($\pm 4,50$ m) según tablas de marea del Servicio de Hidrografía Naval, mientras que aguas arriba se han establecido dos condiciones de borde: un caudal de crecida "Qr" de 155 m³/s (INA, 2001) y otro de estiaje de 5 m³/s.

Es importante mencionar que en la Figura 5 el océano se ubica a la izquierda de las imágenes y la línea vertical que aparece en Progresiva 2.700 es el puente que se observa en la Figura 2. La línea punteada corresponde al terreno natural a lo largo del talweg del estuario y la sobreada al nivel de agua.

FIGURA 5. PERFIL LONGITUDINAL HIDRAULICO PARA LA CONDICION DE CRECIDA MAXIMA (QR=155M3/S): a) SITUACION INICIAL, b) INGRESO DE LA ONDA DE MAREA EN EL RIO, c) MAXIMO NIVEL, d) DESCENSO DEL AGUA EN BAJAMAR.



Se observa que el nivel medio de mareas (condición inicial) no genera flujo en el tramo por lo que sólo escurre el caudal fluvial, mientras que en la b el prisma de marea ingresa al estuario, generando flujo adverso. A su vez en la Figura 5.c se produce el máximo nivel de agua con flujo nulo, mientras que en la Figura 5.d se produce el vaciado del estuario por la bajante del mar. Los resultados de la modelación permitieron establecer que las máximas velocidades en el cauce se producen en situación de estiaje, durante el ingreso del prisma de

marea, alcanzando valores de 1,83 m/s, mientras que durante la salida la velocidad resultó 1,56 m/s, valores que resultan similares a los establecidos por los antecedentes (INA, 2001). Para la modelación bidimensional, las condiciones de contorno de aguas arriba y aguas abajo se definieron a partir de los resultados obtenidos con el modelo unidimensional, mientras que los laterales se asumieron impermeables. Los resultados obtenidos permiten conocer en cada punto del río los valores de velocidad,

profundidad y elevación de superficie de agua. La Figura 6 presenta una salida tipo del modelo, en donde se presentan las velocidades del agua en el instante que se retira la ola de marea. Los resultados del modelo bidimensional permitieron constatar los valores máximos de velocidad posibles en la costa, y así poder identificar las zonas que resultarían más expuestas a problemas de erosión, las cuales se indican en la Figura 2.

A partir de los resultados obtenidos con las modelaciones numéricas y las características del sector se determinó que la cota máxima de crecida se produciría en condiciones de marea alta. A este nivel +4,50 msnm (cota máxima de marea) se le suma una revancha de 0,50 metros resultando la cota final de coronamiento en +5,00 metros.

FIGURA 6. VELOCIDAD DEL AGUA DURANTE EL VACIADO DEL ESTUARIO

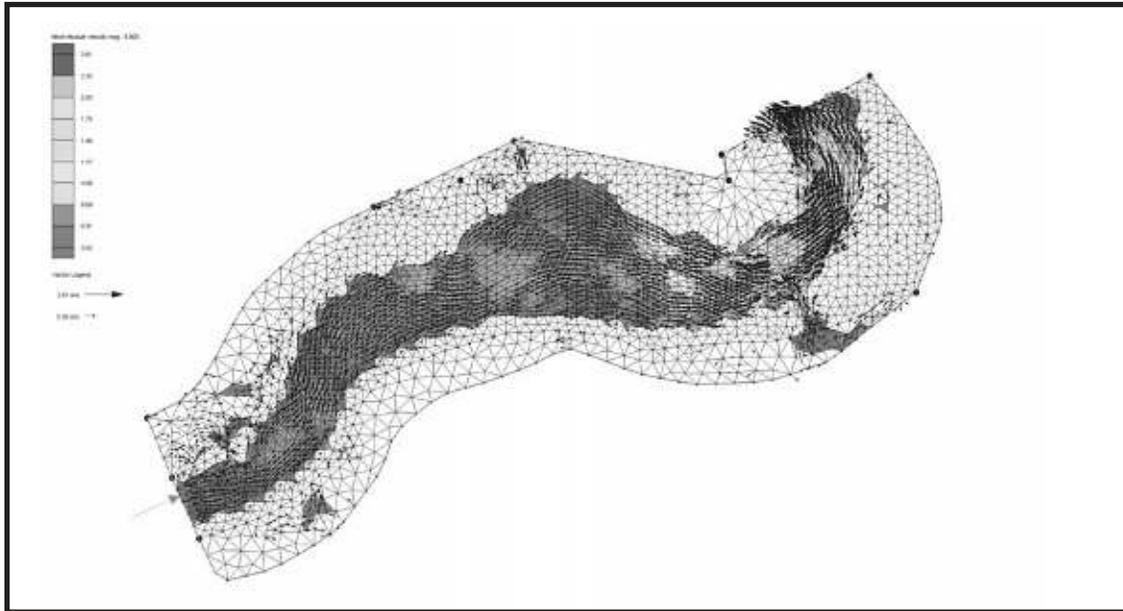
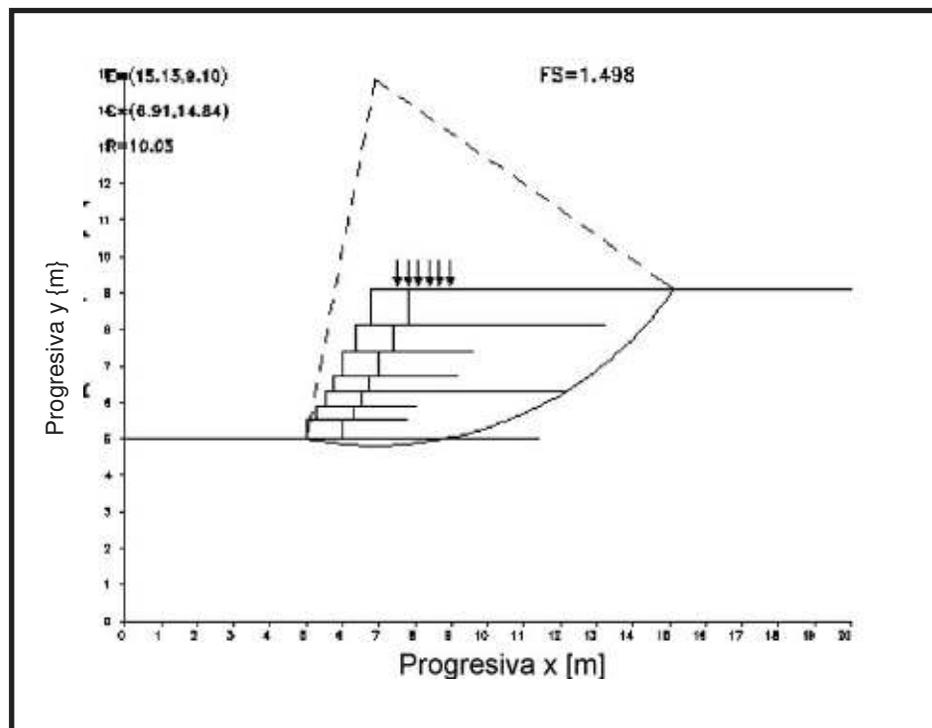


FIGURA 7. CIRCULO DE FALLA



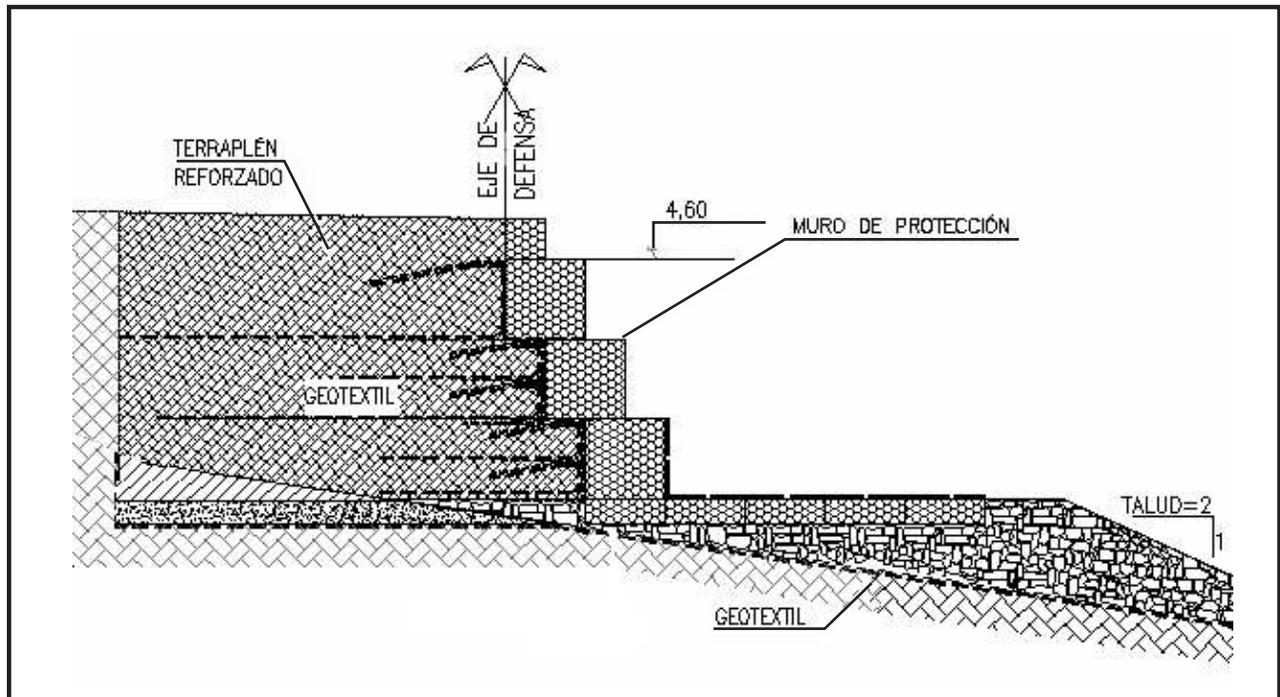
Muros de Suelo Reforzado

La Figura 7 presenta los resultados del análisis de estabilidad para el muro de suelo reforzado con geotextiles de cuatro metros de altura. Se determinó que la condición crítica está determinada por la falla global del sistema o falla rotacional, en condiciones de sismo (asumiendo un coeficiente de aceleración pseudoestática horizontal igual a 0,1). Para la falla global del sistema, el factor de seguridad determinado fue de 1,48, mientras que para el deslizamiento fue de 1,6, respecto del vuelco 10,6 y para capacidad de carga de 3,85.

La Figura 8 muestra la solución propuesta para la

estabilización de las márgenes y taludes en la rivera del Río Grande. En marea baja, el muro se encuentra completamente seco, mientras que en marea alta el paramento exterior está sometido a la acción erosiva del agua. La cota del coronamiento del muro, se estableció 50 cm por encima del máximo nivel del agua según se determinara en los modelos hidráulicos. En la base, el muro cuenta con un sistema de fundación consistente en un enrocado sobre un geotextil, lo cual sirve como elemento de fundación para evitar que se produzcan asentamientos diferenciales y hundimientos producidos por la muy baja capacidad portante del terreno natural.

FIGURA 8. PERFIL DEL MURO REFORZADO CON GEOTEXTIL, MARGEN IZQUIERDA DEL RIO GRANDE.



Una vez estabilizada la base, se colocan en capas sucesivas los refuerzos sintéticos y suelo seleccionado y compactado. De esta manera se avanza en altura hasta lograr la cota de diseño en los diferentes sectores. La solución propuesta permite construir el sistema de defensa a pesar de la muy baja compacidad del terreno, siendo además la misma una solución del tipo flexible, capaz de soportar asentamientos importantes posibles de ocurrir en este tipo de suelo de fundación. Por otro lado, el método constructivo, el terraplenado de fundación y la necesidad de compactación del suelo entre los refuerzos de geotextil, producirían mejoras significativas en el terreno, por lo que gran parte de las deformaciones esperadas ocurrirían durante el período de construcción de la defensa (Onodera et al. 2004).

4. SINTESIS Y CONCLUSIONES

Se analizó una posible recuperación y estabilización de la margen derecha del Río Grande, dentro de la trama

urbana. A partir de los estudios realizados se concluye lo siguiente:

La cota máxima del nivel del agua alcanza los +4,50 metros por encima del nivel medio del mar, en condiciones de marea máxima (astronómica más meteorológica).

El análisis de fotografías aéreas de las últimas décadas indica que el cauce del río en su tramo estuarino es estable no observándose avances significativos de la erosión de las márgenes.

El suelo del lugar presenta propiedades críticas debido a la alta compresibilidad y elevado contenido de humedad, por lo que condiciona el sistema de defensa debido a las potenciales deformaciones esperadas

Las modelaciones realizadas permitieron analizar el campo de velocidades dentro del cauce y la llanura de inundación, durante el proceso de llenado y vaciado del estuario. Las magnitudes de velocidad observadas se utilizaron en el cálculo y diseño de las protecciones al pie, partiendo de la estimación de erosiones locales posibles.

El sistema de suelo reforzado con geotextiles permite generar una estructura estable, con factores de seguridad al deslizamiento, vuelco y falla global aceptables, y además de naturaleza flexible capaz de soportar las posibles solicitaciones inducidas por deformaciones del terreno

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece por el apoyo prestado durante la ejecución de este trabajo a la Municipalidad de Río Grande de la provincial de Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

DAS B.M. (1999). Principio de Ingeniería en Cimentaciones, Thomson, México

BARRY R C. Y HOLTZ R.D. (1988). Geotextil Design and Construction Guidelines. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE ESRI (2001). Manual del Programa ENVI V3.5, California, Estados Unidos.

HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER HEC (2002): HEC-RAS. River Analysis System (version 3.1). User's Manual and Hydraulic Reference Manual. US Army Corps of Engineers. Davis, California.

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA INA. (2001): Proyecto de una defensa costera en la Ciudad del Río Grande, Tierra del Fuego – 1º Etapa.

NORTON W.R., KING I.P., ORLOB G.T. (1973). A finite element model for Lower Granite Reservoir. Water Resources Engineers Inc., Walnut Creek, CA Technical Report.

ONODERA S., FUKUDA N., NEKANE A. (2004). Long-term Behavior of Geogrid Reinforced Soil Walls. GeoAsia 2004: Asian Regional Conference on Geosynthetic



GEOTECNIA Y GEOLOGÍA DE LA REPRESA HUASA PAMPA NORTE DPTO LA COCHA – PROVINCIA DE TUCUMAN

Luis Suayer⁽¹⁾

Resumen

Se describe la Geología y Geotecnia de la represa Huasa Pampa Norte, la que cubre una superficie de 2 hectáreas, situada en el Dpto. La Cocha, en el extremo sur de la provincia de Tucumán, la cual servirá para proporcionar agua para riego, a los agricultores, en particular a los tabacaleros de la zona.

Palabras claves: Geotecnia, represa.

Abstract

Are described Geologia and Geotecnia of the Huasa Pampa Norte dam, the one that covers a surface with 2 hectares, located in the Dpto. La Cocha, in the South end of the province of Tucuman, which will serve to provide water for irrigation, to the agriculturists, in individual to the tobacco growers of the zone.

1. INTRODUCCION

Este trabajo en donde se aborda solamente la Geología y la Geotecnia de la Represa Huasa Pampa Norte, forma parte de un plan integral de obra que realiza la Dirección del Agua de la Provincia de Tucumán, a través del Dpto. Construcciones bajo la Jefatura del Arq. Julio Robledo. El Jefe de Comisión para la realización de esta obra fue el Ing Civil José Santos Gómez, colaborando los Técnicos Oscar Aldonate y José Apud y como Asesor Geotécnico Luis Suayer.

Entregado: 2 de Enero de 2005 • Aceptado: 7 de Febrero de 2005

⁽¹⁾Dirección del Agua – Facultad de Ciencias Naturales, UNT
Juan Luis Nougues 1604. (4000) Tucumán
matcat@csnat.unt.edu.ar

2. FISIOGRAFIA

La represa se ejecutó con el fin de almacenar agua para riego en época de secano. Desde el punto de vista fisiográfico se emplaza en el sector del Pedemonte Subhúmedo Seco. La precipitación anual fluctúa entre 700 y 900 mm y la evapotranspiración potencial es de 900 mm. Las lluvias son estivales con una acentuada sequía invernal – primaveral. La aptitud de esta Subregión es agrícola – forestal y cuando se dispone de riego se pueden cultivar tabacos, citrus, caña de azúcar y una amplia gama de otros cultivos de alto valor comercial.

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Se deben distinguir en el Dpto. de La Cocha, tres grandes unidades geomorfológicas interconectadas entre sí

- 1.- La región montañosa (Oeste)
- 2.- El pie de monte (Centro)
- 3.- La penillanura (Este)

La región montañosa, está constituida por rocas cristalinas ígneas y metamórficas (sierra de Santa Ana, Balcozna y Potrerillo) cuyo flanco oriental regula el régimen hidrológico de todo el sistema.

En el pie de monte predominan los depósitos de conos

aluviales, en capas de conglomerados, areniscas, limolitas y arcillitas, que alternan en sucesiones rítmicas, debido a la energía de las crecientes anuales y extraordinarias.

Hacia el Este, en la zona de la penillanura, en continuación directa con los depósitos de conos aluviales, encontramos sedimentos finos (limo – arcilloso) de tipo Loessico, que constituyen las formaciones cuaternarias, con un gran desarrollo del perfil del suelo.

4. RÉGIMEN HIDRÁULICO.

Los ríos y arroyos que constituyen el flanco oriental de las Sierras de Santa Ana, Potrerillo y Balcozna, poseen un régimen torrencial que se caracteriza por la ocurrencia de crecientes súbita y violenta, en los cauces, con fuertes pendientes, particularmente durante las precipitaciones estivales.

El escurrimiento superficial, originado por las precipitaciones, se presenta en forma laminar en el área de recepción (zona cumbreña), se concentra en pequeños cauces, generalmente encajonados, que confluyen en arroyos y ríos, con pendientes que oscilan entre el 17 y el 22% de gradiente, para desembocar en un canal de descarga con cauce bien definido.

Toda el área de pie de monte, como la penillanura es afectada por estos torrentes que están asociados a fuertes procesos de erosión, aluvionamientos e inundación.

Los procesos erosivos son característicos en los niveles alto de las cuencas, en la zona media predominan la erosión, transporte y sedimentación y en la zona baja (penillanura) sedimentación.

Refiriéndonos concretamente a la zona de la represa Huasa Pampa Norte, la misma está situada en los límites pie de monte – penillanura.

Se debe destacar que en esta zona el hombre, alteró el normal escurrimiento, al desviar canales de riego y cauces temporarios, que atravesaban sus propiedades, provocando un cambio fundamental en la cantidad y granulometría de los materiales sólidos, movilizados por el agua en época de fuertes lluvias, en donde los caminos se transforman en verdaderos lechos fluviales, rompiendo alcantarillas y puentes, inundando casas y campos de cultivos, con las consiguientes pérdidas económicas.

5. CONSIDERACIONES SOBRE ESTRUCTURA DE TERRA.

1.- Es necesario un buen conocimiento geotécnico de los materiales que formarán la estructura.

2.- La influencia del clima, la hidrología y la topografía, que rodean al diseño y la ejecución se deben sumar a las propiedades de los materiales locales.

3.- Se deben tener en cuenta las inundaciones periódicas (cada 5 a 10 años) en la zona y que pueden saturar la estructura de tierra, ya que se pasa de unas condiciones de estabilidad en seco a otras de suelos saturados con presiones intersticiales, que disminuyen el coeficiente de seguridad frente al deslizamiento. Dicho coeficiente pasa a valer un 50% menos, produciendo vías de erosión en el

conjunto terraplén - ladera y cambiando las condiciones de resistencia. Por lo tanto, debe asegurarse la estabilidad frente a rotura del propio terraplén, así como al conjunto terraplén - terreno de apoyo, tarea que la Dirección del Agua cumplió con eficacia.

6. METODOLOGÍA.

Ensayos de Materiales:

Los ensayos que mas se utilizaron en el estudio de suelos para la construcción del terraplén, fueron la clasificación de suelos para terraplenes según su plasticidad y las de compactación Proctor Normal, además de los métodos para determinar la densidad “in situ” (en el terraplén).

A continuación se describirán los ensayos realizados en el laboratorio de campo, en el sitio de emplazamiento de la represa:

a) Ensayos de Plasticidad

Sobre nueve (9) ensayos realizados, en el inicio de la obra, sobre el futuro terraplén en una superficie de dos (2) hectáreas, se llegó a los siguientes valores:

Límite Líquido (L.L) promedio	24,1%
Límite Plástico (L.P) promedio	18,2%
Índice de Plasticidad (IP) promedio	5,9%
Contenido de Arena	22,6%
Densidad Seca	1,245 gr/cm ³

Todos estos ensayos llevaron a la siguiente conclusión:

Suelo Tipo CL-ML, que significa un suelo arcilloso - limoso de baja compresibilidad, según Casagrande.

De acuerdo a la clasificación de suelos para terraplenes, PG3 (2.000), se considera entre suelo seleccionado y adecuado, lo que significa que pueden utilizarse tanto en la coronación de terraplén como en el talud y en base a la clasificación francesa se puede definir como un suelo fino.

b) Ensayo de Contracción:

Este ensayo se basa en el contenido de humedad, por debajo del cual no se presentan cambios adicionales en el volumen de una masa de suelo, que resulta una indicación cuantitativa del cambio total que puede ocurrir

Resultado: 12,5%

c) Humedad Natural Promedio

Este ensayo nos indica que el suelo no expuesto a los rayos del sol y/o temperatura, mantiene un porcentaje de humedad. Por el contrario la capa más superficial del suelo, expuesta a los rayos del sol, se encuentra prácticamente seca.

Resultado: 10%

d) Permeabilidad

El ensayo de permeabilidad, es uno de los más importante, pues define el diseño de la obra, en lo que respecta a la utilización de membranas y/o el aporte de otros materiales, para mejorar la estanqueidad de la represa.

En los ensayos se obtuvo un factor $K = 10 - 4$ cm/seg que significa, la velocidad del agua para escurrir en una masa de suelo dado.

Por lo tanto, de acuerdo al valor promedio obtenido es un

SUELO FILTRANTE. Lo que justifica plenamente la utilización de una membrana geotécnica, para asegurar la estanqueidad de la represa.

e) Ensayo de Salinidad

El material permanece 24 horas en reposo, pasando a través de un tamiz N° 40. Se observaron partículas en suspensión. Como conclusión podemos asegurar que no hay contenido de sales y si lo hubiera no superaría el 0,2%.

f) Reacción al Ácido Clorhídrico (CLH)

Es muy poca y muestras, se observa una reacción positiva, en módulos de carbonatos muy pequeños y escasos, no superando el 0,2%.

g) Ensayo de Compactación PROCTOR

Este ensayo se utiliza para determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad óptima para la cual se alcanza esta densidad.

Sobre cuatros ensayos realizados, se obtuvieron los siguientes resultados promedios:

Densidad Máxima (DM) = 1,62 gr/cm³

Humedad Optima (HO) = 17,5%

Lo cual indica que agregando aproximadamente un 10% de agua sobre la masa de suelo esponjado, se puede lograr la densidad máxima, que sirve para consolidar el terraplén.

Se determinó un esponjamiento del 56,9%, es decir que sobre una capa de 40 centímetros de altura, sobre suelo esponjado, se pueden lograr capas compactadas de 15 a 18 centímetros de altura.

Se realizaron 200 ensayos de comprobación de compactación en la obra, por el clásico método de la arena, previa determinación de la densidad de la arena, sobre granos que pasan el tamiz N° 20 y retenidos en el tamiz N° 30.

En seis (6) ensayos se obtuvo una densidad promedio de 1,34 gr/cm³, que es de bajo para este tipo de suelo.

De los 200 ensayos realizados el 60% dieron como resultado el 98% al 100% de compactación sobre valor PROCTOR promedio (1,62 gr/cm³), habiéndose logrado un grado muy bueno de compactación.. El 40% de los ensayos, dieron como resultado el 95,1% al 97,9%, del valor PROCTOR, Por lo tanto se llegó a un grado de compactación general entre el 95,1% al 100%, que para este tipo de suelo fue el mayor valor obtenido para compactar..

En la obra, se procedió a comprobar la compactación capa por capa, dividiendo el perímetro del terraplén en arcos norte, sur, este y oeste.

Se rechazó la compactación en los casos que se llegó a un valor menor del 95%, **procediéndose a recompactar** hasta obtener un porcentaje ubicado entre el 95,1 al 100% del valor PROCTOR.

h) Material Granular (arena y grava)

Con respecto al material granular, que se utilizó en el hormigón, sobre muestras de acopio en obra, se obtuvieron los siguientes resultados:

En las arenas, curvas granulométricas, que se ubican dentro de las curvas límites solicitadas en el Pliego de Condiciones, bien graduadas y con un módulo de fineza (MF) igual a 3,0.

En otras palabras, estamos en presencia de arena gruesa, cuya densidad (D) es de 1,694 gr/cm³ y su peso específico es de 2,344 gr/cm³

Afinando los conceptos, la densidad es con espacios vacíos y el peso específico es sin espacios vacíos (aire) es decir vacío total, de allí surge la diferencia de valores entre densidad y peso específico.

En este último el vacío es ocupado por las partículas del suelo.

Con respecto a las gravas, la curva granulométrica, está dentro de los límites exigidos en el pliego de condiciones, graduación muy buena, porcentaje de absorción de humedad 1,1%, densidad igual a 1,882 gr/cm³ y el peso específico 2,465 gr/cm³ .

7. CONCLUSION.

Se impermeabilizó esta represa de 2 Ha. de superficie por 3 m de profundidad, mediante una membrana geotécnica, a fin de impedir la filtración por el tipo de suelo empleado en la obra y lograr una estanqueidad próxima al 100%. La membrana utilizada de 1,2 mm de espesor, es un polietileno de alta densidad (HDPE), que es resistente a los rayos ultravioletas y que tiene una duración mucho mayor a la intemperie que el PVC, siendo más estable que este último. El (HDPE) presenta una buena resistencia química a los hidrocarburos y solventes, resistiendo mejor al esfuerzo por agrietamiento.



LA IMPORTANCIA DEL PUNTO DE PARTIDA EN LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL: EL CASO DE LAS EXPLOTACIONES DE CANTO RODADO Y SUELO CALCÁREO DE LA COSTA DEL RÍO URUGUAY ENTRE LOS PARALELOS DE 32 Y 33 GRADOS DE LATITUD SUR.

Luis Muñoz⁽¹⁾

Resumen

El trabajo se refiere a los estudios y evaluaciones de impacto ambiental en la explotación de canteras. Se trata la importancia del punto de partida (el momento de inicio de los estudios) en lo referente al diagnóstico y sobretodo en la planificación de las mitigaciones, correcciones y atenuaciones durante la explotación, así como en la planificación del destino pos aprovechamiento del predio explotado. Para ello se tomó el caso de las explotaciones de canto rodado y suelo calcáreo de la franja costera de la margen derecha del río Uruguay, en la provincia de Entre Ríos. Se realizaron relevamientos de campo, y estudios con imágenes satelitales, fotografías aéreas y terrestres, etc., utilizando matrices de Leopold adaptadas para el análisis detallado. Se exponen conclusiones y se proponen procedimientos cuantitativos de valoración de resultados de matrices y métodos de comparación de beneficios socioeconómicos versus efectos no deseados de las explotaciones de recursos naturales, basados en el caso estudiado.

Abstract

The work refers to the studies and environmental impact evolutions in the quarries exploitation. Also talk about the importance of the first studies like the diagnosis, the mitigations planning, corrections and attenuations actions during the exploitation and the final destiny of the exploited estate.

Boulder and calcareous ground case, exploited in the Uruguay River's coast in Entre Ríos province was utilized in this analysis. The Fields were studied. Satellites images and aerial and terrestrial photographs were used for the detailed analysis.

Conclusions, procures and comparison methods are exposed to compare socioeconomic benefit between no wished exploitation effects of natural resource.

1. INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo principal demostrar la importancia del punto de partida en las evaluaciones de Impacto Ambiental.

A tal fin consideraremos al punto de partida como al momento elegido para juzgar los efectos causados sobre el ambiente natural por la acción desarrollada o que pretenda desarrollar el Hombre. Entendemos que en los estudios de este tipo, suelen mezclarse condiciones ambientales (sobre todo físicas, como clima, geología, topografía, etc.) que son de tipo más estables que otras, como fauna y flora, susceptibles a constantes variaciones inducidas por el hombre y verificables espacial y temporalmente.

En la explotación de recursos naturales, un estudio de impacto ambiental lleva implícito el concepto de destino futuro del predio (por ejemplo restauración, acondicionamiento, uso futuro del suelo etc.), lo que a su vez condiciona la metodología y técnicas de la misma, es decir la gestión.

Al momento de definir el destino futuro de un predio a explotar (que este en explotación o que lo haya sido en el

Entregado: 28 de Agosto de 2005 • Aceptado: 12 de Septiembre de 2005

⁽¹⁾UTN-Facultad Regional Concepción del Uruguay.
Dep. Ing. Civil, Ing. Pereyra 676, Concepción del Uruguay,
Entre Ríos.
muniozl@frcu.utn.edu.ar

pasado), la planificación de medidas de corrección, mitigación, restauración, recuperación, no serán iguales si se parte de condiciones que son totalmente naturales, como de otras que tienen parte de condiciones naturales y otras que no lo son o que lo son en grado variable.

Pensemos por ejemplo en un acondicionamiento que pretenda restaurar fauna y flora autóctonas, o sólo esta última. En cualquier caso la evolución "natural" del predio no se dará en una sucesión que nos acerque a la situación natural inicial sin afectación antrópica, a menos que todas las especies y condiciones tengan oportunidad de desarrollarse.

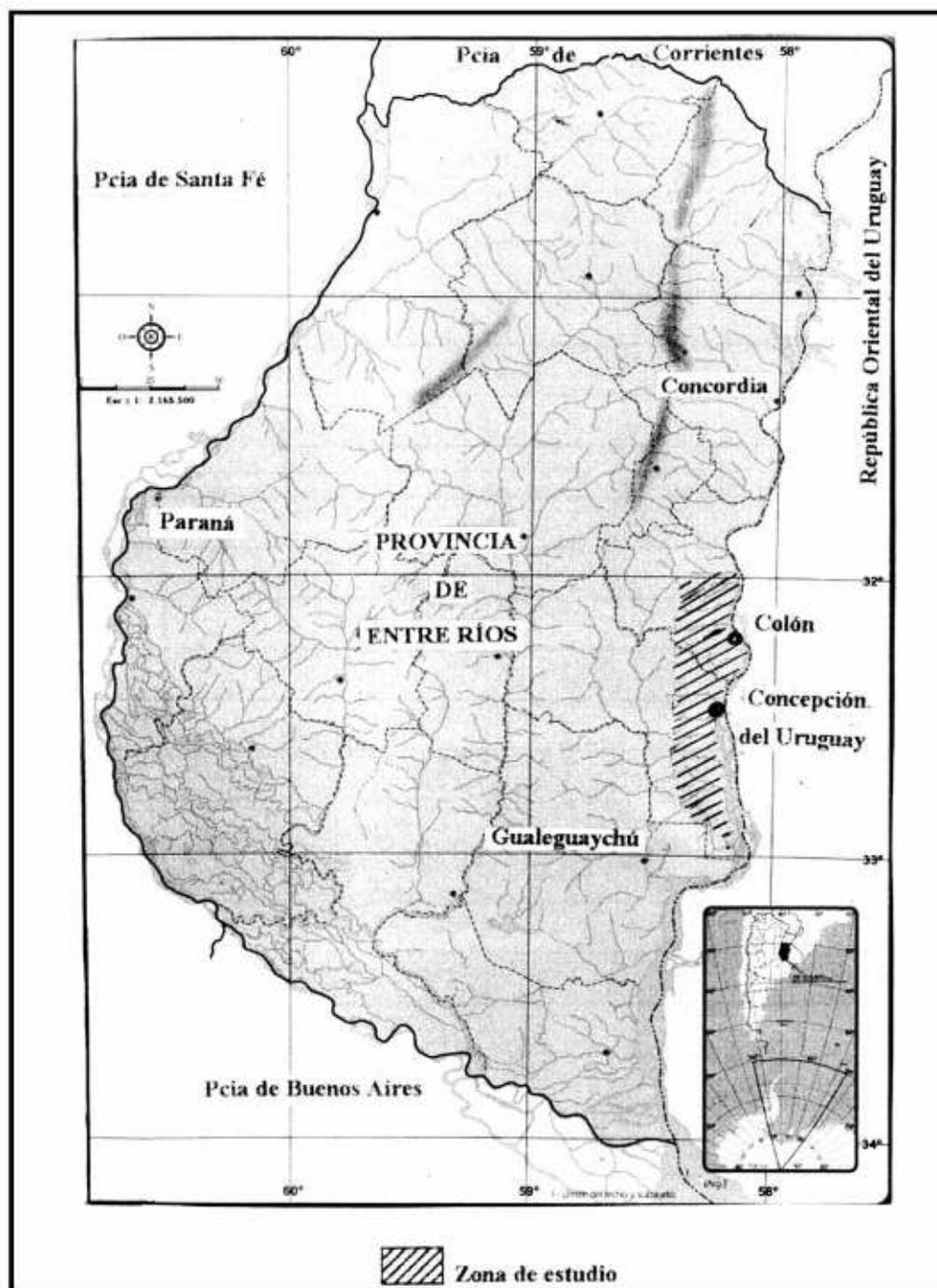
Concretamente, si no se logran las condiciones para inducir al predio en dirección al ecosistema inicial, no se

conseguirá el resultado en la restauración si se espera una vuelta a la situación natural original (sin ninguna intervención del hombre).

Las condiciones ambientales a lograr variarán ampliamente según el estado de afectación con que se encuentra el sitio en estudio, aún correspondiendo al mismo estado de explotación.

Se intenta demostrar que cuando se programe la gestión total de explotación, incluido el monitoreo pos aprovechamiento, habrá que considerar con especial atención en el estudio de impacto ambiental el tema del punto de partida, esto es la combinación de factores y elementos naturales remanentes invariables (clima por ejemplo) y los que han resultado afectados parcialmente.

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



Eso tendrá decisiva importancia al momento de programar el destino final del predio y por lo tanto la planificación de la explotación, la mitigación, minimización del impacto, restauración etc.

Pensamos que de no tenerse en cuenta el punto de partida de la evaluación en comparación con el estado en que encontraríamos el lugar antes del primer emprendimiento o explotación, en muchos casos la programación del acondicionamiento, restauración y destino final del predio puede no lograr los resultados esperados.

La evaluación de Impacto Ambiental debe considerar los dos aspectos. Es decir una evaluación según el estado natural original o lo más cercano a él que se pueda reconstruir, y otra que parta del estado actual (estado previo al emprendimiento o actividad que se piensa desarrollar, o continuar desarrollando).

Con el propósito de verificarlo, se eligió un tema y una zona que se consideran adecuados a la temática abordada.

El caso estudiado corresponde a las canteras de canto rodado y suelo calcáreo (broza) situados en una franja de unos 25 km. de ancho paralela a la margen derecha del Río Uruguay, entre los paralelos de 32 y 33 grados de latitud Sur.

2. Como se verá en la reseña histórica, no consideraremos para la zona en estudio, la interacción de los indígenas como significativa, en el sentido de afectar negativamente el medio natural.

3. Sabemos que puede cambiar por factores naturales o antrópicos, pero no es del orden de magnitud o velocidad que estamos considerando frente a otras variables.

2. GENERALIDADES.

2.1.- Caracterización de los Ambientes:

Clima:

La temperatura media anual es de 18, 5 grados centígrados, una máxima media de 25, 6 para enero y 24, 5 para febrero. Una mínima media de 12,3 para junio y 12,2 para julio.

El período mas lluvioso se extiende desde Septiembre hasta mayo con un 82 % del total, siendo marzo el mes mas lluvioso con 132 mm y junio el mas seco con 56 mm. El registro anual marca un promedio de 1050 mm Según la clasificación climática de Thornthwaite (OEA, 1969), el clima se puede definir como C2 B4 "ra", es decir "subhúmedo húmedo, mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua". (E. Martín. H. Cheli. E. Kruse. 1977).

En este punto es importante señalar un aspecto relevante, desde el punto de vista de la real repercusión de iguales acciones sobre el ambiente natural, llevadas a cabo en climas diferentes.

Según puede consultarse en trabajos sobre la minería en América latina, y con los cuales se coincide, las explotaciones mineras en climas áridos tienen menores afectaciones ambientales. En realidad estos climas al carecer prácticamente de agua, no enfrentan el problema de la disolución y transporte de contaminantes y sedimentos removidos y tanto la biodiversidad como el número de seres vivos es notablemente menor. Tampoco

son regiones habitualmente habitadas. Por lo tanto el impacto ambiental es sensiblemente menor en cuanto a los seres vivos.

Sin embargo la dinámica climática de las regiones tropicales, subtropicales o templadas húmedas como la que nos ocupa, contribuye a cierto grado de recuperación natural de los sitios explotados, tanto en la flora (y por lo tanto a la fauna, cuando las especies no han sido erradicadas), como así también en lo que respecta a la morfología, suavizando formas y pendientes en general y colmatando progresivamente las excavaciones a través de la acción de la erosión y sedimentación en los primeros tiempos, en excavaciones y acopios expuestos sin cobertura vegetal inicial. Debe tenerse en cuenta que la erosión actúa rápidamente (las precipitaciones son de 1000 a 1100 mm anuales).

2.2. Aspectos geoambientales:

2.2.1.-Geología:

Resumidamente podemos decir que el basamento cristalino responde a una fracturación en bloques que determina un ascenso del mismo hacia el sur (aflora en la isla Martín García, 160 km al sur de la zona de estudio), aunque posiblemente con altos estructurales intermedios, como el de Concepción del Uruguay donde se encuentra a 460 metros.

Hacia el norte (Colón), se profundiza apareciendo en el orden de los 780 metros de profundidad.

Continúa luego una sucesión de sedimentos paleozoicos y mesozoicos que se acuña hacia el sur.

En Colón aún aparecen areniscas que podrían asignarse a la formación Misiones (Tacuarembó en el Uruguay), suprayaciendo al basamento granítico, con un espesor de unos 40 metros mientras que en Concepción del Uruguay los basaltos cretácicos apoyan directamente sobre el basamento, por lo que las areniscas nombradas se acuña entre estas dos localidades.

El basalto de la formación Posadas (fm Serra Geral, lavas del Arapey) aparece a 220 metros de profundidad en Colón, con un espesor de 500 metros, mientras que en Concepción del Uruguay el techo está a 282 metros con un espesor de 178 metros.

Esto grafica el rápido acuñaamiento de la secuencia en dirección sur, lo que también ocurre en territorio Uruguayo.

Los depósitos mesozoicos continúan con las areniscas cretácicas de la formación Puerto Yeruá

La secuencia cenozoica está representada por rocas calcáreas pertenecientes a las formaciones Arroyo del Castillo y Arroyo Avalos.

Continúan las arenas, areniscas cuarcíticas y conglomeráticas de la formación Salto Chico y las arenas de la formación Ituzaingó, con la que culminan los depósitos terciarios y se inician los cuaternarios en la región.

Hay depósitos principalmente arcillosos y limoarcillosos

Los limos calcáreos, explotados como suelos calcáreos (broza), son depósitos de variada granulometría (predominantemente limo), con participación de carbonato de calcio precipitado químicamente a partir de las aguas subterráneas.

Las gravas de la formación Ubajay son los depósitos aflorantes que contienen en su mayor parte los yacimientos de canto rodado, conjuntamente con los

aluviones y reddepósitos actuales.

Basado en: *Gentili A. - Rimoldi H. "Mesopotamia". Geología Regional Argentina. Córdoba. 1979.* Complementado con información de "*Sistema Acuífero Guaraní*". UNL. *Sta Fé. Arg. 1998.* Debe señalarse que las perforaciones que se realizan en búsqueda de aguas termales complementan permanentemente la información de la geología profunda.

2.2.2-Geomorfología:

Morfológicamente la zona de estudio pertenece al ambiente de lomadas, con una red de drenaje muy bien desarrollada, de tipo maduro, donde es probable la persistencia de un movimiento de ascenso regional que reactiva el paisaje.

Los desniveles de las lomadas son del orden de decenas de metros, aunque las pendientes pueden alcanzar valores que las hacen susceptibles de erosión, sobre todo cuando el manejo del suelo en lo que hace al laboreo agrícola, no es el adecuado.

Las formas singulares están representadas por médanos costeros en la margen del Río Uruguay, de tipo eólico, originados con material proveniente de las arenas fluviales y por la terraza alta del Río Uruguay que fué citada con anterioridad. Cuando se conservan relictos de la misma hasta el límite mismo de la planicie de inundación, da origen a barrancas escalonadas que pueden alcanzar hasta 10 metros de desnivel total.

Los perfiles topográficos transversales a los arroyos permiten reconocer por lo menos un nivel de terraza o agradación de los mismos no alcanzada por las actuales planicies de inundación, principalmente hacia las nacientes, lo que confirmaría el ascenso regional antes mencionado.

En cuanto al entorno ambiental en el que se sitúan las canteras, además de la localización geológica (de unidades geoambientales), es de destacar que en el caso de cursos de orden 1 y 2 (cañadas semipermanentes y arroyos permanentes de caudal en general menor a 1/2 m³/seg para esta zona), el monte en galería en algunos tramos se interrumpe o se hace ralo o poco denso. Esto se explica porque los cursos carecen o tienen planicies de inundación o valles muy estrechos. Como consecuencia de ello la distribución de la vegetación adopta esta característica, o en otros casos las explotaciones agropecuarias han desmontado hasta la orilla, aprovechando la ausencia de planicie inundable, dada la reducida superficie de las cuencas respectivas.

2.2.3-Suelos:

Los suelos presentes en la región pertenecen a dos grupos principales: Vertisoles (arcillosos) y de terrazas (arenosos)

De este a oeste desde la ribera del Río Uruguay encontramos dos grupos de distribución en franjas subparalelas elongadas de norte a Sur, que a su vez pueden diferenciarse en subgrupos

Suelos de las terrazas aluviales:

Estos a su vez comprenden

- De la terraza antigua, de coloración rojiza, predominantes hacia el norte de la zona de estudio, adyacentes a la margen derecha del Río Uruguay
- Suelos pardos de la terraza arenosa superpuestos a

aluviales arcillosos situados en una franja adyacente a los primeros inmediatamente hacia el oeste.

Los suelos arenosos son muy susceptibles a la erosión, dada su escasa cohesión.

Vertisoles: A su vez en estos suelos arcillosos en general de tonalidad negruzca se pueden identificar tres variedades presentes: a) vertisoles hidromórficos con microrelieve gilgai, donde las condiciones geomorfológicas favorecen la presencia de agua b) vertisoles con gilgai, asociados a brunizem vertisólicos, con erosión leve a moderada) vertisoles con microrelieve gilgai y erosión leve. Basado en: *Plan Mapa de suelos. INTA.*

2.2.4- Hidrología e Hidrogeología:

La macroregión en la que está situada la zona de estudio está comprendida dentro de la cuenca del Río Uruguay.

La forma de esta cuenca refleja un control estructural importante que se traduce en una manifiesta asimetría, ya que el 75 % del área de la misma pertenece a la margen izquierda, (Brasil y Uruguay). Esta característica es importante desde el punto de vista Ambiental ya que hace al manejo de la misma. El desarrollo de la cuenca de la margen derecha (Argentina) corresponde a una estrecha franja, ya que las tres cuartas partes de la superficie de la mesopotamia corresponden a la vertiente oeste, es decir hacia el Paraná.

La aludida asimetría tiene como consecuencia que en la contribución al caudal los aportes de la margen Uruguayo brasileña revistan mayor importancia y por lo tanto se constituyen en un factor decisivo en cuanto a la calidad del agua.

El área de estudio está comprendida dentro de las subcuencas correspondientes a los afluentes de arroyos que desembocan directamente al Río Uruguay, que de norte a sur son Pos Pos, Mármol, Caraballo, Perucho Verna, Arroyo de La Leche, Arroyo Urquiza, Arroyo El Molino, Arroyo de La China, Arroyo El Tala y Arroyo Osuna.

Estos cursos de agua disectan la terraza antigua o alta del Río Uruguay regulando la distribución geográfica de los afloramientos de canto rodado, según una cota variable desde 17 al norte hasta 12 y aún menos al sur. El régimen de estos cursos de agua tiene como característica una gran variación entre los caudales medios o módulos y la avenidas torrenciales, con aumentos del orden de 100 veces en el caudal en coincidencia con precipitaciones abundantes, del orden de 50 a 100 mm en un día.

Esto tiene importancia ambiental, tanto desde el punto de vista de las crecientes, como de la existencia de una franja en las planicies de inundación, excluida desde el punto de vista de las explotaciones agrícolas y en general ocupada por selva o monte en galería.

Otra característica importante es la ocurrencia de inundaciones en forma de remansos, durante las crecientes del río Uruguay, producto de la baja pendiente de sus cursos inferiores estos remansos alcanzan hasta unos 10 kilómetros desde la desembocadura hacia aguas arriba de los mencionados afluentes, con variaciones de 5 a 7 metros de la cota del pelo de agua, al menos una vez al año.

Estas inundaciones, que en general sumergen también gran parte de las islas y planicie de inundación del Río

Uruguay, ocasionan un importante migración invasiva de fauna, observándose sobre todo un gran desplazamiento de la avifauna de ambiente acuático y palustre, hacia las transitorias márgenes limítrofes de las crecientes, tierra adentro.

Aguas subterráneas:

Los acuíferos están situados en las formaciones Ituzaingó al norte, Salto Chico y Puerto Yerúa. Las formaciones Ao. del Castillo y Ao. Avalos proporcionan acuíferos de salinidad elevada, resultando aguas salobres contenidas en fisuras y diaclasas de la rocas calcáreas.

El nivel de agua libre (freático, primera napa) presenta riesgo de contaminación y en parte está contaminado en zonas urbanas y suburbanas, y en grado variable presenta riesgos en algunas zonas rurales por presencia de agroquímicos. Estos últimos también afectan periódicamente a algunos cursos de agua.

En general hay una interacción entre los cursos de agua y el nivel de agua libre.

La recarga de este acuífero es local.

En profundidad, desde la localidad de Colón hacia el norte se explotan acuíferos profundos de aguas termales, alojados en las areniscas de la formación Misiones (tacuarembó en Uruguay, Botucatu en Brasil). Este acuífero que se comparte con Brasil, Uruguay y Paraguay, tiene en Entre Ríos carácter surgente, ya que está confinado por los basaltos de la Fm Posadas (Serra Geral en Brasil y lavas del Arapey en el Uruguay). La recarga del mismo se encuentra en estos últimos países. La profundidad del mismo en territorio entrerriano oscila entre 750 metros (Colón) y algo más de 1000 metros más al norte. Las temperaturas de surgencia son variables, en general entre 35 y 45 grados centígrados dependiendo de la profundidad (gradiente geotérmico). En Villa Elisa presenta elevada salinidad.

3. CARACTERIZACIÓN PARTICULAR DE LOS AMBIENTES EN LOS QUE SE SITUAN LOS YACIMIENTOS.

Ubicación de los principales yacimientos (ver fig. 2)

- 1-Canteras(yacimiento) Sumaca
- 2- Grupo de canteras (yac.) Itá-I-Corá. Colón.
- 3- Canteras (yac.) Colonia San Anselmo
- 4- Canteras (Yac.) Blanc
- 5- Canteras (yac.) Campichuelo
- 6- Cantera El Colman (Tayretá)

Se realizaron evaluaciones de impacto ambiental con elaboración de matrices de los casos 2, 4, 5 y 6. En todos los casos se realizaron 2 matrices de acuerdo al concepto desarrollado en el trabajo. Se incluye solo una (de las de Itá I Corá) a modo de ejemplo: Fig.3).

3.1- Grupo A: Canto rodado (1, 2, 3, 4, 5)

Estos materiales corresponden litológicamente a gravas arenosas y arenas con grava, ocupando morfológicamente la terraza alta del Río Uruguay.

Esta terraza está desarrollada, como se expresó anteriormente, a cotas variables desde aproximadamente 20 al norte (paralelo 31° 30') y 5 a 10 al sur, (paralelo

32° 40'). Los espesores promedio son de dos metros, si bien se han explotado potencias desde 1 a 5 metros aproximadamente.

En la zona norte el ambiente geomorfológico típico es de lomadas, y los yacimientos se ubican en divisorias y lomadas, El rasgo obedece a que una vez disectada la terraza, la erosión de los sedimentos infrayacentes (arenas y materiales en general de menor granulometría) es más efectiva.

Cuando la terraza aflora, el suelo es permeable, con escaso desarrollo. La vegetación es de monte, de especies resistentes como espinillo (Acacia caven); chañar (Geoffroea decorticans), ñandubay (Prosopis algarrobilla, Tala (Celtis spinosa), molle etc.)

Cuando está cubierta por suelo limoarcilloso puede ser de baja permeabilidad. El desarrollo del suelo es óptimo y la vegetación muy variada, incluyendo las especies citadas y otras que se presentan según la clasificación explicitada más adelante (ver listados de fauna y flora).

En el extremo sur de la zona estudiada el ambiente geomorfológico de los depósitos es distinto, como así también la flora. Morfológicamente los depósitos yacen en niveles de antiguas planicies del río. La cobertura de los niveles explotados por 2 a tres metros de arcillas verdosas plásticas, hace suponer intrusiones marinas cuaternarias con cambios del nivel de base, donde espesores de hasta 5 metros de gravas arenosas y arenas con grava suponen un nivel del mar por lo menos decenas de metros por debajo del actual. En estas condiciones hay canteras en explotación donde el nivel actual del río cercano, vinculado al nivel freático y a riachos y arroyos determina la necesidad de bombeo para mantener la excavación drenada. Esto puede observarse al este de la población de Colonia Elía (Pto Campichuelo).

Como veremos más adelante estas diferencias gravitarán sobre la situación post aprovechamiento así como sobre los posibles destinos futuros de los predios.

3.2- Grupo B: Canteras de suelo calcáreo

(6. Debe señalarse que fueron reconocidas numerosas canteras, aunque esta fue seleccionada como piloto por su importancia y representatividad para la elaboración de matrices de Leopold) y evaluación ambiental.

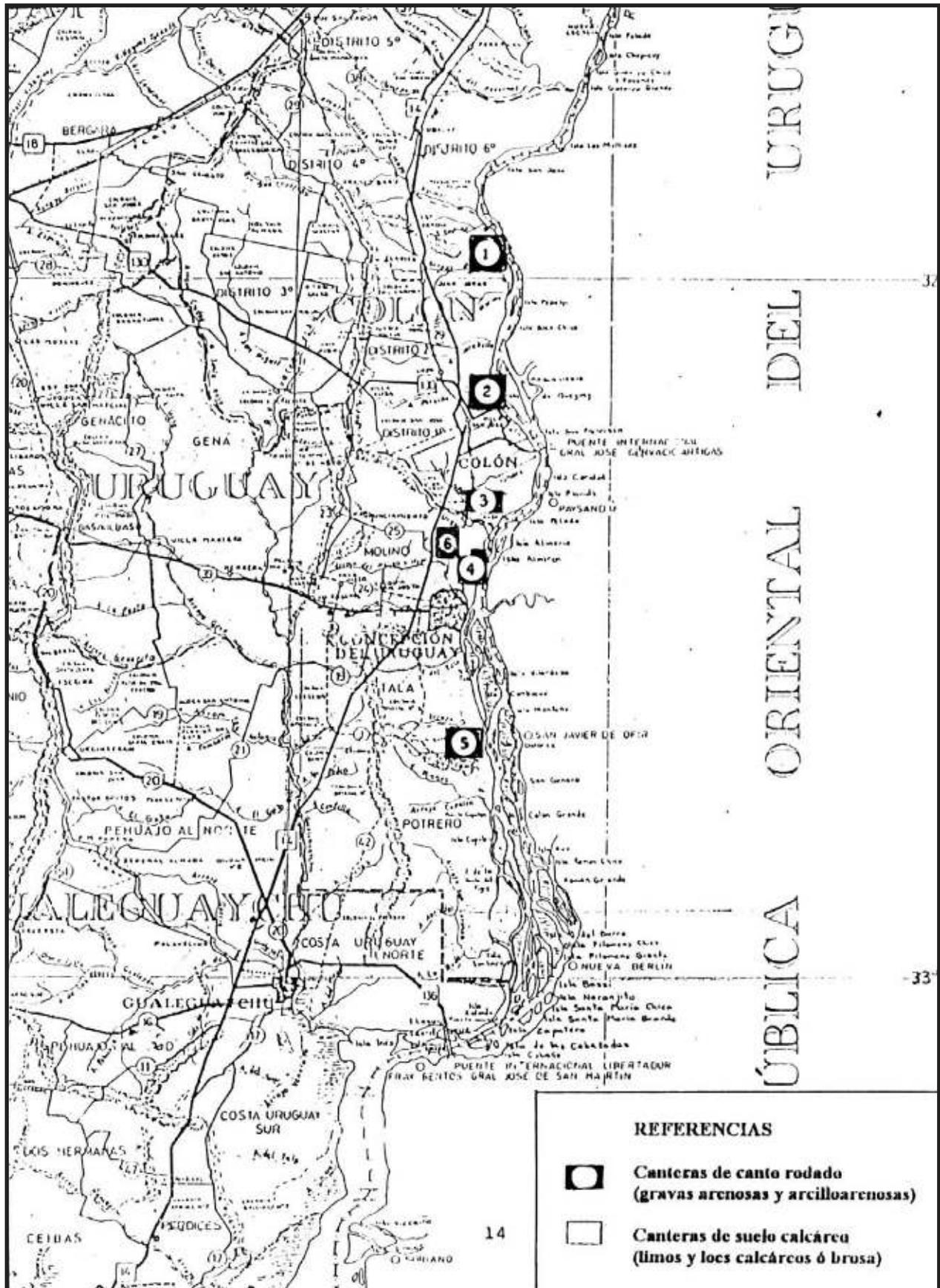
Estos yacimientos están vinculados al movimiento de aguas subterráneas, que arrastran carbonatos (principalmente de calcio) disueltos, responden a dos mecanismos principales: La oscilación del nivel freático que precipita carbonatos en los periodos de descenso, y al ascenso capilar que precipita carbonato de calcio por evaporación. En general los suelos o formaciones originales corresponden a limos, limos arenosos, limos arcillosos y sus mezclas.

Morfológicamente en la zona estudiada aparecen en niveles inferiores a las gravas, cuando estas están presentes. En general están ocupando la unidad geoambiental situada entre la terraza descrita para las gravas y las planicies aluviales de los cursos de agua.

La permeabilidad es variable, normalmente bastante menor a las de las canteras de gravas, excepto cuando estas últimas son muy arcillosas, lo que no es muy frecuente.

Se puede observar la presencia de algunas especies caracterizando este ambiente, como por ejemplo el tala.

FIGURA 2. UBICACIÓN DE LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS.



4. EL PUNTO DE PARTIDA PARA EL CASO CONSIDERADO.

4.1- Definición de la situación natural inicial

Diferenciaremos "punto de partida", como el momento de encarar el estudio de impacto ambiental de un emprendimiento o situación que se desee analizar, de "situación inicial", utilizada en la terminología comúnmente con ese sentido, reservando esta última para el estado natural sin afectación antrópica, que pasaremos a reseñar para el caso estudiado.

El concepto de situación natural inicial se define a los fines del presente trabajo como el estado previo a la llegada de los primeros colonizadores. En realidad no referido al posible paso esporádico de los mismos en las primeras expediciones, sino anterior a los primeros asentamientos.

4.2- La importancia del punto de partida en la evaluación

Si se parte de la condición actual del entorno de alguna cantera y se pretende restituirla a una condición ambientalmente aceptable, "recuperarla", se tienen las siguientes alternativas:

a)- adaptarla al entorno actual, que puede ser de aptitud y explotación agrícologanadera

b)- reconstituir un entorno natural, de acuerdo al estado de conservación del lugar mas cercano que se conserve "sin afectación visible". Por ejemplo monte.

c)- volverla a su estado "inicial". Según nuestra reseña histórica como estaba hace dos siglos .

Si tenemos en cuenta que todo el ambiente es interdependiente, y pretendemos recuperar el área a su estado inicial (c), nos encontraremos con que nos faltarán especies y condiciones ambientales (incluidos la topografía y el perfil de suelo) para que el proceso de regreso al ecosistema inicial pueda desarrollarse.

Dado que este caso será frecuente (si no siempre), deberemos recrear una nueva situación considerada como "óptima", que se espera alcanzar, con un entorno natural, condiciones ambientales y especies disponibles, que no nos permitirán alcanzar la situación de equilibrio de hace dos siglos. Esto es así porque si en el momento 0 de una repoblación por ejemplo, no se inicia con las mismas especies, en iguales condiciones ambientales, difícilmente se pueda prever y obtener un resultado igual.

Otro factor a tener en cuenta es el desplazamiento de cierta fauna que ya no es posible reinsertar en el ecosistema, como felinos (yagareté, gato montés), y otros que serían combatidos por ser enemigos naturales del hombre o incompatibles con ciertas actividades agropecuarias.

La práctica de utilizar catálogos y guías de fauna y flora en la descripción y aún en el reconocimiento y de caracterización de la biota en las zonas de estudio, resulta en la mayoría de los casos no solo errónea sino contraproducente, ya que de las especies descritas como características de cada región solo queda el recuerdo de las tierras vírgenes.

En realidad esto debería hacerse como inicio de los trabajos de estudio de impacto ambiental a fin de definir cuan alejado está el punto de partida de la situación natural original.

5. EL CASO DE LAS CANTERAS.

5.1- Antigüedad de las canteras

Las de mayor antigüedad se ubican en C. del Uruguay La roca calcárea con seguridad se usaba ya en el año 1800 en diversas construcciones. Tomaremos esta fecha como punto de partida cuantitativo en la explotación sistemática de canteras.

El auge de la construcción en Buenos Aires a mediados del siglo pasado (XX), comenzó a demandar agregados para hormigones, que comenzaron a proveerse desde el litoral. Hacia la década del 60 una creciente explotación de yacimientos de canto rodado movilizaba una importante actividad minera desde la zona del Palmar de Colón hasta Campichuelo, en una franja costera, donde varios embarcaderos cargaban piedra lavada (agregados gruesos) en barcos y barcazas empujadas por remolcadores.

Consideraremos por lo tanto medio siglo de explotación intensiva, aunque el pico estuvo desde mediados de los años cincuenta, hasta principio de los setenta.

En lo referente a suelo calcáreo, dado su uso local y de menor significación económica, la determinación de la antigüedad es mas difícil. Por esta misma razón se asume su explotación inicial como de baja significatividad inicial, y se subordinará en este aspecto a las anteriormente descriptas. Recientemente se conoce el caso de una cantera de 10 años de antigüedad que ha comenzado a comercializar material a distancias considerables, favorecida por su ubicación en cuanto a comunicaciones.

6. RECOMENDACIONES.

6.1- De relevamiento de las condiciones naturales y su comparación con las condiciones originadas por la excavación.

- En las evaluaciones de impacto ambiental de canteras y fin de determinar con mayor precisión el destino final del predio y/o la restauración y reacondicionamiento posterior a la explotación deberá realizarse una evaluación de impacto ambiental según la situación actual del predio y otra según la situación en un área cercana de similares características ambientales físicas, pero con la menor afectación antrópica que sea posible localizar en la zona. De esta manera existirá la posibilidad de evaluar diferentes alternativas de minimización, mitigación y sobretodo de restauración.

- Se deberán comparar las condiciones originales del predio (fauna y flora existentes hace dos siglos en nuestro caso; fauna y flora que correspondería según regiones fito y zoogeográficas en general para otras regiones).

De acuerdo a la comparación de las condiciones ideales y las reales existentes regionalmente y con posibilidades de lograr en el sitio considerado, se analizarán las opciones de recuperación, destino y/o restauración del sitio. Esto es así porque las condiciones naturales

originales no serán posibles de conseguir, al menos en el área considerada en este trabajo, recordemos el ejemplo del caso del yaguareté y tantos otros integrantes de fauna (y flora?) erradicados intencionalmente por significar un riesgo directo para el hombre o interferir en las actividades productivas. Para este propósito deberá considerarse con especial atención la posible secuencia geomorfológico-biológica de recuperación natural del área una vez establecidas las condiciones que se consideran adecuadas.

- Será necesario un reconocimiento geológico con mapeo expeditivo a escala 1: 50.000 y un relevamiento geológico de detalle a escala a determinar según las características del yacimiento, pero que orientativamente podemos fijar en 1: 1.000, con especial atención a las características edafológicas, topografía e hidrogeología.

- Se deberán registrar nuevas condiciones geológicas teniendo en cuenta el material a retirar (horizonte a explotar) y el retirado en caso de estudio de impacto para una reactivación o recuperación de una vieja explotación.

- La topografía interesa por la magnitud de los materiales a remover según el plan de restauración, como por los procesos de erosión sedimentación. la relación y comparación de pendientes con tipo de suelo expuesto en la situación pos explotación permitirá proyectar la magnitud del proceso. Sobre todo si no hay seguridad respecto a la protección vegetal.

Hidrogeológicamente deberá registrarse la situación existente en la explotación, o la situación pos aprovechamiento prevista atendiendo a:

- Conformación de ventanas de recarga del nivel freático, por eliminación de parte o todos los niveles de baja permeabilidad que pudieran existir naturalmente, con la variación consecuente de la vulnerabilidad del acuífero.

- Situación del nivel freático respecto al fondo de la explotación.

- Relación existente o esperada, según corresponda entre el escurrimiento superficial y la permeabilidad del fondo de las excavación para proyectar el drenaje, si resultara conveniente.

- Se deberá tratar de establecer la cadena de eventos y procesos que harán evolucionar al predio contando con una fracción de las condiciones ambientales originales.

- Si se parte se regiones fito y zoogeográficas solamente, será imposible alcanzar o cumplir con un plan de recuperación o restauración porque en la mayoría de los casos el único elemento natural que persistirá intacto será el clima (a corto plazo). En el caso que nos ocupa (minerales) inclusive las condiciones geológicas y geomorfológicas habrán variado.

- En lo que hace a fauna y flora, es obvio que si se trata de restaurar una situación biótica autóctona, los elementos a considerar en la cadena evolutiva del predio serán sensiblemente mas reducidos que la situación original. Consideremos por ejemplo la cadena trófica y las condiciones favorables al desarrollo de ciertas especies vegetales inducidas por otras, como también las

relaciones interespecíficas como simbiosis, comensalismo, mutualismo, etc.

- Si bien el acondicionamiento con especies exóticas es una posibilidad a considerar, no se analiza en el caso de restauraciones hacia la situación de estabilidad natural por introducir variables imponderables, al menos en lo que respecta a la interacción de distintas combinaciones de especies introducidas para diferentes ambientes. Deberá tenerse en cuenta si la especie solo se adaptará en cuanto a su supervivencia y crecimiento, o si será capaz de reproducirse y propagarse independientemente.

6.2- Del punto de partida según el uso del suelo y la densidad de población

6.2.a- Caso de zona de explotación agrícola-ganadera:

En este caso la explotación puede presentar la oportunidad de acondicionar un área con vegetación, que en el caso de proyectarse la existencia y desarrollo de la fauna, deberá pensarse en flora autóctona.

Los casos de grandes extensiones, como la zona de Campichuelo, donde además hay baja densidad poblacional ofrecen la oportunidad de constituirse en futuras áreas de refugio y reserva, ante el desplazamiento originado por las explotaciones agrícola-ganaderas.

6.2.b- Casos de áreas suburbanas y rurales de mediana densidad de población:

En este caso la cercana presencia del hombre, determina como se ha observado en los trabajos de campo, que aún existiendo condiciones de una recuperación parcial de la fauna, por el desarrollo natural de cierto tipo de monte, esta no prospera. Solo parte de la avifauna y microfauna reconquista las áreas explotadas.

En este caso la recuperación, restauración o acondicionamiento final deberá orientarse a las siguientes alternativas:

- Reacondicionamiento de la explotación con tendido de taludes y devolución del manto orgánico, si no hay presencia de agua. Esta recuperación ofrece variadas alternativas de uso.

- Uso recreativo si no es posible evitar la inundación por presencia del nivel freático o de agua de lluvia no drenable. Deportes náuticos, baño o cría de peces.

Es oportuno señalar que otros usos son posibles, como vertedero controlado de residuos y construcciones, etc., pero no tienen relación con este estudio.

6.2.c- Caso de zonas urbanizadas:

No corresponden explotaciones en estas áreas, pero se da el caso de algunas existentes o que se reactivan por motivos de fuerza mayor como inundaciones y otras urgencias. Este es el extremo en los estudios de impacto ambiental respecto al punto de partida, ya que el hombre no ha dejado prácticamente nada del ambiente natural.

En este caso se considera como alternativa de recuperación la conformación de un espacio arbolado, si no hay agua, o es posible solucionar su presencia.

Aquí es posible y tolerable e incluso conveniente en ciertos casos, la introducción de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas no autóctonas, ya que no es esperable ningún grado de recuperación o evolución natural biológica del predio. Para el acondicionamiento del suelo, donde sobre todo en las canteras de suelo

calcáreo es frecuente la ausencia de suelo orgánico acopiado, debe considerarse la posibilidad de instaurar una norma según la cual el suelo orgánico retirado para edificar viviendas, edificios y construir caminos, calles etc. (ya que es inapropiado como fundación), sea destinado a la restitución de dicho horizonte en las excavaciones donde sea posible hacerlo (donde se den las condiciones de drenaje, etc.)

6.3 De los procesos vinculados a la "autorestauración" de las excavaciones:

Evolución geomorfológica de las pendientes de los taludes:
Caso del yacimiento Itá I corá:

Si bien el proceso fue observado en varios casos, se eligió la excavación que se describe por representarlo en sus fases iniciales.

En las figuras con texto explicativo 4 (a - d), y 5 (a - c), se ilustra el proceso.

La extracción de canto rodado y de arena deja expuestos taludes de varios metros de altura

Puede observarse que el nivel correspondiente al suelo orgánico u horizonte "A", permanece cohesionado en forma de cornisa o voladizo, lo que es una prueba de su mayor resistencia a la erosión. La cohesión es en parte proporcionada por el porcentaje de arcilla y materia orgánica, y por la fijación que representan las raíces visibles y todo su sistema de pelos absorbentes.

La erosión retrocedente en forma de derrumbes y deslizamientos continúa tiempo después de interrumpida la excavación en un frente de cantera, involucrando vegetación arbórea y arbustiva. Esto es literalmente un proceso de autoreacomodamiento del suelo orgánico (ya que no es una restauración o una formación de suelo en

FIGURA 4.

Autorestauración de canteras

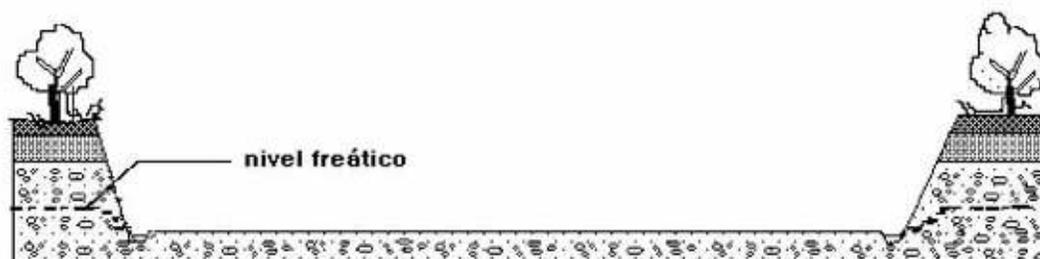


Fig. 4 a

Durante la excavación el agua proveniente del nivel freático es drenada mediante zanjas y sumideros

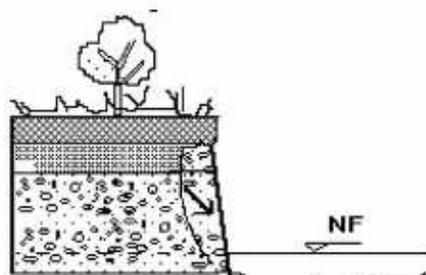


Fig. 4 b

El NF y las lluvias inundan la excavación. Comienzan derrumbes en niveles inestables.

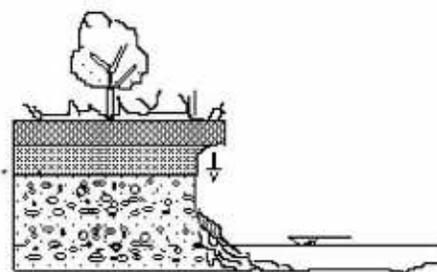


Fig. 4 c

Los derrumbes disminuyen la pendiente y el suelo orgánico origina una pendiente negativa.

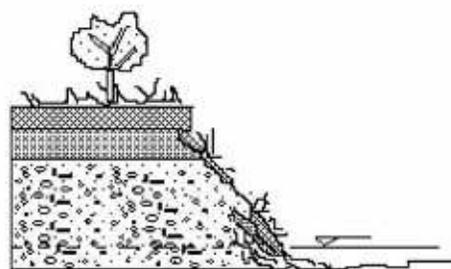


Fig. 4 d

El desprendimiento de suelo orgánico comienza a tapizar parte del talud y comienza el desarrollo de vegetación.

FIGURA 5.

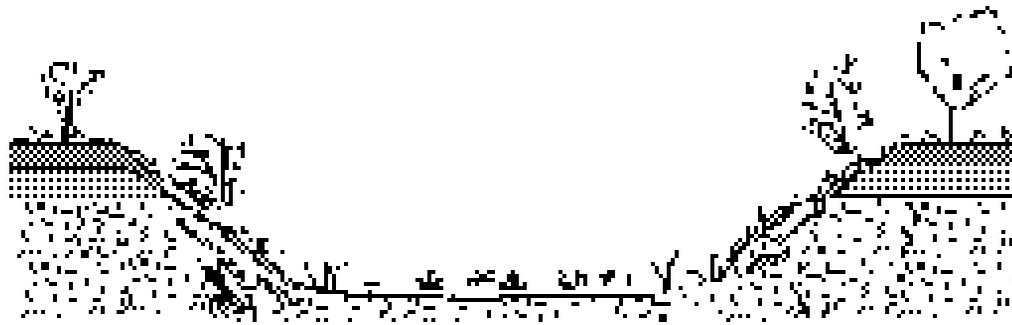


Fig. 5a

La excavación evoluciona hacia un subambiente con vegetación acuática y los taludes se cubren progresivamente de mata herbácea. Vegetación arbórea de monte espumoso comienza la conquista de los ambientes emergentes.

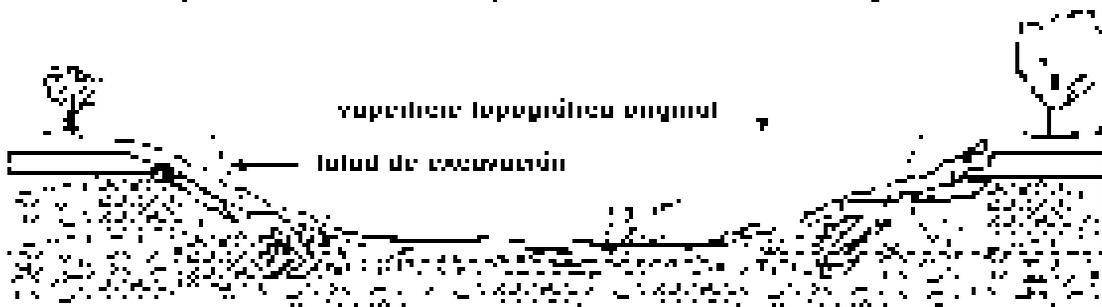


Fig. 5b

En el transcurso de la consolidación del sustrato, el agua queda atrapada en los huecos, produciéndose un ambiente acuático en las zonas profundas.



Fig. 5c

sentido estricto) por cubrimiento natural.. El proceso continúa con deslizamientos o disminución de valores de pendiente por relleno progresivo desde el pie o base del talud y desarrollo de vegetación arbórea.

a)- El del talud propiamente dicho y una zona de sedimentación o relleno, donde puede apreciarse el pasaje de excavación anegada a zonas de fondo emergente. El tipo de vegetación que va conquistando estos ambientes se desarrolla según van evolucionando las condiciones del sustrato. En este caso se observa vegetación herbácea y arbustiva.

b)- El área originalmente correspondiente al fondo de la excavación, que se ha ido colmatando progresivamente con sedimentos transportados por el agua de escurrimiento superficial proveniente de las zonas de taludes de excavación o acumulaciones de material de destape. El material de destape puede estar compuesto

por suelo orgánico o mezclas del mismo con material de cobertura estéril desde el punto de vista del yacimiento (arcillas, limos).

En este subambiente se puede observar vegetación acuática del tipo de las algas, como también flotantes (repollitos). Los diversos estadios observados según el tiempo transcurrido permiten ver que cuando la profundidad decrece comienza la conquista de especies que se fijan al fondo y emergen, para finalmente incorporarse otras propias de ambientes hidromórficos.

Luego en fondos emergentes se desarrollan especies arbóreas. Los espinillos que se observan allí tienen aproximadamente 5 años de desarrollo y según lo observado en planicies de inundación de arroyos, se asume que son necesarias condiciones exentas de anegamientos prolongados y/o frecuentes, para el desarrollo de los mismos.

6.4 - El punto de partida desde la situación Geológica inicial:

Para la evolución reconstitutiva del predio, con o sin intervención significativa del hombre es importante tener en cuenta los siguiente aspectos:

- Geomorfología: Si el sitio tiene bajas pendientes o el terreno es aterrazado, la dinámica erosiva se manifestará en menor proporción y sólo en la excavación.
- Si en cambio se trata de lomadas la misma se acelerará.
- En el caso de lomadas, es frecuente que no se haya desarrollado el suelo orgánico, o que haya sido erosionado por procesos naturales o acción antrópica. En estos casos prácticamente afloran en el terreno las gravas y por lo tanto los procesos descriptos anteriormente de "autorrestauración" serán mínimos.
- En aquellos casos donde la morfología de lomadas es marcada, el desarrollo de vegetación arbórea tiende a ocultar las excavaciones a mimetizarlas y a suavizar las formas, por lo que el impacto paisajístico resulta menor. En algunos casos durante los reconocimientos, en estas áreas se identifica la excavación al estar directamente sobre ella.
- La presencia de un nivel de material limoso o limoarcilloso intercalado entre el horizonte "A" y el manto explotable (destape), favorece el proceso de "autorrestauración", ya que aporta material fino, por erosión de taludes y contorno, que se sedimenta en la excavación.

7. MATRIZ DE LEOPOLD

7.1- Procedimiento empleado:

Se adaptó una matriz de este tipo, la cual se fue complementando de acuerdo a las problemáticas que se fueron presentando en el transcurso de los trabajos de campo y gabinete. Las características de la misma son las siguientes:

Las interacciones de acciones antrópicas con elementos del medio fueron cuantificadas en 5 categorías:

1, 2 y 3 positivas, de menor a mayor impacto

1,2 y 3 negativas de menor a mayor impacto

En blanco, cuando no hay interacción

A su vez se incluyeron las siguientes variables:

T: indica que el impacto es temporal o transitorio

L: indica que el impacto es local (por ejemplo que afecta al área de excavación)

G: El impacto es regional, es decir que hay una zona o área de influencia que excede la excavación en sí (puede referirse por ejemplo a la afectación en el escurrimiento superficial, al agua subterránea, a la generación de empleo o al lugar de destino del material extraído).

P: Indica impacto permanente. Es importante destacar que hay casos en que esto podría evitarse (por ejemplo nivelación parcial y restitución del horizonte orgánico, aún en canteras abandonadas hace mucho tiempo), aunque se decidió tomar el criterio de la realidad actual, y el concepto de la peor condición esperable).

A fin de identificar tanto las acciones mas impactantes en el medio natural, así como los elementos mas afectados, se realizaron las sumas por columnas y por filas respectivamente.

a su vez, para una mejor comprensión e identificación de

los componentes o sectores mas afectados, se realizó la suma algebraica de los elementos por grupos.

El análisis de casos particulares de determinadas interacciones se utiliza para llamar la atención sobre situaciones especiales.

La realización de dos matrices para un mismo caso, una considerando al ambiente natural lo menos afectado posible (comparación con lugares cercanos) y otra en el sitio de la explotación, se efectúa como uno de los métodos ideados para la demostración de la necesidad de definir el punto de partida en las evaluaciones de impacto ambiental.

También se comparó, por el método de realizar dos matrices para un mismo caso, la convencional y otra mostrando la atenuación del impacto regional, considerando el efecto positivo resultante del rol que pasan a ocupar algunas canteras como recuperación de cierta flora autóctona y de refugio de fauna (terrestre, acuática y avifauna).

Es importante destacar que la metodología de análisis elegida para la categorización de impactos se implementó de manera de obtener una cuantificación lo menos subjetiva posible. Por lo tanto no se ponderaron los efectos de las acciones sobre los elementos naturales ni sobre los factores socioeconómicos. Esto resulta en una incidencia numérica poco significativa de los beneficios socioeconómicos de las explotaciones (empleo, construcción, caminos, etc). Por lo tanto, hay que tener en cuenta que el signo de los resultados finales de las matrices, resulta siempre con magnitudes negativas de altos valores.

Se consideró la posibilidad de subsanar esto implementando una puntuación de 1 a 10, reservando los altos valores para los factores socioeconómicos positivos (una manera de ponderar la incidencia de las afectaciones positivas y negativas), pero se desestimó por la posibilidad de introducir un mecanismo subjetivo cuestionable y de variada interpretación en el análisis y elección del puntaje.

7.2- Análisis y comentarios a las matrices de Impacto Ambiental

Al observar los totales de las sumatorias generales, puede verse claramente la diferencia entre los distintos criterios de evaluación de los impactos, según se considere el sitio en sí, de éste en relación al entorno o de ambos de ambos según se considere la afectación previa o no.

Recordemos que si bien el punto de partida aparece en un primer enfoque como indudablemente el de la situación actual (afectado), los datos, registros y guías de fauna y flora, así como mapas de tipos de suelos, etc. que tradicionalmente se utilizan son los teóricos del ambiente natural inicial, y como se sostiene en este trabajo, los planes de restauración, las predicciones de recuperación y las mitigaciones que se propongan dependerán de un análisis real.

7.2.1.- Magnitud e importancia del impacto ambiental de las canteras

El caso de las explotaciones de canteras es típico en lo que se refiere a estos parámetros, que desarrollaron el

Dr. Luna Leopold y otros en 1971 en el *Geological Survey de EEUU*, para los impactos ambientales en general.

Al elaborar la matriz marco que lleva su nombre así como las adaptaciones y simplificaciones que se elaboran para casos específicos, diferenció entre magnitud para referirse a lo local, es decir el impacto en el entorno inmediato o superficie afectada, e importancia, referida en cambio al impacto regional, es decir considerado en un contexto territorial mas amplio.

Magnitud :

Le corresponde un valor muy alto ya que corresponde en el caso que nos ocupa, principalmente a la excavación. Sin embargo la afectación decrece rápidamente en el entorno, ya que incluso por razones económicas, no se realiza desmonte ni destape mas que donde es estrictamente necesario. Es normal que a los pocos metros del límite de la excavación se conserve el estado natural previo a la explotación. Esto implica que una vez concluida la misma retornarán las condiciones previas en el entorno natural, interrumpidas temporariamente por el movimiento de maquinaria, operarios, ruidos, olores, humos, etc.

Importancia:

Para evaluar este parámetro se consideraron tres escalas con el propósito de mostrar la variación que experimenta según el área de influencia que se considere. De esta manera se pueden clasificar o agrupar en tres categorías :

Local: Corresponde al entorno de lo que denominamos yacimiento, es decir un área intensamente explotada con alta densidad de excavaciones, por razones de calidad o de proximidad al centro de acopio o consumo.

Regional: Comprende toda la región estudiada.

En todos los casos la importancia se calculó en base a la relación superficie efectiva afectada (excavaciones) versus superficie total considerada. La superficie total se delimita con el contorno aproximado delineado por las canteras exteriores del área considerada.

En el caso regional se consideraron también dos límites además de los paralelos 32 y 33 que se establecieron para una franja de 5 km. que bordea al Río Uruguay (zona de mayor densidad de explotación por contener la mayor parte de la terraza fluvial) y otra de 10 km. para contener algunas explotaciones dispersas y reflejar además la variación de la importancia del impacto en una visión mas generalizada del mismo, desde el punto de vista de la planificación territorial y de uso del suelo.

Características y obtención de los datos empleados:

Las superficies afectadas son aproximadas, en base a imágenes satelitales, fotografías aéreas y reconocimientos de campo.

Los espesores corresponden a promedios realizados durante numerosos perfilajes de canteras consideradas como representativas.

Local:

Ejemplo a) : Considerando el ejido de Concepción del Uruguay y una franja que incluye la margen izquierda (norte) del arroyo El Molino y la margen derecha (sur) del Arroyo de La China.

Superficie aproximada considerada: 27 Km² (2700 has)
Superficie efectivamente afectada: 60 has.
Porcentaje afectado (excavaciones): 2 %

Ejemplo b). Considerando la franja explotada en Itá I Corá desde el arroyo Perucho Verne (al Sur de Liebig) hasta el Arroyo Artalaz (al norte de Colón), de 10 km. de largo por 7 de ancho

Superficie aproximada considerada: 70 km² (7000 has)
Superficie efectivamente afectada 300 has
Porcentaje afectado: 4.3 %

Regional:

Superficie aproximada considerada: 55.000 Has (franja de 5 km. de ancho paralela al Río Uruguay, entre los paralelos 32 y 33 Lat. Sur)

Superficie efectiva afectada : 500 Has

Porcentaje afectado: 0.9 %

Superficie considerada: 111.000 Has. (franja de aproximadamente 10 km. entre la ruta 14 y el Río Uruguay de igual longitud que la anterior)

Superficie efectiva afectada: 500 Has

Porcentaje afectado: 0.45 %

La razón de considerar esta última franja, que es lógicamente el doble de la anterior con igual superficie efectiva afectada, es el hecho de estar servida por las siguientes vías de comunicación: La ruta 14 antes mencionada, el ferrocarril (en este momento inactivo) y la vía fluvial del Río Uruguay. Las tres en algún momento protagonistas del transporte de canto rodado y de la producción regional en general, conjuntamente con una red importante de caminos vecinales y troncales que las vinculan transversalmente, y que conforman una región de densidad poblacional y características productivas uniforme.

En esta región la explotación de canteras también contribuyó al desarrollo de construcciones y caminos.

7.2.2- Relación explotación (afectación ambiental del entorno natural) y construcciones edilicias y de caminos (beneficios socioeconómicos o de calidad de vida)

Con el propósito de cuantificar la relación entre el daño ocasionado al ambiente natural y los beneficios obtenidos por la comunidad o sociedad en conjunto de la explotación de canteras, se realizó un cálculo expeditivo relacionando

- Superficies comprometidas en las explotaciones
- Volúmenes extraídos
- Volúmenes de hormigón resultantes
- Cantidad de edificios (y /o viviendas) factibles de construir con dichos volúmenes
- Cantidad de habitantes beneficiados

y también:

- Cantidad de pavimento (kilómetros) que pueden construirse con un determinado volumen explotado ó cantidad de cuadras factibles de cubrir con este material o broza.
- Para el ripio explotado corresponde una comparación similar en kilometraje que para la broza (suelo calcáreo).

Hay que señalar que no todo el hormigón empleado tiene como destino edificios residenciales o viviendas, sino que un porcentaje se emplea en construcciones industriales y otras obras.

Sin embargo, como se asume también para esto un beneficio socioeconómico no parece necesario tratar de discriminar los porcentajes (tarea muy compleja en sí misma para la finalidad de este trabajo), ya que lo que se trata de mostrar es un parámetro aproximado de lo que se puede hacer (en términos de efectos socioeconómicos positivos), con una superficie determinada del terreno donde el uso del suelo (temporariamente) signifique “excavación de cantera”.

Ripio para caminos (grava arcillosa o limoarcillosa): asumido 100 Has : 2.500.000 m³
(3000 km. de caminos de 7 m de ancho por 12cm de espesor mejorado)

Suelo calcáreo (broza): Tomando una superficie de 150 has. (sumatoria asumida de superficies individuales), con un espesor de 3 metros, el volumen explotado permite una base o mejorado de caminos regionales de 15 cm de espesor en una longitud de mas de 4000 km.

Cálculo teórico para destino a construcción

Parámetros empíricos de cálculo:

Hormigón: 22 cm de espesor por piso (incluyendo losas, vigas, columnas y bases del edificio), por la superficie considerada (300 m²)

Rendimiento de piedra por metro cúbico de hormigón considerado: 0.8m³.

Para un edificio tipo de 15 pisos.

- Superficies comprometidas en las explotaciones para canto rodado lavado: 250 Has

- Volúmenes extraídos: 6.250.000 m³

- Volúmenes de agregado grueso lavado: 4.062.500m³

- Volumen de Hormigón factible de elaborar: 4.875000 m³

- Volumen de Hormigón por piso: 792 m³ (a razón de 22 cm de espesor por piso (promediadas losas, vigas, columnas y bases)

- Cantidad de edificios (de 15 pisos y 300m² por piso): 6.155 edificios

Cantidad de personas beneficiadas: (a razón de 4 departamentos por piso y 4 personas por departamento) : 1.477.200

Que significa casi la tercera parte de los habitantes de la capital federal y supera la cantidad de habitantes de la provincia de Entre Ríos. Recordemos que esto es a título comparativo de órdenes de magnitud, y no significa una relación directa explotación-habitante beneficiado.

Se eligió como unidad de cálculo edificios por tratarse de la ciudad de Buenos Aires, desde donde se demandó en el momento de mayor explotación el mayor porcentaje de piedra lavada (canto rodado o grava lavada, excluyendo la fracción menor a 4 mm). Podría considerarse la construcción de viviendas individuales, ú otros usos, lo que introduciría mas realismo, pero a su vez mayor complejidad de análisis e interpretación. Sin embargo la precisión de volúmenes y detalles de destinos y usos no se considera fundamental a los fines del presente trabajo, entre otras cosas debido a la dificultad

de determinar con exactitud volúmenes y destinos de materiales explotados en el pasado.

Si bien los resultados totales pueden sufrir modificaciones con un estudio minucioso (hay información antigua que es prácticamente no recuperable y hay canteras ocultas por la vegetación, o poco accesibles), con este análisis se trata de mostrar un aspecto que en el estudio de impacto ambiental basado en la matriz de Leopold queda oculto o subvaluado y que son los beneficios socioeconómicos de la actividad de la explotación de canteras.

Como se explicó anteriormente, se desechó la idea de introducir valores calificados, de “peso” ó factores multiplicativos de corrección (para elementos únicos, pero cualitativa y cuantitativamente muy importantes) porque distorsionaban los resultados que se pretenden mostrar en el objetivo principal del trabajo, que es la gravitación del punto de partida en el estudio de Impacto y su importancia en la planificación del acondicionamiento final o “restauración” del predio.

8. CONCLUSIONES

- El punto de partida es de fundamental importancia para realizar el estudio y evaluación de impacto ambiental, así como para una correcta planificación del acondicionamiento final del predio su “restauración”, recuperación, uso, o destino final.

- Tal como se señaló en el ítem 7, es conveniente realizar dos matrices de impacto de Tipo Leopold, una para un estado que se acerque a la situación inicial (sin afectación antrópica) y otra para el punto de partida, es decir al momento del inicio del estudio.

La comparación de ambas clarificará la planificación de la situación pos aprovechamiento y el uso del suelo mas conveniente.

- El uso de matrices tipo Leopold es importante. Sin embargo el resultado numérico final de las mismas, si las interacciones no están ponderadas mediante valores que asignen mas representatividad numérica a determinados factores, no debe tomarse como dictamen.

- Son de mayor importancia las sumatorias por filas y columnas, ya que permiten identificar las acciones y los elementos sobre los que hay que centrar la atención a fin de corregir procesos, planificar modificaciones operativas, minimizar impactos, planificar el acondicionamiento y recuperación, etc.

- Es importante, a fin de justificar el dictamen (aún con resultados numéricos negativos de la matriz), realizar una reseña cuantitativa de los beneficios socioeconómicos logrados (en emprendimientos similares) o esperados. Es decir lo se puede hacer en la práctica, o los beneficios concretos que se obtendrán como contraparte de la afectación ambiental.

- El entorno de las canteras, en cuanto al uso del suelo, grado de afectación y características del ambiente natural así como la ubicación y densidad de población, son

fundamentales al momento de decidir la “restauración”, recuperación, acondicionamiento o destino posterior del predio.

- En algunos casos, dada la situación de uso de suelo del entorno y la ubicación geográfica, es posible aprovechar la situación creada con las explotaciones (ver caso Campichuelo), para destinar el área a una reserva de fauna y flora, e inclusive a otros aprovechamientos

recreativos compatibles, como se explicó oportunamente.

9. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece especialmente al doctor Isidoro B. A. Schalamuk, por la dirección de la tesis de maestría que dio origen a este trabajo y a la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la UTN, por el apoyo brindado a su ejecución.

10. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bibliografía general:

Geología de minas. Hugh Exton Mc Kinstry. Ed. Omega.

Recursos minerales de la República Argentina Tomos I y II. Yacimientos minerales metalíferos y no metalíferos. Victorio Angelelli. Ed.. Coni.

Recursos minerales de la prov. de Entre Ríos . E. Cordini

Geología Regional Argentina. Capítulo “Mesopotamia”. Amadeo Gentili-Horacio Rimoldi. Academia de Ciencias de Córdoba. V I. 1979.

Evaluación del potencial minero no metalífero de la provincia de Entre Ríos, República Argentina. Instituto Federal de Geociencias y Recursos naturales. Cooperación Técnica República Federal de alemania- Provincia de entre Ríos. 1, 2 y 3: (inédito) . Hannover.

Evaluación preliminar de los recursos de agua subterránea de las cuencas de arroyos menores de Entre Ríos afluentes del Río Uruguay. Elena Martín. Horacio Cheli Eduardo Kruse. Catedra de Hidrogeología de la Fac. de Ciencias Naturales y Museo. UNLP.1977.

Historia de Entre Ríos. Beatriz Bosch. Bs.As. 1978.

Bibliografía especializada:

Environmental Impacts of Mining. Monitoring, Restoration, and control. M. Segupta. 1993 . Ed. Lewis Publishers. 500 páginas.

Árboles y arbustos indígenas de la provincia de Entre Ríos. Juan M. Jozami – Juan de D. Muñoz. IPNAYS (CONICET-UNL). Santa Fe. 1984.

Gamba y otros: “Tosqueras de Luján : estudios de base para su recuperación autosustentable”. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. No. 13. pág. 43 a 48 .1999. Bs As.

Archimbaud, C. et al: Les études d'Impact de carrières. Pag. 209 a 211. Bulletin IAEG/AIGI no. 29.

Arnal G, Chevassu G. Problems induced by stripping and storage of tillable earth. Bulletin IAEG/AIGI no. 29.

Goswami S. C. : Quarring of aggregates in and around Gauhati: impact on the environment. Bulletin IAEG/AIGI no. 29. pág. 265 a 268.

Loukachev V. K. Prokopenia V. A. : Influence de l'extraction des sables et graviers sur l'environnement en Biélorussie. pág. 275 a 278. Bulletin IAEG/AIGI. 1984.

Mac Lean A.G.: Monitoring and modeling progressive rehabilitation in aggregate mining... a decade of Ontario experience and look at the future. Bulletin IAEG/AIGI . pag. 279 a 284.

Merighi A. et al: Architecture du paysage et carrières. Bulletin IAEG/AIGI no. 29. pág. 299 a 302.

Motti E. : Application de la télédétection a la recherche de sites d'explotation de granulats et á l'étude de leur impact sur l'environnement. Bulletin IAEG/AIGI no. 29.pág. 303 a 306.

Souborou C. Béranger C. : Les exploitations de granulats et les “études d’impact” sur le environnement: avantages et inconvénients pour les professionnels, le bilan de cinq années d’ expérience et de réflexion. Bulletin IAEG/AIGI no. 29. pág. 321 a 324 .1984.

Suite W.H.E. :The challenges of aggregate management in a small developing country. Trinidad Tobago. Pág. 325 a 328. Bulletin IAEG/AIGI no. 29.



LA IMPORTANCIA DEL EFECTO DE ESCALA EN LA RESISTENCIA DE ROCAS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ESCOLLERA SUR DEL PUERTO DE QUEQUÉN PCIA. DE BUENOS AIRES

Carlos Alberto, Di Salvo

Resumen

La Reparación, Remodelación y Prolongación de la Escollera Sur del Puerto de Quequén es la obra de abrigo portuaria más importante actualmente en construcción en la Argentina. Tiene por objeto reconstruir las obras dañadas y prolongarlas para aminorar la agitación por olas marinas en el canal de acceso y mejorar las condiciones de navegación de los buques.

La concreción de este proyecto redundará en un mayor aprovechamiento del puerto, reduciéndose notoriamente los tiempos de cierre del mismo que hoy se produce cada vez que las olas superan alturas de 1,80 metros.

La obra está constituida por aproximadamente 750.000 toneladas de rocas de tamaños y pesos muy diferentes en una estructura zonal compuesta por un núcleo y una subcapa de forma trapezoidal, que conforma la parte más voluminosa de la obra y sobre las que se dispone una coraza de bloques de hormigón del tipo monocapa (Core - Loc); como asimismo de bloques de rocas en el pie de la coraza con conjuntos de peso elevado (de 5, 2 a 8,2 toneladas).

Este trabajo consiste en la evaluación de la disminución de la resistencia (resistencia a la compresión simple) de estos bloques rocosos de más de tres metros cúbicos de volumen, en función de la fisuración que ellos presentan, principalmente.

La idea y contribución de esta publicación es no sólo la evaluación técnica y científica del problema, sino que la metodología aquí desarrollada, pueda incorporarse en los pliegos de futuras obras, como nuevos condicionantes de aceptabilidad de materiales rocosos de grandes dimensiones cuando éstos sean constituyentes esenciales de diferentes obras.

Palabras clave: bloques rocosos, discontinuidades, efecto de escala, resistencia

“Desde un punto de vista ingenieril el conocimiento del tipo y la intensidad de los defectos de las rocas pueden ser mucho más importantes que los tipos de roca en sí”

Karl Terzaghi, 1946

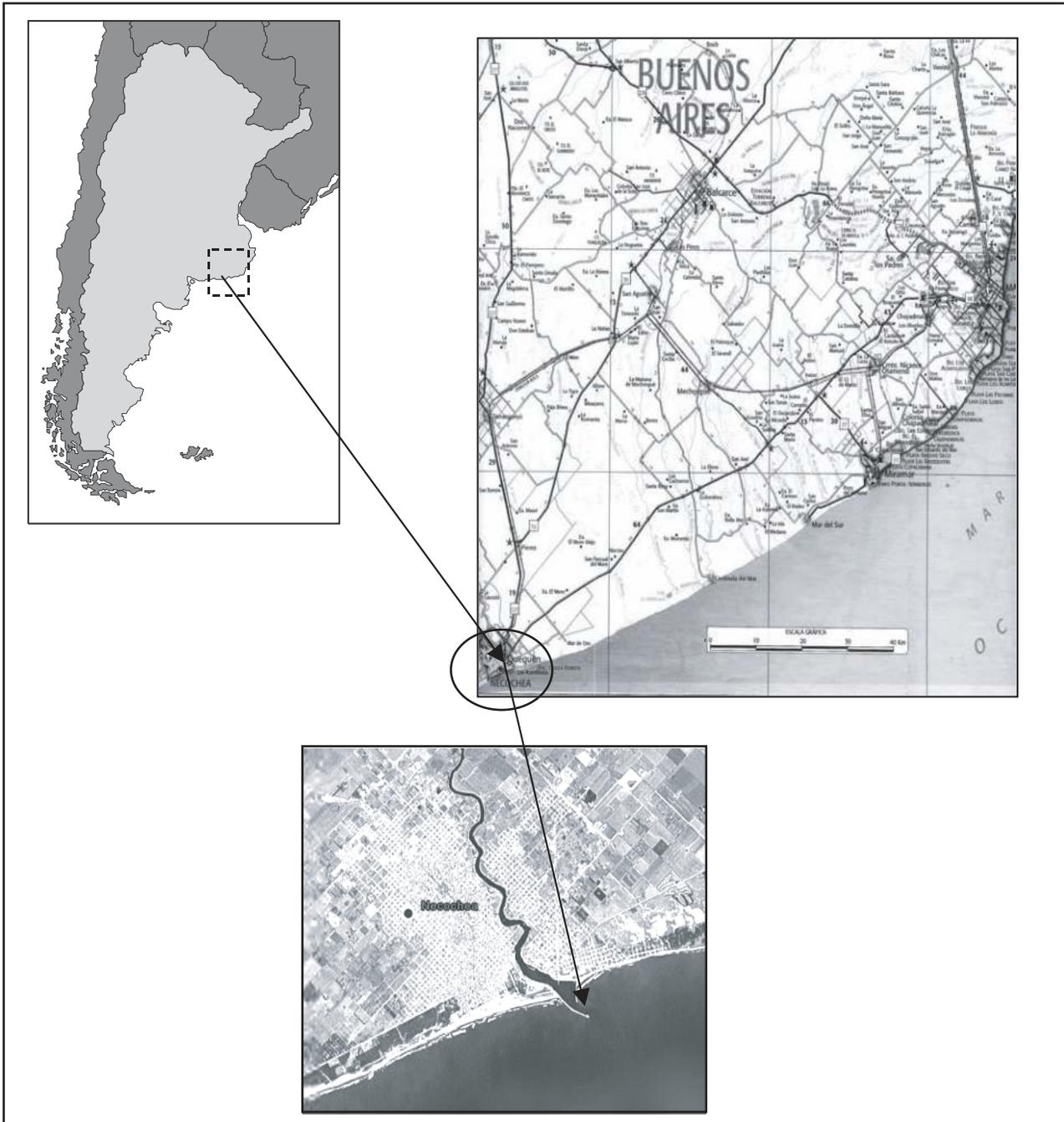
1. GENERALIDADES Y PROPÓSITOS DE LA OBRA

El puerto de Quequén está situado en la desembocadura del río homónimo en el Océano Atlántico, vecino a las ciudades bonaerenses de Necochea al Oeste y Quequén al Este. Se ubica a 530 Km. de la Capital Federal, interconectando a los centros de producción y consumo y a las rutas del Mercosur, a través de una extensa red vial nacional y provincial. Véase plano de ubicación general, en la figura 1 y de detalle (esquema de la obra) en la figura 2.

Entregado: 25 de Septiembre de 2005 • Aceptado: 10 de Noviembre de 2005

Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Civil. U.T.N, Regional Bs. As.
Profesor Adjunto del Departamento de Ciencias Geológicas. UBA.
Consultor independiente carlosdisalvo@telecentro.com.ar

FIGURA 1. MAPA DE UBICACION GENERAL DE LA OBRA E IMAGEN SATELITAL (2005, DIGITAL GLOBAL) DETALLANDO EL SITIO.



Por el puerto se mueven más de cuatro millones de toneladas anuales de mercaderías (cereales, oleaginosas y aceites vegetales principalmente). Por el canal de acceso de 120 m. de ancho, ingresan anualmente a éste más de 300 buques.

El puerto de Quequén presenta excelentes condiciones de operatividad debido a la corta extensión del canal de acceso ya que en menos de treinta minutos se produce la entrada y salida de buques desde y hacia aguas naturalmente profundas. Sin embargo actualmente la navegación en el acceso debe sortear condiciones marítimas de cierto rigor caracterizada por olas de viento y mar de leva, cuyas alturas significativas superan con frecuencia 1,80 metros, que sumadas a las corrientes litorales y de marea influyen en las maniobras de acceso.

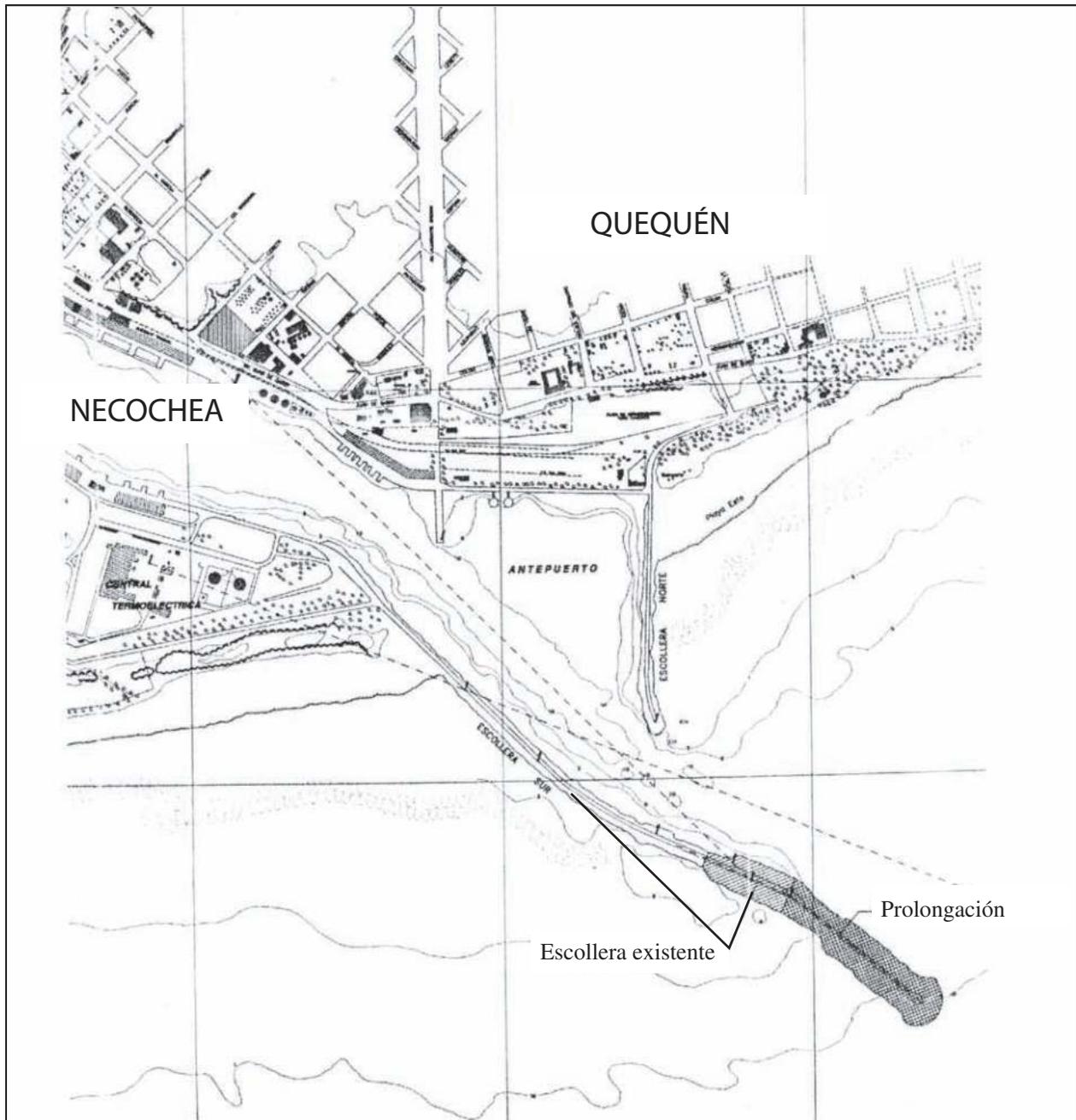
litorales y de marea influyen en las maniobras de acceso. Esto se traduce en una alta tasa de cierre del puerto, por altura de ola o vientos cruzados, que actualmente ronda en el 25% de los días operables, constituyendo de este modo una seria afectación a la operatividad del mismo.

Para solucionar este inconveniente la Provincia de Buenos Aires ha dispuesto la ejecución de dos obras, que construidas en conjunto, solucionarán este inconveniente operativo. Estas obras son:

- La reparación, remodelación y extensión de la escollera Sur, y
- El dragado y profundización del canal de acceso.

Este trabajo se ocupa de algunos aspectos geológicos y geotécnicos de los materiales pétreos (rocas del pie) que constituyen la escollera Sur

FIGURA 2. ESQUEMA GENERAL DE LA OBRA: AMPLIACIÓN DE LA ESCOLLERA SUR DEL PUERTO DE QUEQUÉN.



2. EL DISEÑO DE LA ESCOLLERA.

El Proyecto Ejecutivo de la obra consiste fundamentalmente en una prolongación de unos 400 metros de una escollera existente, construida en diversas etapas en los años 1911 a 1913 y prolongada en la década del 50, del siglo XX.

La escollera preexistente se encontraba muy deteriorada producto de una rotura de su parte distal o morro causada por tormentas excepcionales. Como consecuencia de una muy defectuosa disposición del morro, y luego, al quedar descubierta la estructura, la degradación fue retrocediendo hasta llegar a una situación que se ha ido equilibrando con el tiempo. Foto N° 1.

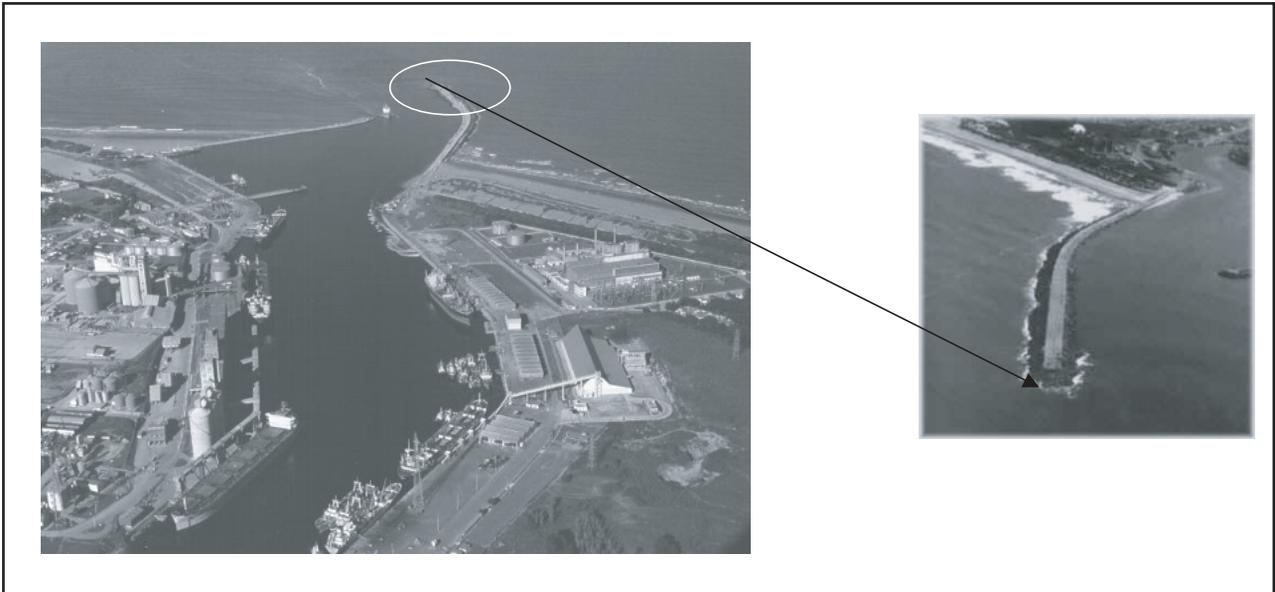
Los estudios y análisis efectuados sobre modelos físicos (bidimensional y (tridimensional), han llevado a adoptar

como criterio rector para encarar el diseño de la obra nueva el de priorizar la seguridad de la misma, minimizando riesgos que siempre se presentan, bajo diversas formas, en el desarrollo de una obra nueva a partir de una obra existente y que en este caso se manifiestan especialmente en la vinculación entre ambas. La altura de la ola de diseño considerada es entre 5,80 y 7,20 metros

Como se comentara la obra abarca las siguientes extensiones definidas a partir del inicio en la playa de la escollera existente, véase la Figura 2.

- Reparación: 150 m, entre las progresivas 840,80 y 990,80 m
- Remodelación: 198 m, entre las progresivas 990,80 y 1188,80m
- Prolongación: 400 m

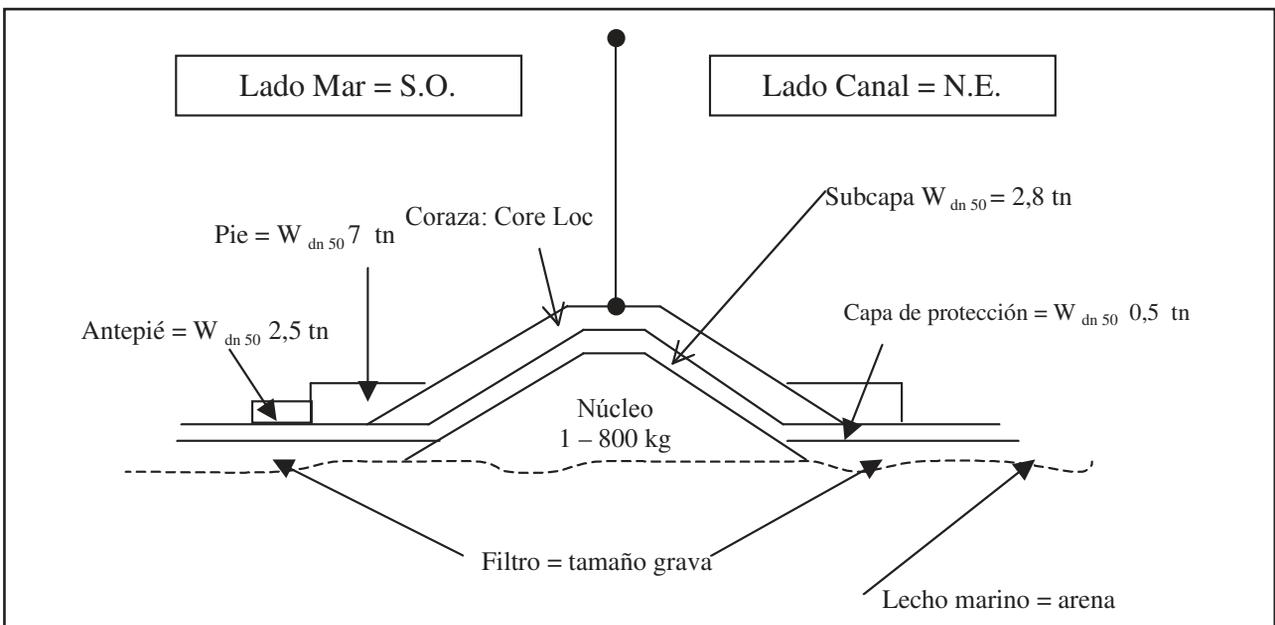
FOTO 1. FOTO DE LA ESCOLLERA, ANTES DEL INICIO DE LAS NUEVAS OBRAS.



En la figura 3 se destaca el perfil transversal de la prolongación en lo que puede considerarse una sección tipo para la progresiva 300, aproximadamente.

Asimismo, en la Foto N° 2, se muestra la prolongación de la escollera en la progresiva 100, durante la construcción (año 2005)

FIGURA 3. SECCION TRANSVERSAL DE LA PROLONGACIÓN DE LA ESCOLLERA.



3. LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DE LA ESCOLLERA.

1) El núcleo se resuelve con material 'todo uno' con una distribución de tamaños entre 1 y 800 kg. En ambos lados de la sección transversal, la estructura de pie se ha previsto con una capa inferior de grava con un espesor mínimo de 30 cm que apoya directamente sobre la arena de fondo. Esta capa estará compuesta por una grava de distribución 'ancha' que abarque gravas finas, medianas y gruesas, para adecuarse al material del núcleo y de los pies del talud.

2) Sobre la grava indicada se coloca un manto que formará la parte superior de la capa de protección y que estará constituida por rocas de entre 200 kg. y 800 kg. El espesor mínimo de esta capa es de 1,00 m.

3) Sobre la superficie de la capa de protección mencionada se disponen, en el lado mar, dos cuerpos de roca cuyas funciones son: a) actuar como peso sobre la capa descrita en 'ii', y b) constituir un pie de contención de la coraza. Estos cuerpos de roca se dividieron en dos sectores, uno externo o 'antepié' y uno interno o 'pie' que se recuesta sobre las piezas de coraza y las sostiene.

4) En el lado canal se repite la estructura señalada en forma parcial, ya que no se coloca el antepié mencionado en '3' en razón de la menor acción del oleaje que se registra en esa cara.

5) La coraza está constituida en ambas caras con piezas premoldeadas de hormigón del tipo 'monocapa' (bloques Core-Loc) dispuestos en forma simétrica, atendiendo al diseño básico, salvo en su parte distal (morro).

6) La subcapa, por debajo de la coraza, está formada por

rocas cuyo espesor y con un peso correspondiente al 50 % de los elementos (W_{dn50}) = 2,80 y 5,0 toneladas, está en relación con el tipo y peso de las piezas de coraza.

En la tabla 1 se consigna las características de los bloques y las rocas adoptados para el tramo 'Prolongación' de la escollera, en su tramo central: progresivas + 300 a + 363 metros.

TABLA 1. COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS DE LA ESCOLLERA.

PROGRESIVAS 300 m - 363 m			
Componente	Tipo de elemento	Peso Específico	Peso de la unidad
Coraza	Bloque Core-loc	2,35 t/m ³	W = 20 toneladas
Subcapa	Roca	2,60 t/m ³	W_{dn50} = 5,0 toneladas
Núcleo Todo Uno	Roca	2,60 t/m ³	1 - 800 Kg toneladas
Pie	Roca	2,60 t/m ³	W_{dn50} = 7,0 toneladas
Antepie	Roca	2,60 t/m ³	W_{dn50} = 2,5 toneladas
Base	Roca	2,60 t/m ³	W_{dn50} = 0,5 toneladas
Filtro	Roca	2,60 t/m ³	Grava

FOTO 2. LA PROLONGACIÓN DE LA ESCOLLERA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN, PROGRESIVA + 100, MAYO DE 2005.



3.1. Especificaciones de la roca para la escollera

Según las especificaciones contenidas en el Pliego de Especificaciones Técnicas de Licitación y en el Proyecto Ejecutivo de la obra, la roca que se colocará en la escollera será resistente, libre de grietas o fisuras, de textura uniforme y de baja absorción de agua y los bloques resultantes de la extracción presentarán una cubrición adecuada.

Algunas de estas especificaciones se verifican mediante ensayos en laboratorio, estos son:

- **Peso específico:** debe ser igual o mayor de 2,6 t/m³, los ensayos se realizan según Norma IRAM 10602. Mecánica de Rocas. Método de determinación de densidad.

- **Absorción:** debe ser menor al 1,5%, los ensayos se realizan según Norma IRAM 10603. Mecánica de Rocas. Método de determinación del índice de vacíos por la técnica de absorción rápida.

- **Durabilidad:** la pérdida debe ser menor al 13%, los ensayos se realizan según las especificaciones de la Norma IRAM 10606. Mecánica de Rocas. Método de determinación de la durabilidad por humedecimiento y secado.

- **Resistencia a la compresión simple:** debe ser mayor de 50 MPa los ensayos se realizan según la Norma IRAM 10536. Mecánica de Rocas. Método de ensayos de compresión.

Las condiciones de aceptabilidad de los bloques en sí quedan definidas por la frase: "la roca que se colocará en la escollera será (...), libre de grietas o fisuras".

Para esta última condición de aceptabilidad, la profética cita de Terzaghi en cuanto a la importancia que tienen lo que él denominó en 1946 "defectos de las rocas", tiene una especial importancia ya que el pie está constituido por bloques de tres metros cúbicos de promedio, los que por su importante volumen, es prácticamente imposible que no estén atravesados por "defectos" o discontinuidades geológicas.

En efecto, el pie se configura con rocas dispuestas en forma de berma cuya función es contener los elementos de coraza (Core-loc) en su apoyo y evitar que puedan ser removidos por las olas, o que puedan deslizar por erosión en la base de la escollera. Es esencial en lo que hace a la estabilidad de conjunto de la obra, por esa razón, este pie debe conformar una especie de cinturón inferior a lo largo de toda la escollera, que debe proporcionar una valla no removible en el borde inferior de la coraza.

Como se comentó más arriba semejantes bloques, es prácticamente imposible por su tamaño, que se encuentren "libres de fisuras" lo que hace pensar que la resistencia de los mismos podría ser sustancialmente inferior a la resistencia de la roca intacta, por el simple hecho que están afectados por el Efecto de Escala.

4. EL EFECTO DE ESCALA.

4.1. Consideraciones teóricas.

El efecto de escala fue definido por Bernaix, en su tesis de doctoral de 1967, relativa al Estudio geotécnico de la

roca de Malpasset, después de la súbita e inesperada ruptura de la presa en 1962, como: "un fenómeno complejo, aún mal conocido, donde la definición misma es bastante delicada. Se la puede resumir así: cuando se estudia estadísticamente el valor medio σ_c de la resistencia de diversas muestras de una misma roca, de una misma geometría y caracterizadas por la longitud d de una de sus dimensiones, se constata que la función $\sigma_c f(d)$ nunca es creciente".

Cabe consignar que el postulado del efecto de escala y derivaciones de este concepto, fue determinante, en su oportunidad, para encontrar una explicación coherente a la ruptura de la fundación (gneiss esquistoso) de la presa de Malpasset.

Más recientemente Hoek y Brown, (1980), definieron el efecto de escala en función de la resistencia a la compresión simple de una roca de longitud d como, comparándola con una de 50 mm de longitud (tamaño), como:

$$\sigma_{cd} = \sigma_{c50} [50/d]^{0,18 - 0,20}$$

donde:

σ_{cd} : es la resistencia uniaxial de una muestra de diámetro (tamaño) d

σ_{c50} : es la resistencia uniaxial de una muestra de $d = 50$ mm, y

d : es el volumen o tamaño máximo en mm.

A Hoek y Brown (1980, 1988), se debe asimismo la vinculación entre la resistencia de una masa rocosa σ_{cm} y su vinculación con la constantes s y m dentro del criterio general de rotura que los autores plantearan.

$$\sigma_{cm} = \sigma_c \times S^{1/2}$$

en la que:

σ_c = es la resistencia uniaxial de la roca intacta, y

s = es una constante empírica, que varía entre 0 para macizos muy fracturados y 1 para roca intacta, que tiene distintos valores para distintos macizos de rocas según su composición, fracturamiento y grado de integridad debido al efecto de las voladuras. Su valor se obtiene de tablas para distintos geomateriales.

A su vez, $s = e^{(GSI - 100)/9}$

Donde, GSI es el Geological Strength Index, según Hoek (1994)

Palmström (1995), establece su sistema RMi (Rock Mass index), basado en ideas análogas a las de rotura de Hoek y Brown (de hecho el parámetro JP es similar a s), pero focalizando aún más la evaluación en la incidencia que tienen los "defectos" o discontinuidades de los macizos de roca en la disminución de la resistencia de la roca intacta. Así lo expresa Palmstrom: "es claro que un macizo rocoso es mucha más complejo en composición, estructura y variabilidad que ningún otro material. La presencia de varios defectos (discontinuidades) en la masa de roca, que tiende a reducir la resistencia inherente de la roca intacta, es el hecho principal que gobierna este comportamiento".

El R_{Mi}, se define como

$$R_{Mi} = \sigma_c \times J_P$$

Donde:

σ_c = es la resistencia uniaxial de la roca intacta.

J_P = coeficiente de reducción que depende del tamaño o volumen unitario comprendido entre discontinuidades y las características (fricción, longitud y alteración) de las discontinuidades. J_P varía entre 0 para rocas intensamente fracturadas y 1 para la roca intacta.

Estrictamente: $J_P = 0,2 j_C \times V_b D$

Donde: $J_C = j_L \times j_R / j_A$, y se refiere a las características de las discontinuidades: longitud (j_L) rugosidad (j_R) y alteración (j_A); V_b = Volumen de los bloques unidad, en metros cúbicos; D = factor de forma

La clasificación de masas rocosas en función del R_{Mi}, es la siguiente:

TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE VALORES R_{Mi} SEGÚN PALMSTROM (op. cit).

CARACTERIZACIÓN		Valor R _{Mi} (MPa)
Términos para R _{Mi}	Términos relativos a la resistencia de la masa rocosa	
Extremadamente bajo	Extremadamente débil	< 0,001
Muy bajo	Muy débil	0,001 – 0,01
Bajo	Débil	0,01 – 0,1
Moderadamente alto	Moderadamente fuerte	0,1 – 1
Alto	Fuerte	1 – 10
Muy alto	Muy fuerte	10 – 100
Extremadamente alto	Extremadamente fuerte	> 100

En el contexto de este trabajo los bloques rocosos han sido asimilables, por su importante tamaño, conceptualmente a un macizo rocoso fisurado.

4.2. El efecto de escala en las rocas de la Escollera Sur del Puerto de Quequén

El input determinante en la selección de las rocas constitutivas de la prolongación de la escollera Sur del Puerto de Quequén fue, en la etapa de proyecto, la densidad. En efecto, se exigió que la misma fuese igual o superior a 2,60 t/m³.

Dentro del contexto geográfico (ubicación) del Puerto de Quequén, las únicas rocas que podían abastecer de materiales para la escollera, que tuviesen tal densidad, eran las provenientes de canteras “graníticas” explotadas

en macizos rocosos Basamento Cristalino, ubicadas en la Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. En efecto las ortocuarcitas del Grupo “La Tinta”, de edad Paleozoica, poseen una densidad marcadamente menor que 2,60 tn/m³ exigidas por el Pliego.

Las rocas que parcialmente se utilizan en la construcción de la prolongación de la escollera son: “migmatitas calcoalcalinas, de textura granuda, formadas por fenoclastos de plagioclasa y cuarzo, con regular cantidad de mafitos, principalmente micas (mucovita y biotita), alteradas. El conjunto está incluido en una mesostaxis de grano fino de cuarzo y feldespato donde es posible observar texturas de mortero con recristalización por enfriamiento de sectores fundidos”, Maiza y Marfil (2005). Fotos N° 2, 3 y 4. Las mismas presentan los siguientes parámetros medios en lo que concierne a:

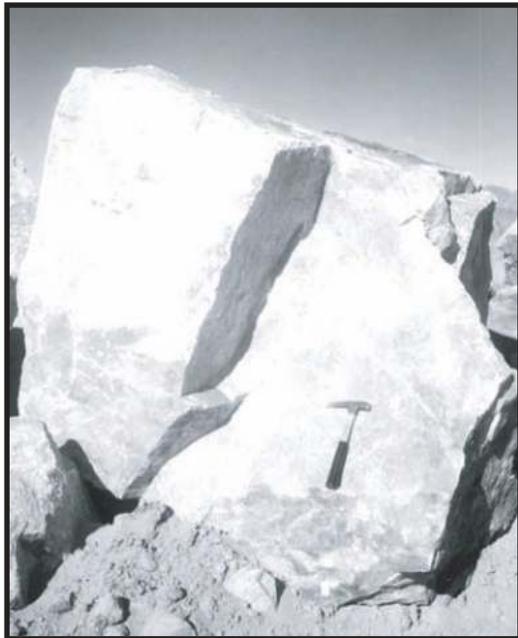
TABLA 3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PROMEDIO (ensayos en laboratorio).

Ensayos	Valores obtenidos	Valores mínimos requeridos	Norma IRAM
Peso específico	2,61 - 2,72 tn/m ³	2,55 - 2,60 tn/m ³	10602
Índice de vacíos	0,05 %	1,5%	10603
Durabilidad (2° ciclo)	0,3 %	< 13%	10606
Resistencia a la compresión simple	91,9 MPa a 95,2 MPa	50 MPa	10536

FOTO 3. VISTA DEL FRENTE DE EXPLOTACIÓN, CANTERA NAPALEOFÚ.



FOTO 4 / 5. BLOQUES DE MIGMATITA CALCOALCALINA 1 Y 2 (ver texto).



Como ya se comentara, la preocupación era saber si estos valores, válidos para la roca intacta, eran extrapolables a bloques rocoso del tamaño de tres metros cúbicos, por ejemplo, que son los constitutivos del pie de la escollera. Se consideró asimismo que el parámetro crítico a evaluar era la resistencia a la compresión simple σ_c , por varias razones, entre ellas:

1) el Pliego de Condiciones explica que estos bloques son un componente resistente e importante del diseño,
2) por el tamaño pueden estar afectados por el efecto de escala

3) no hay manera práctica en obra de evaluar otros parámetros previstos en el pliego como la densidad, la absorción o la durabilidad de bloques de 3 m³.

4) como se expuso en el apartado 4.1. sí hay métodos que permiten evaluar el efecto de escala en lo que a se se refiere.

Así se evaluaron seis grandes bloques rocosos provenientes de una de las canteras que proveen materiales para construir la escollera: la cantera Napaleofú. Éstos se mostraban frágiles durante el manipuleo (carga, descarga y colocación en obra). Esto

obviamente se debía a una serie de factores entre los que pueden mencionarse la fisuración intrínseca a escala matricial y la del bloque en sí. El análisis se realizó mediante las tres metodologías expuestas:

- de Palmström (1995) en base al parámetro RMi.

- de Hoek y Brown, 1980, en base a la variación del parámetro d (tamaño o volumen máximo)

- de Hoek y Brown (1980 y 1988), y Hoek (1994) y Marinis et. al (2005), en base al parámetro o constante dimensional s

TABLA 4. EVALUACIÓN EN FUNCIÓN DE RMI.

Bloque	Dimensiones (m)	Volumen (m ³)	Peso (tn)	$\sigma_c = \text{Res. Comp. Simple (MPa) (roca intacta)}$	JP	RMi = Res. asumida del bloque (MPa)
Nº 1	2,80x 1,70x 1,60	7,62	19,43	95,2	0,45	42,70
Nº 2	2,80x 1,50x 1,35	5,67	14,46	91,5	0,55	50,30
Nº 3	1,70x 1,54 x 1,50	3,82	9,74	95,2	0,67	63,80
Nº 4	2,0 x 1,42 x 1,13	3,69	9,40	95,2	0,45	42,80
Nº 5	2,30x1,70x 1,60	6,25	16,26	95,2	0,39	37,10
Nº 6	1,90x1,50x 1,35	3,85	10,00	95,2	0,41	39,00

Teniendo en las distintas metodologías anteriormente expuestas, en las tablas 4 a 7, se exponen los datos de resistencia de los bloques rocosos a que se ha arribado en la evaluación.

a) RMI (Rock Mass index)

b) Criterios de Hoek y Brown, basándose en la constante s

b1) Criterio de 1980 y 1988 (tablas): para rocas de textura granular o granoblástica, polimineral ígnea o metamórfica (gneiss, granito, anfibolita etc.), (s) está comprendida entre 0,189 y 0,147

b2) Criterio de Hoek (1994) y Marinis et al (2005), basado en la evaluación del GSI, para GSI > 25. En realidad se utiliza este método como una evaluación comparativa más, aunque Marinis *op cit*, desaconseja su uso para macizos en los su comportamiento depende de una red de fisuración claramente definida, como es el caso de este macizo.

Criterio de Hoek y Brown, en función del volumen o tamaño máximo del bloque (d).

$$\sigma_{c \text{ masa}} = \sigma_c \times (50/d)^{0,2}$$

TABLA 5. EVALUACIÓN DE $\sigma_{c \text{ masa}}$ EN FUNCIÓN DE LA CONSTANTE s (según tablas).

Bloque	Dimensiones (m)	Volumen (m ³)	Res. Comp. Simple (σ_c) roca intacta (MPa)	s	$s^{1/2}$	$\sigma_{c \text{ masa}} = \sigma_c \times s -$ (MPa)
Nº 1	2,80x1,70x1,60	7,62	95,20	0,189	0,434	41,32
				0,147	0,383	36,50
Nº 2	2,80x1,50x1,35	5,67	91,50	0,189	0,434	39,70
				0,147	0,383	35,04
Nº 3	1,70x1,54x 1,50	3,82	95,40	0,189	0,434	41,40
				0,147	0,383	36,54
Nº 4	2,00x1,42x 1,13	3,69	95,20	0,189	0,434	41,32
				0,147	0,383	36,50
Nº 5	2,30x1,70x 1,60	6,25	95,20	0,189	0,434	41,32
				0,147	0,383	36,50
Nº 6	1,90x1,50x 1,35	3,85	95,20	0,189	0,434	41,32
				0,147	0,383	36,50

TABLA 6. EVALUACIÓN DE $\sigma_{c\text{ masa}}$ EN FUNCIÓN DE LA CONSTANTE $s = e^{(GSI - 100/9)}$, PARA $GSI > 25$.

Bloque	Dimensiones (m)	Res. Comp. Simple (σ_c) roca intacta (MPa)	GSI	s	s ^{1/2}	$\sigma_{c\text{ masa}} = \sigma_c \times s^{-}$ (MPa)
Nº 1	2,80x1,70 x1,60	95,2	80	0,108	0,32	30,46
Nº 2	2,80x1,50 x1,35	91,5	85	0,190	0,43	39,35
Nº 3	1,70x1,54x 1,50	95,4	90	0,330	0,57	54,26
Nº 4	2,00x1,42x 1,13	95,2	80	0,108	0,32	30,46
Nº 5	2,30x1,70x 1,60	95,2	75	0,06	0,25	23,80
Nº 6	1,90x1,50x 1,35	95,2	85	0,190	0,43	40,93

TABLA 7. EVALUACIÓN DE $\sigma_{c\text{ masa}}$ EN FUNCIÓN DE $d_{\text{máx}}$.

Bloque	Dimensiones (m)	Volumen (m ³)	Res. Comp. Simple (σ_c) roca intacta (MPa)	d máx (mm)	$\sigma_{c\text{ masa}} = \sigma_c \times (50/d)^{0,2}$ (MPa)
Nº 1	2,80x1,70x 1,60	7,62	95,2	2800	42,55
Nº 2	2,80x1,50x 1,35	5,67	91,5	2800	40,90
Nº 3	1,70x1,54x 1,50	3,82	95,2	1700	47,00
Nº 4	2,00x1,42x 1,13	3,69	95,2	2000	45,50
Nº 5	2,30x1,70x 1,60	7,62	95,2	2300	44,25
Nº 6	1,90x1,50x 1,35	5,67	95,2	1900	46,00

4.3. Resumen del análisis.

En la tabla 8 se resume la evaluación realizada para los seis bloques analizados

TABLA 8. RESUMEN DE LAS EVALUACIONES DE LOS DISTINTOS BLOQUES POR LOS DISTINTOS MÉTODOS.

Bloque	$\sigma_{c\text{ masa}} = \sigma_c \times (50/d)^{0,2}$ (MPa)	$\sigma_{c\text{ masa}} = \sigma_c \times s^{-}$ (MPa) según GSI	$\sigma_{c\text{ masa}} = \sigma_c \times s^{-}$ (MPa) según ctes.	RMi	
				Valor (MPa)	Clasificación
Nº 1	42,55	30,46	38,55	42,70	Muy alto
Nº 2	40,90	39,35	37,40	50,30	Muy alto
Nº 3	47,00	54,26	38,55	63,80(máx.)	Muy alto
Nº 4	45,50	30,46	38,55	42,80	Muy alto
Nº 5	44,25	23,80 (min.)	38,55	37,10	Muy alto
Nº 6	46,00	40,93	38,55	39,00	Muy alto

5. CONCLUSIONES.

Los "coeficientes de reducción" de los valores de la resistencia de roca, obtenidas por diferentes métodos que representan el efecto de escala, están comprendidos entre 0,25 como mínimo y 0,67 como máximo. Esto resulta en la práctica, que si afecta el valor de la resistencia a la

compresión simple σ_c de la roca intacta por estos valores, se obtiene:

Resistencia máxima: $\sigma_{c\text{ masa rocosa}} = 63,80$ MPa
 Resistencia mínima: $\sigma_{c\text{ masa rocosa}} = 23,80$ MPa
 Resistencia promedio: $\sigma_{c\text{ masa rocosa}} = 41,30$ MPa
 (82,60 % del valor de laboratorio, requerido en el Pliego,

con un coeficiente de dispersión de 18,90 %), para 24 determinaciones.

Estos valores son compatibles con los criterios de aceptabilidad previstos por el Pliego de Condiciones, que establecía un valor de 50 MPa (σ_c en laboratorio) como piso o límite inferior; pero con el valor agregado que estos valores resultan de una evaluación realizada para grandes bloques de tamaño real que son los que finalmente colocados en la obra y no los provistos por ensayos en laboratorio.

Generalizando, este tipo de evaluaciones privilegia un análisis conceptualmente correcto, basado en el estudio de los “defectos” de las rocas, y a juicio del autor, debería promoverse su uso como criterio de aceptabilidad cada vez que bloques pétreos de grandes tamaños son utilizados como materiales de construcción.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

BERNAIX, J. 1967

Étude géotechnique de la roche de Malpasset. Ed. Dunod, 215 pp.

DyCASA S.A. – DRAGADOS OBRAS Y PROYECTOS S.A.

Remodelación y Prolongación de la Escollera Sur del Puerto de Quequén. Proyecto Ejecutivo Volumen I, Inédito, 2004.

HOEK E. Y BROWN E.T. 1980

Underground excavations in Rock. London Institution of Mining and Metallurgy, 527 pp.

HOEK E. Y BROWN E.T. 1988.

The Hoek – Brown failure criterion – a 1988 update. Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp. Toronto. pp 31-38

HOEK, E. 1994.

Strength of rock and rock masses, ISRM News Journal. 2 (2): 4 – 16.

MARINOS V, MARINOS P, HOEK E. 2005.

The geological strength index: applications and limitations.

Bulletin of Engineering Geology and the Environment. Vol. 64, (1): 55 – 65.

MAIZA P Y MARFIL S. 2005

Estudio petrográfico. Muestra cantera Napaleufú, inédito.

PALMSTRÖM, A. 1995

RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD thesis, Oslo University, Noruega. 400 pp., en www.rockmass.net

6. AGRADECIMIENTOS.

Mi gratitud a la Unidad Ejecutora Provincial (UEP) del Plan de Modernización portuaria que en la persona de las ingenieras Graciela Ambrosolio y Dora Palacios, han autorizado la publicación de estas ideas. También a mis compañeros de trabajo de la Supervisión de la obra, ingenieros Jorge Matusevicius y Claudio Miglietta, que me han prestado su apoyo anímico e intelectual para la realización de este trabajo, en especial al ingeniero Adolfo Pronsato que con su espíritu abierto y conciliador, sostuvo mi intención de incorporar nuevas ideas en el tratamiento de este tema, adecuando y precisando las especificaciones técnicas preestablecidas tanto en el Proyecto Ejecutivo como en el Pliego de Condiciones Técnicas.



TÚNELES COLECTORES PLUVIALES EN BUENOS AIRES. Caso de Obra

Sarra Pistone, Raúl

Resumen

Se presenta un caso de obra de túneles urbanos construidos como interceptores-colectores pluviales en la ciudad de Buenos Aires. Se trata de una conducción de un 8.5 Km de longitud, con un 6 Km de túneles de diámetros internos 4.40 y 2.80 m, construidos con TBM con escudos y revestimiento de dovelas en suelos loésicos de la Formación Pampeano. Se tratan aspectos relacionados con la verificación de secciones críticas y variantes al soporte primario.

Palabras claves: túnel urbano, máquinas tuneleras

Abstract

An urban tunnel case history in Buenos Aires is presented. The total length of the underground drainage conduit is 8.5 km of which 6 km were constructed with two open face shield TBM, of 4.4 m and 2.8 m of final internal diameter. Tunnels were excavated in loess soils of the Pampeano Formation. Concrete segments were used as structural support and a final lining of concrete or shotcrete should be eventually applied.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Buenos Aires está situada en una extensa planicie cuyas cotas máximas apenas superan los 20 msnm, limitada hacia el sudeste por el río Matanza o Riachuelo. La red natural de drenaje está constituida principalmente por los arroyos Medrano, Vega y Maldonado, que desembocan en el Río de la Plata, con dirección SW-NE, y el arroyo Cildañez al sur, que desemboca en el Riachuelo.

En la actualidad, los arroyos mencionados están canalizados y todo el municipio está densamente urbanizado. La Ciudad de Buenos Aires tiene unos 2,7 millones de habitantes y junto con los demás municipios colindantes conforma una urbe de unos 12 millones de habitantes.

Con el aumento de las zonas pavimentadas y edificadas, y la canalización de las principales líneas de agua, el drenaje de las aguas superficiales se tornó cada vez más dificultoso y gran parte de los excedentes hídricos de la provincia provocan inundaciones en la Capital.

Por esta razón fue concebido un sistema de interceptores-colectores de aguas pluviales: el aliviador Cildañez, al SW de la ciudad, que descarga en el Riachuelo y el aliviador Holmberg-V^a Martelli, al norte con desembocadura en el Río de la Plata.

El Proyecto Base fue de responsabilidad de la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Estado. La Inspección de la obra del Aliviador Cildañez fue adjudicada a la UTE formada por las empresas COBA, SA. de Portugal y PROINSA de Argentina. La Supervisión fue ejercida por un equipo de técnicos del dueño de la obra. Entre las funciones previstas para la Inspección se incluyó la de proponer a la Supervisión la aprobación del Proyecto Ejecutivo e Ingeniería de Detalle preparado por el Consorcio Contratista

Esta tarea implicó el análisis detallado de las piezas de proyecto, la elaboración de informes técnicos de consultoría para el Cliente y la realización de estudios adicionales en el caso de ser solicitados.

Entregado: 14 de Junio de 2005 • Aceptado: 30 de Julio de 2005

Director - Servicio de Geotecnia
COBA, Consultores de Ingeniería y Ambiente. Av. 5 de
Outubro, 323, 1649-011 Lisboa
rp@coba.pt

2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA.

El Colector Pluvial Cildañez es una conducción hidráulica subterránea con secciones variables, cuya finalidad es captar las aguas de la cuenca del A° Cildañez y derivarlas hacia el río Matanza o Riachuelo, minimizando el riesgo de inundaciones de la Capital Federal por los excedentes hídricos de la Matanza, población situada aguas arriba en la provincia de Buenos Aires.

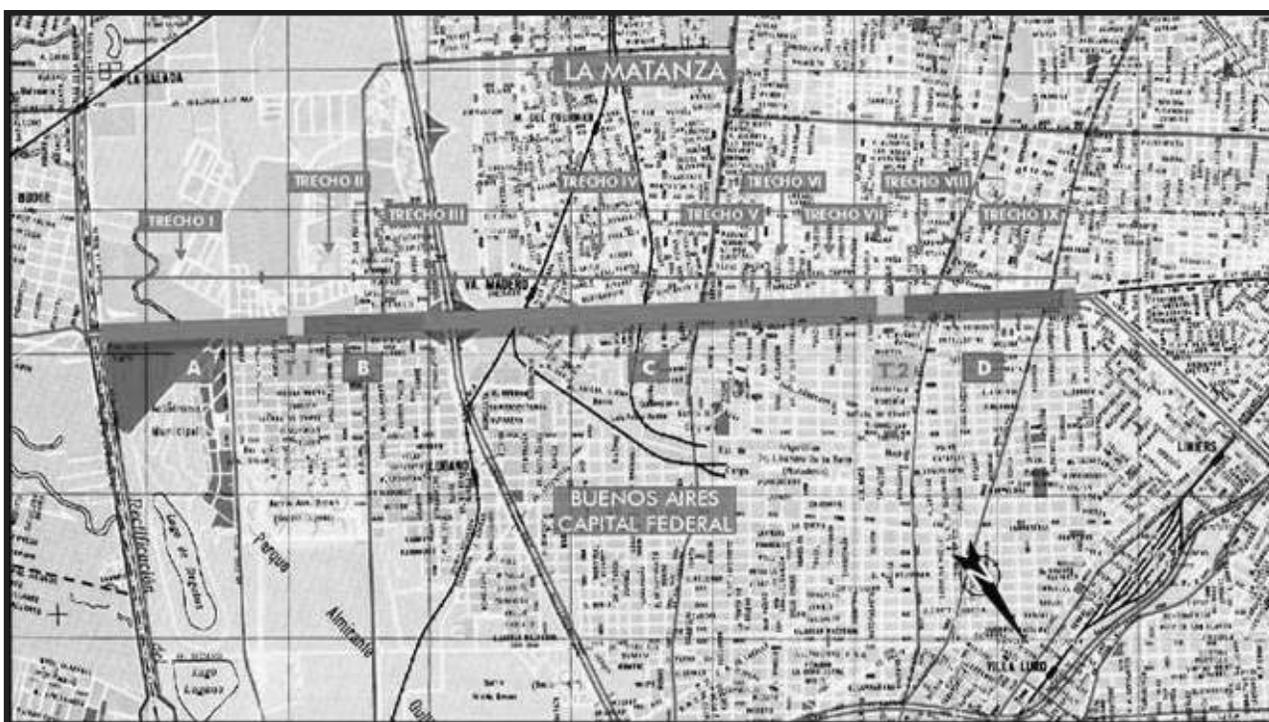
La conducción tiene unos 8.5 km de longitud y en el proyecto básico se preveía su desarrollo en nueve tramos, con conductos enterrados y trechos en túnel, con diámetros internos de 3.35m y 4.00 m. Se desarrolla en toda su extensión en el alineamiento de la Av. General Paz.

El proyecto básico preveía la construcción de túneles con una estructura de soporte o “pre-revestimiento” que podía ser constituido por dovelas de hormigón armado o metálicas y una estructura de revestimiento, consistente en hormigón moldado in-situ con unos 0,10 m de espesor.

El grupo constructor, encargado de realizar el proyecto ejecutivo, propuso una variante de proyecto con el objetivo de utilizar máquinas tuneladoras, para lo cual se modificaron los diámetros de los conductos y redujo la cantidad de tubos, asegurando una performance hidráulica similar a la prevista en el proyecto base.

Los túneles fueron construidos con dos máquinas tuneladoras –TBM- con escudo y revestimiento de dovelas de hormigón armado. El aliviador Cildañez quedó finalmente integrado por los siguientes tramos de obra (fig.1):

FIGURA 1. ALIVIADOR CILDAÑEZ. PLANTA DE LOCALIZACIÓN.



Tramo A:

Entre los pks. 8+485 (desembocadura en el Riachuelo) y 5+968,50, con una longitud de 1516,50m. Consiste en una estructura de hormigón armado en cuadro cerrado, construida en una trinchera excavada a cielo abierto. Consta de dos conductos rectangulares de 7m x 3.35m.

Transición:

Entre los pks. 6+868,50 y 6+950. Estructura de transición del conducto rectangular a conductos circulares, ejecutada en una longitud de 18,50 m.

Tramo B:

Entre los pks. 6+950 y 5+954. Dos túneles circulares de 4,40 m de diámetro interno, con una longitud de 996 m cada uno. Estos conductos son construidos en túnel con TBM con escudo.

Tramo C:

Entre los pks. 5+954 y 1+968. Es un túnel de 4,40 m de diámetro interno, con una longitud de 3986 m, construidos con TBM con escudo.

Transición:

Entre los pks. 1+968 y 1+952.

Tramo D:

Entre los pks. 1+952 y 0+100. Un túnel de 2,80 m de diámetro interno, con una longitud de 1852 m. Últimos 100 m de conducto construido a cielo abierto.

En total la obra tiene unos 8500 m de longitud, con casi 6000 m de túneles de 4.40 m de diámetro y 1850 m de túnel de 2.80 m de diámetro interno.

2.1 Interferencias

Tratándose de túneles urbanos, se procuró minimizar las interferencias de la conducción con estructuras existentes.

Las principales interferencias de la obra se verificaron con la Autopista Gral Paz, en construcción simultánea, que incluía terraplenes y obras de arte, conductos de gas (NeuBa II, principal suministro de gas natural a Buenos

Aires), colectores pluviales antiguos que son captados por la nueva conducción, tuberías de agua potable, líneas eléctricas y telefónicas, casas y edificios en las proximidades del alineamiento.

3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.

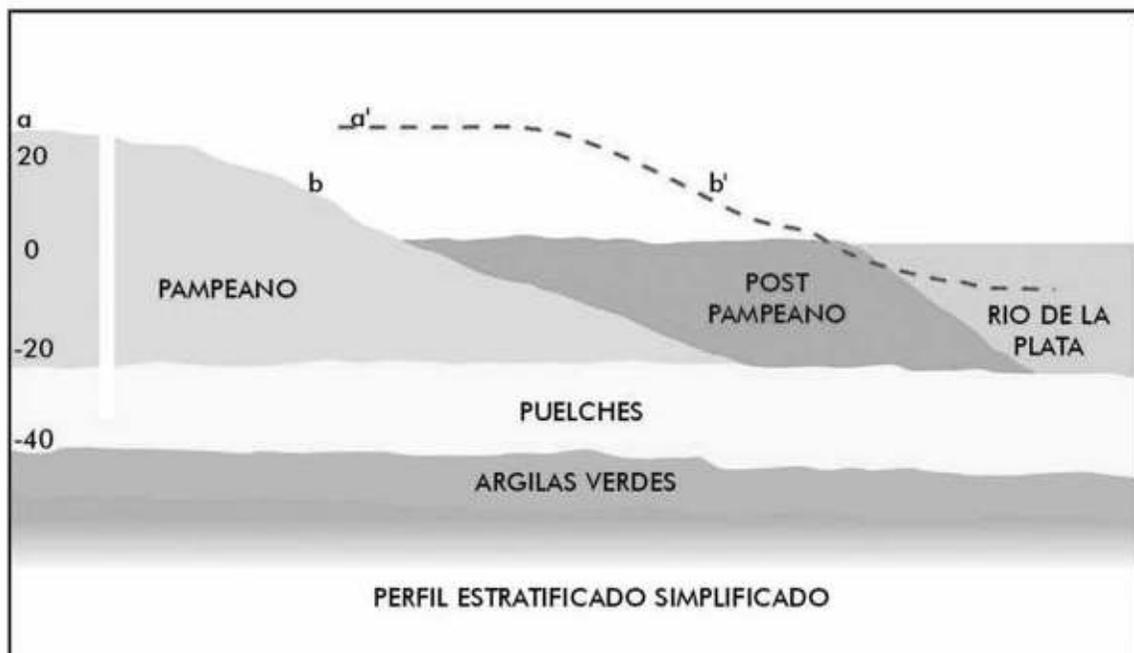
El colector Cildañez atraviesa los terrenos de las formaciones Pampeano y Post-Pampeano. En la figura 2 se presenta un perfil tipo de los suelos de Buenos Aires. La Formación Pampeano, del Pleistoceno, consiste en suelos loésicos formado por sedimentos limo arcillosos con transporte eólico, de color castaño claro - algo

con transporte eólico, de color castaño claro - algo rojizos -, con una estructura porosa, y han sido heterogéneamente cementados a través de finas fisuras con carbonato de calcio y óxidos.

Fueron depositados en un ambiente alternativamente húmedo y seco, lo que le confirió la característica de ser suelos preconsolidados por desecación.

En la figura 3, (Núñez 1986), se representa un perfil geotécnico del Pampeano en la que se indican los principales parámetros de caracterización. Son suelos esencialmente finos, con baja plasticidad y presentan intercalaciones de zonas cementadas. El espesor total de la formación Pampeano varía entre 25 y 45 m, y se depositaron sobre las arenas Puelches, del Plioceno.

FIGURA 2. PERFIL TIPO DE LOS SUELOS DE BUENOS AIRES.



Por encima del Pampeano y en las proximidades de las riberas de los ríos, se depositaron arcillas y limos blandos que constituyen la formación Post-Pampeano. El espesor total de esta formación varía entre 3 y 30 m.

En la figura 4 se muestra un perfil tipo donde el Post-Pampeano se apoya casi directamente sobre las arenas Puelches y éstas sobre las arcillas verdes del Terciario.

3.1 Parámetros geomecánicos

Para el dimensionamiento de los túneles, los suelos fueron parametrizados de acuerdo a los resultados de la prospección específica realizada para la elaboración del Proyecto Base.

La totalidad de las obras en túnel del aliviador Cildañez se desarrolla en la Formación Pampeano. A lo largo de la obra la parte superior del Pampeano son materiales arcillosos, medianamente compactos, con presencia de nódulos de carbonato de calcio diseminados en la masa del suelo. Este nivel presenta algunos planos de fisuración sub-verticales. El estrato subyacente consiste en depósitos compactos a muy compactos, donde las concreciones de carbonato de

calcio aparecen concentradas en niveles sub-horizontales.

Las características del suelo mencionadas: compacidad, baja deformabilidad, permeabilidad media y baja erosionabilidad, hacen que sea un buen material para la construcción de obras de excavación.

Para la elaboración del Proyecto Básico, se realizaron campañas de sondeos con una frecuencia aproximada de 1 sondeo cada 100 m de conducto. Se realizaron ensayos SPT cada 1 m, y se sacaron muestras de suelo con muestreadores de doble tubo sobre las cuales se realizaron ensayos de caracterización y cerca de 100 ensayos triaxiales sobre muestras inalteradas y en estado de saturación natural, ensayo que permitió obtener parámetros indicativos. Los valores medios de parámetros de resistencia son:

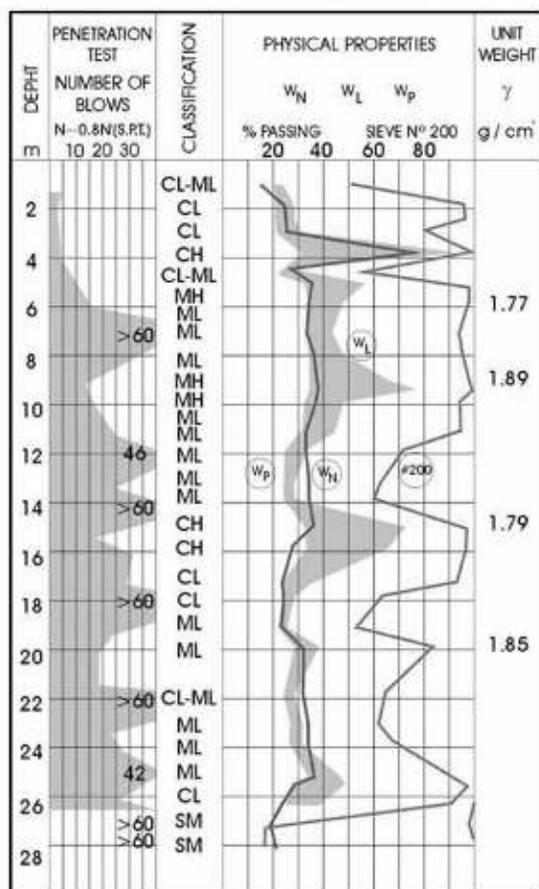
$$C_u = 46 \text{ kPa}; f_u = 12^\circ;$$

considerados valores mínimos del rango referido en la bibliografía sobre estos suelos (Núñez, 86):

$$C_u : 50 - 200 \text{ kPa}; f_u : 10^\circ - 25^\circ$$

Debido a su estructura, la permeabilidad vertical de estos suelos es superior a la horizontal, esta última varía entre

FIGURA 3. FORMACIÓN PAMPEANO. RESULTADOS TÍPICOS DE ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO. (Núñez, 1986).



10-4 y 10-5 cm/s, en muestras de laboratorio. En excavaciones la permeabilidad en grande (secundaria) llega hasta 10-2 cm/s (Sfriso, 99). Este autor menciona parámetros en términos de tensiones efectivas del Pampeano considerados para la modelación de obras subterráneas:

$$c' = 20 \text{ kPa}; f' = 32^\circ; gd = 19 \text{ kN/m}^3$$

En términos de deformabilidad el módulo inicial puede variar entre 90 y 600 MPa. El módulo de deformabilidad calculado por retroanálisis en el túnel de calle Pagola (Gualtieri-EnergoProjekt, 99) fue de 180 MPa.

Para el Post-Pampeano se aceptan valores medios de:

$$c' = 1 \text{ kPa}; f' = 28^\circ; Ed = 300 \text{ kPa}; g = 18 \text{ kN/m}^3$$

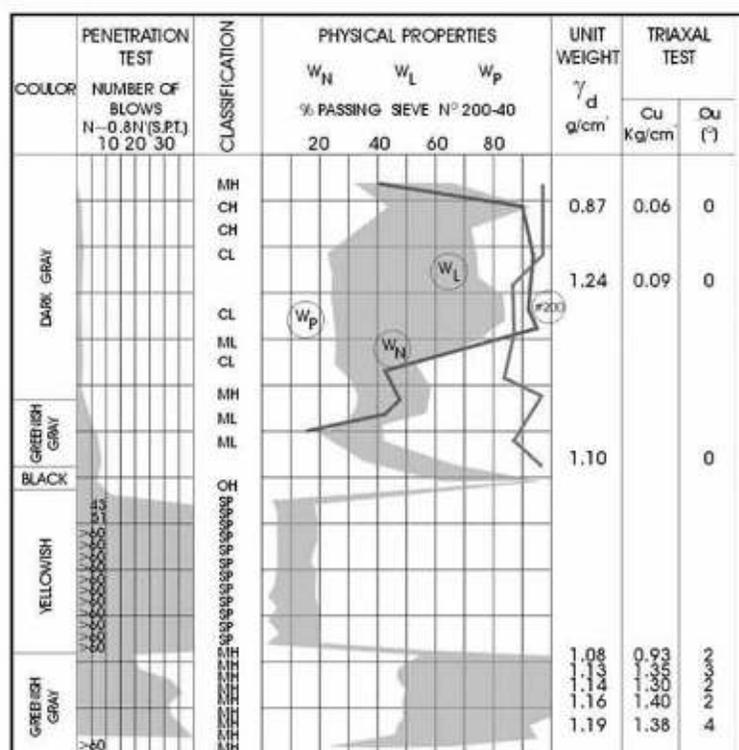
4. TÚNELES.

La conducción tiene en total unos 8500 m de longitud, con casi 6000 m de túneles de 4.40 m de diámetro interno y 1850 m de túnel de 2.80 m de diámetro interno. Los túneles de 4.40 m se construyen en los tramos B y C, los de 2.80 m en el tramo D.

Los túneles fueron construidos con máquinas tuneladoras de frente abierto -TBM- con escudo y revestimiento primario con dovelas de hormigón armado con 0.21 m de espesor, salvo un trecho de 45 m de túnel de 5,50 m, que fue excavado con método manual utilizando hormigón proyectado como soporte principal.

El soporte estructural de los túneles está constituido por dovelas de hormigón armado, en anillos de 5 segmentos más una llave en los túneles de 2.80 m y de 4 segmentos más una llave en los de 4.40 m. Una vez colocado el anillo de dovelas sirvió de reacción para el avance del escudo que se apoyaba a través de pistones hidráulicos en un aro metálico de repartición.

FIGURA 4. PERFIL DEL POST-PAMPEANO SOBRE ARENAS PUELCHES Y ARCILLAS VERDES DEL Terciario. (Núñez, 1986).



Cuando las dovelas salían del interior del escudo, el huelgo con el terreno era de unos 5 a 7 cm, inyectado inmediatamente con mortero de cemento con bentonita,

para evitar la convergencia del terreno y los consecuentes asentamientos de la superficie.

FIGURA 5. ESQUEMA DE LA TBM.

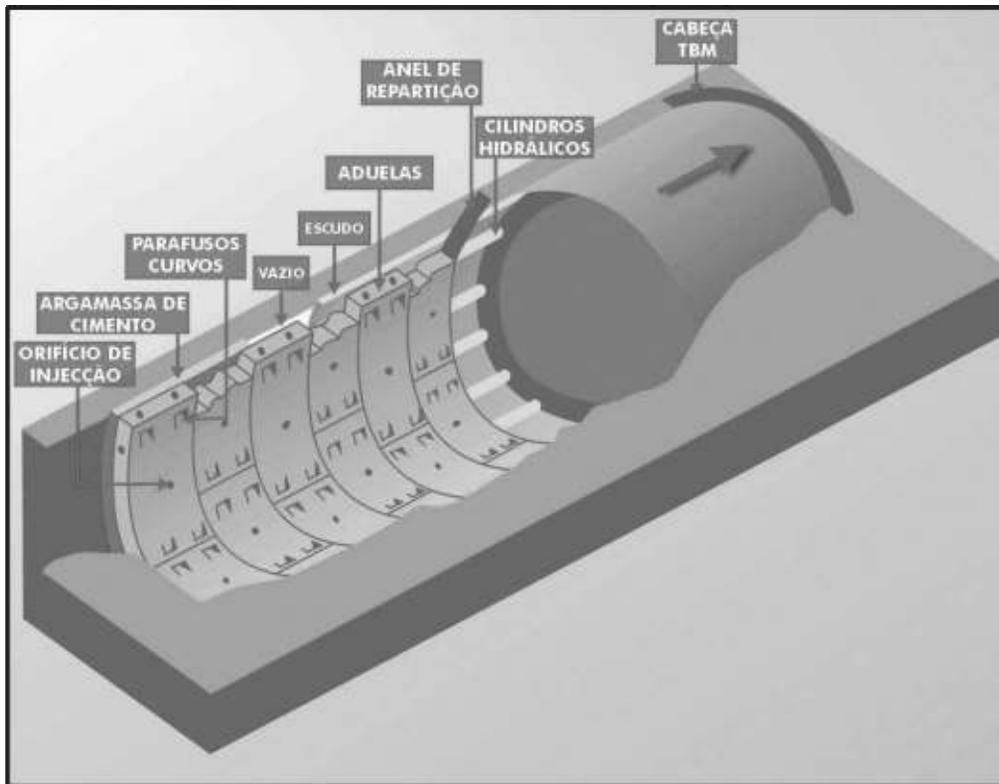
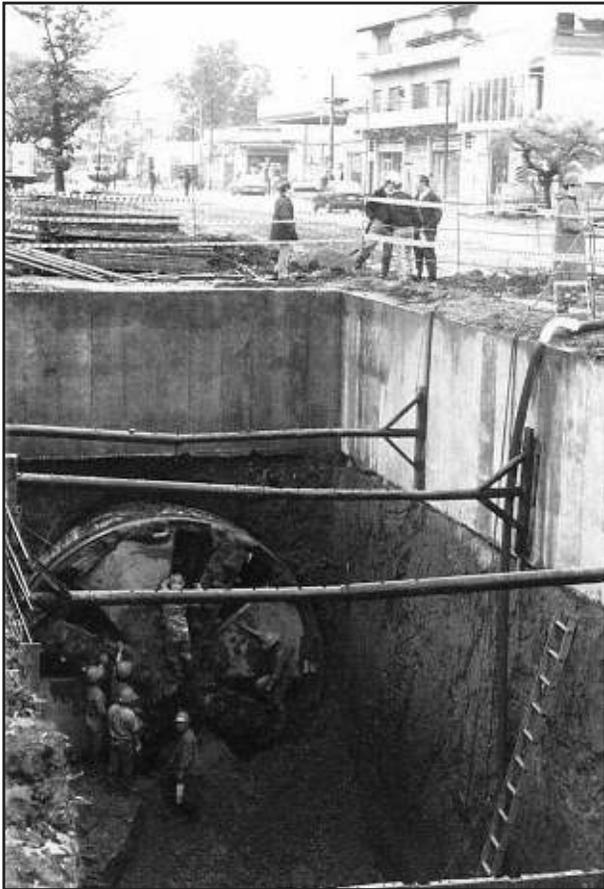


FIGURA 6. TÚNEL DE 2,80 MTS DE DIÁMETRO.



FIGURA 7. TÚNEL DE 4,40 MTS. SALIDA DE LA MÁQUINA TUNELADORA EN EL POZO DE MANIOBRAS.



5. MODELOS NUMÉRICOS.

Para evaluar la estabilidad de los dos túneles paralelos (Tramo B), en una sección en que simultáneamente se construiría un terraplén para la autopista G. Paz, se procedió a un análisis tensión-deformación en que se consideró la influencia del proceso constructivo. Para tal se utilizó el programa FLAC, basado en un algoritmo explícito de diferencias finitas.

El estudio fue realizado a pedido de la Supervisión para verificar el soporte de los túneles, en relación a un estudio presentado por el Contratista que alertaba para la plastificación del pilar entre túneles.

Para caracterizar la resistencia del terreno fueron utilizados los parámetros resistentes obtenidos de ensayos efectuados en condiciones no drenadas y en términos de tensiones totales. Las muestras ensayadas no se encontraban saturadas en todos los casos.

Los valores medios disponibles para el tramo de túneles en cuestión son:

$$c_u = 46 \text{ kPa} ; f = 10^\circ$$

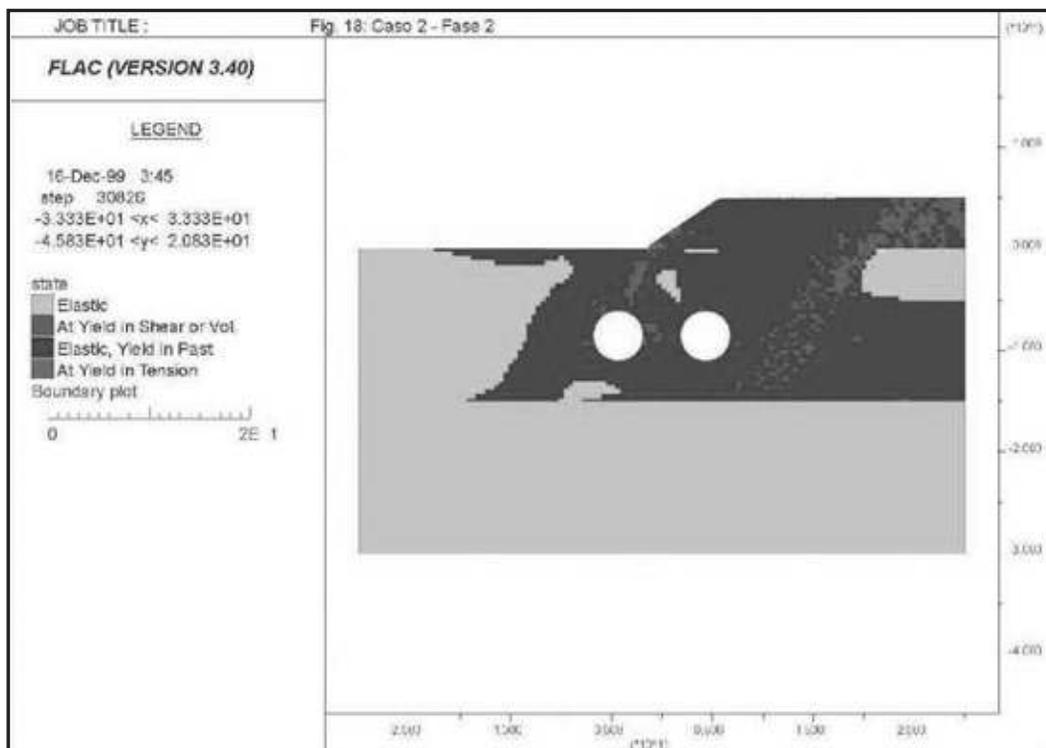
Estos valores son considerados conservadores para la formación geológica en causa. De todos modos los análisis fueron realizados también con:

$$c_u = 46 \text{ kPa} ; f = 0$$

lo que corresponde en términos de modelo a un material elastoplástico de Tresca. La resistencia a la tracción fue considerada nula.

Fueron estudiadas dos situaciones distintas, en la primera no eran permitidos desplazamientos entre el contorno de la excavación y el soporte de dovelas. En la segunda situación se admitió la existencia de un espacio de 5 cm entre el soporte y la pared de la excavación, permitiendo una relajación de tensiones en las proximidades del túnel. Los análisis fueron realizados en tensiones totales.

FIGURA 8. CASO 2. ZONAS DE PLASTIFICACIÓN.



Los dos análisis efectuados fueron descompuestos en las siguientes fases:

- generación del campo de tensiones iniciales, a partir de la superficie del terreno horizontal, con $K_0 = s'h/s'v = 0.6$ y la existencia del nivel freático a 9.35 m de profundidad, según los datos disponibles,
- construcción del terraplén,
- excavación del túnel izquierdo,
- excavación del túnel derecho.

Las constantes elásticas utilizadas para el macizo fueron:
Módulo de compresibilidad volumétrica $K = 66.7$ MPa
Módulo de distorsión $G = 14.3$ Mpa.

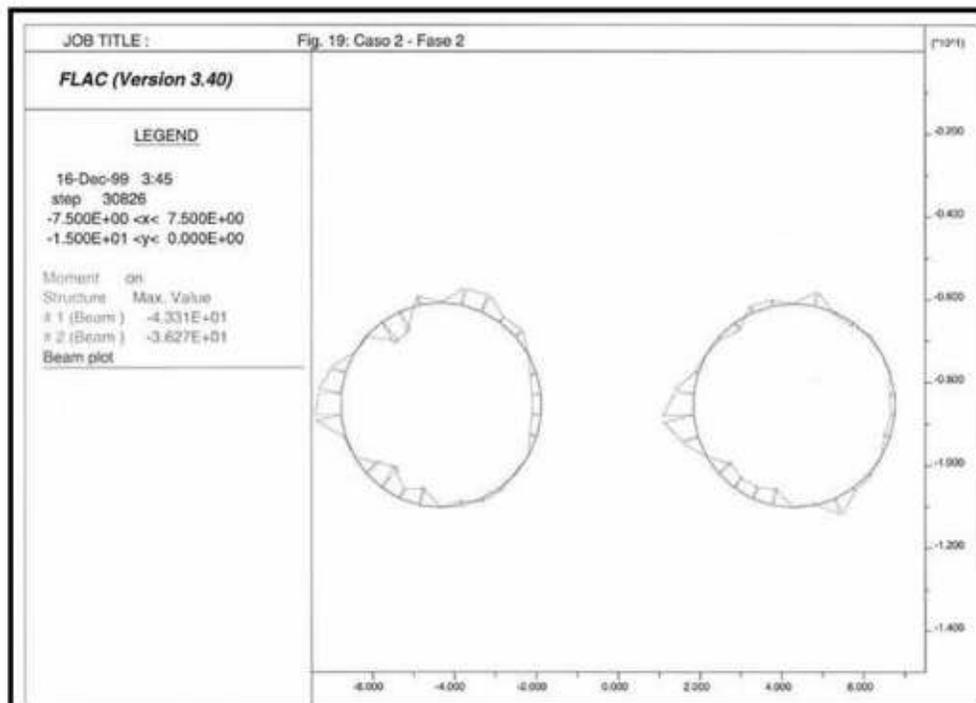
Se designó como Caso 1 al modelo en que no existe espacio entre la superficie de la excavación y el soporte primario y Caso 2, aquél en que se considera un huelgo

de 5 cm entre el terreno y el soporte. Como se podía prever el Caso 2 presenta una mayor transferencia de tensiones (efecto de arco) y en consecuencia se verificaron zonas plastificadas con mayor extensión alrededor de los túneles.

También los momentos máximos en el revestimiento fueron mayores en el Caso 2, sobre todo en el túnel del lado derecho. En relación al esfuerzo axial, la situación se invierte, siendo el caso 1 que produce mayores esfuerzos.

En términos de flexión compuesta con esfuerzo axial el caso 2 es el más desfavorable. Asimismo, se verificó que el soporte de ambos túneles era estable tanto para el caso 1 como para el caso 2, considerando inclusive la posibilidad de existencia de algunas zonas de plastificación en la proximidad de los túneles.

FIGURA 9. CASO 2. DIAGRAMA DE MOMENTOS DE LA ESTRUCTURA DE REVESTIMIENTO.



6. HORMIGÓN PROYECTADO COMO REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE LOS TÚNELES.

El proyecto básico consideraba un revestimiento interior de hormigón de 10 cm de espesor, protegido en la mitad superior con pintura bituminosa, con los objetivos de:

- Asegurar una rugosidad hidráulica adecuada.
- Garantizar la resistencia a la erosión, atendiendo a la velocidad del agua y a la presencia de partículas sólidas en suspensión.
- Resistir al ataque de productos químicos sobre el hormigón y/o armaduras.

Fueron realizadas las siguientes observaciones:

- El contacto entre el revestimiento y la dovela podía fisurar por instalación de presión hidrostática, afectando la integridad del revestimiento.

- Sería difícil garantizar la calidad requerida para su construcción debido al pequeño espesor del revestimiento y a la existencia de irregularidades en el revestimiento de dovelas, variaciones de trazado y posicionamiento del encofrado, y a las dificultades propias del hormigonado en estas condiciones.

- Las soluciones alternativas debían satisfacer, como mínimo, los mismos objetivos de la solución base y deben tener una duración comparable.

- Una alternativa que cumpliría esas premisas sería la aplicación de hormigón proyectado como revestimiento interno. La mayor rugosidad hidráulica debía ser neutralizada aplicando un acabado de alisado de la superficie.

- Con tratamientos adecuados (arenado y proyección previa de material adherente) se podría asegurar una buena adherencia del hormigón proyectado a las dovelas. Una mayor ductilidad del H^o P^o se conseguiría agregando

fibras metálicas de refuerzo a la mezcla y el acabado de la superficie final se podría mejorar utilizando áridos de menor diámetro y aditivos adecuados. La protección y el acabado final serían conseguidos aplicando la pintura bituminosa prevista en el proyecto, en todo el perímetro del túnel.

La auscultación del comportamiento de la obra durante la construcción es de gran importancia para la previsión del comportamiento del revestimiento definitivo. La práctica existente en la construcción de obras de ingeniería en el Pampeano de Buenos Aires y en particular de obras subterráneas, demuestra que el suelo tiene un buen comportamiento del punto de vista de su resistencia, rigidez y permeabilidad. Así, el monitoreo del terreno y de las construcciones circundantes no es una práctica establecida.

En el Proyecto Base y Términos de Referencia de la Licitación no se hacía referencia a la instalación de un sistema de auscultación de la obra. La Inspección presentó una propuesta a la Supervisión para la implementación de un sistema de auscultación integrado. Mientras tanto, fue realizada una campaña de monitoreo en un trozo de 45 m de túnel de 5.50 m de diámetro, construido con método observacional y revestimiento de hormigón proyectado (NATM).

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

GUALTIERI-ENERGOPROJEKT, 1999. Memoria Técnica C-DMS-MT-01. Inédito.

SFRISO, A., 1999. Tunnels in Buenos Aires: Application of Numerical Methods to the Structural Design of Linings. XI Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Iguazu.

NUÑEZ, E., 1986. Panel Report: Geotechnical conditions in Buenos Aires City. 5th. International IAEG Congress. Buenos Aires.

Di SALVO, C., del RÍO, J.C., 2001. Riesgos geotécnicos debido a la construcción de túneles en la ciudad de Buenos Aires. II^{da} Reunión Nacional y I^{ra} del Mercosur de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Mar del Plata.

MARANHA, J.R., SARRA PISTONE, R., 2000. Informe de Misión de Asistencia Técnica. Inédito.

Se realizaron mediciones extensométricas en cinco puntos alineados sobre el eje del túnel en un tramo de 4,5 m de longitud, por lo que puede suponerse con razonable aproximación que se encuentran superpuestos en una misma sección transversal del túnel. Los desplazamientos no superaron los 3 mm cerca de la superficie y 1 mm a 6 m de profundidad. Los valores no representan tendencias concretas, las diferencias no sobresalen nítidamente de los entornos de precisión de la medición y por lo tanto no son conclusivos (Di Salvo, del Río, 01).

7. AGRADECIMIENTOS.

A la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Estado, comitente de la obra, a los colegas de la Inspección de Obras y a todas las personas que participaron e hicieron posible la realización de este Proyecto.

Muy en particular, deseo recordar y homenajear al Ing. Juan Carlos del Río, mi querido amigo fallecido en la plenitud de su vida, y que fuera el responsable de la Inspección de Obras. Juan Carlos Del Río imprimió su estilo exhaustivo e impecable en la ejecución de los trabajos garantizando el máximo rigor y juicio técnico en la tarea que desempeñó. Siempre fue así, de una integridad y una humanidad ejemplares.



USO DE LA NEOSISMICIDAD FRENTE A LA NEOTECTONICA

Luis E. Suayter, Victoria G. Toscano ⁽¹⁾, Rubén I. Fernández ⁽²⁾

Resumen

Se describen los rasgos más importantes de la Neotectónica y de las fallas activas en el Noroeste Argentino y su interacción con la actividad sísmica o Neosismicidad. De igual manera se describen las categorías de Fallas Activas empleadas internacionalmente.

Abstract

In this paper, the authors describes the characters very important of Neotectonic and Active faults; and it proposed the use of Neosismicity denomination for Hystorical Seismic and Earthquakes. It describes a series of classification employed in USA and our country.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es un compendio de una investigación encarada por los autores desde el año 2000 y forma parte del Proyecto Acreditado del CIUNT(Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán): CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN BASE A LA INTERACCIÓN ENTRE LA SISMICIDAD Y LA GEOTECNIA EN EL NOROESTE ARGENTINO.El mismo se fundamenta en la

importancia de los movimientos tectónicos cuaternarios, particularmente Pleistocenos-Holocenos en la provincia de Tucumán y el NOA. Dichos movimientos están indubitablemente concatenados con la actividad sísmica, y por sobre todo relacionados con el “Peligro Sísmico” para todo tipo de obras de ingeniería (Fig.N° 1).

FIGURA 1



Entregado: 11 de Agosto de 2005 • Aceptado: 12 de Septiembre de 2005

(1)Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial (IRGYST).Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (UNT).

(2)CONICET.Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial (IRGYST).Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (UNT).

El objetivo de un análisis de **Peligrosidad Sísmica** es determinar cuál será el máximo terremoto que puede afectar a una instalación durante su vida operativa; o cuál será el máximo terremoto en un emplazamiento o región en un período de tiempo determinado. Para su estudio se han utilizado una serie de variadas metodologías cualitativas y cuantitativas, entre ellas las propuestas por Bull & Mc Fadden (1977) y adaptadas para un sector de nuestra provincia por Vega Caro (1999). La misma incluye una serie de criterios tales como: a) Sinuosidad de frentes de montañas (Smf), b) Relación entre los anchos del fondo del valle y alto del valle (Vf) y c) Formas de la cuenca de drenaje (Fcd). Todos estos criterios son apoyados por un minucioso estudio hidrogeomorfológico y registros históricos para cada área relevada. Dichos registros se enmarcan en la denominada "Sismicidad Histórica" (SH), que es simplemente el estudio de los terremotos a lo largo de un tiempo, que se ha dado en llamar "no instrumental", "preinstrumental" o "histórico" (Martínez Guevara & Saura Ramos, 1999). Sin embargo, según estos autores debemos distinguir muy claramente lo que son los estudios en los que se aplica un *método heurístico*, del simple tratado de terremotos, adjetivados como históricos ("*historical earthquakes*") para diferenciarlos de los más recientes en el tiempo, o sismicidad actual. Este trabajo no contempla el análisis de paleosismicidad por medio de apertura de labores y/o "trincheras", por lo que la mayoría de las tasas de desplazamiento estimadas para las diferentes fallas, se realizaron en base a rasgos "Morfo-Neotectónicos" (medidos sobre fotogramas aéreos e imágenes satelital) con control de campo.

Los cálculos de recurrencia de eventos y las magnitudes máximas probables, se efectuaron en base a las gráficas de Bonilla et al (1984). Se debe aclarar que para los casos estudiados, donde los instrumentos de medición son insuficientes y los datos históricos son precarios, se propone usar el término **NEOSISMICIDAD** para catalogar los nuevos sismos, en una determinada porción del territorio nacional en base a relatos orales y testimonios grabados en cualquier soporte.

Según Martínez Guevara y Saura Ramos (1999) se trata de suplir la falta de registros instrumentales para conocer la **SISMICIDAD** de un área. De esta manera se necesita conocer la actividad sísmica en el **máximo intervalo de tiempo posible**, y que en ese período exista homogeneidad de la información. Se aclara que este tipo de estudio ya se realizaron en China y Japón desde épocas contemporáneas al nacimiento del Cristianismo y en Europa desde mediados del siglo pasado.

Para este trabajo no se tiene en cuenta, dentro de la actividad Neotectónica, las actividades volcánicas e hidrotermales, reconociendo en cambio las siguientes **GEOFORMAS NEOTECTÓNICAS** como indicios de actividad:

a) Escarpes de falla, líneas de fallab) facetas triangulares y trapezoidalesc) pasos o silletas de falla longitudinalesd) lomos de obturación e) corrientes desplazadasf) corrientes desviadasg) basculamientos del terrenoh) valles longitudinales y otras evidencias geomorfológicas.

2. NEOTECTÓNICA.

La Teoría de la Tectónica de Placas, afianzada en la década del sesenta (Wilson, 1965), destruyó el concepto de "*Fijismo*" o estabilidad cortical, aceptado hasta esa fecha por numerosos autores, para darnos la idea de una Tierra esencialmente dinámica en "constante inestabilidad". Por lo tanto las deformaciones, plegamientos, fallamientos recientes, basculaciones y procesos volcánicos afectan a terrenos cuaternarios y recientes, modificando las antiguas ideas sobre la importancia de la Orogenesis del Terciario.

En el orden mundial, se puede señalar, la interacción entre vulcanismo y tectónica, en el CINTURÓN DE FUEGO circumpacífico, en el Mediterráneo, en las Dorsales Centro Oceánicas y en los grandes rift de África y Oriente medio. Aquí predominan esfuerzos compresivos y tensionales, responsables de la movilidad e inestabilidad cortical (Setti y Paz, 1997). Por otra parte, Bloom (1974), señala levantamientos orogénicos históricos y prehistóricos en ciertas costas de Alaska, que sufrieron un levantamiento próximo a los 10 metros por el sismo de 1964. Se conocen sectores de Nueva Zelanda que se levantan entre 1 y 11 metros cada 1000 años. Próximo a Los Ángeles (California), los cordones montañosos ascienden de 4 a 6 m cada 1000 años y de 4 a 6mm por año, lo que provoca serios problemas a la redes de agua y obras de ingeniería. En Argentina, en el año 1977, cuando ocurrió el terremoto de Caucete en la provincia de San Juan, cuyo epicentro tuvo lugar en la sierra Pié de Palo, en forma brusca, hubo un salto de 1 (un)metro a lo largo de la falla y posteriormente continuó el ascenso hasta nuestros días (Volponi, 1976). Se ha usado en forma indistinta y como sinónimo, el concepto de "Fallamiento Activo", para designar algunos de los fenómenos geotectónicos relacionados con grandes eventos geoclimáticos. De esta manera países europeos como Francia y Estados Unidos, con su famosa Falla de San Andrés, han logrado gran experiencia en el estudio sistemático del tema (Setti y Paz, 1997, Vicander & Monroe, 2000).

Realizando una visión retrospectiva de parte de lo estudiado en América, como "Neotectónica y /o Fallamiento Activo", se encuentran opiniones contradictorias aún desde el punto de vista genético. Así para autores como Wood (1916), Louderback (1950), la **actividad** experimentada por una **fractura**, se pone de manifiesto con el desplazamiento de algún accidente geográfico en *tiempos históricos* (cientos y miles de años). Cluff y Bolt (1969) citados por Amos et al (1981), opinan que una "Falla es Activa" cuando ha desplazado aluvión moderno o cualquier otro depósito reciente y cuyos procesos erosivos y/o de degradación no han actuado intensamente.

Cluff (1971) divide la actividad de una sola falla en cuatro categorías : 1) Activa, 2) Potencialmente Activa, 3) De Actividad Incierta y 4) Inactiva.

1) Falla Activa: Una falla tectónica con una historia de fuertes sismos y fallamiento superficial o una falla con cortos intervalos de recurrencia.

2) Falla Potencialmente Activa: Una falla tectónica sin desviación superficial histórica, pero con un intervalo de recurrencia que podría ser bastante corto.

3) Falla de Actividad Incierta: Una falla con evidencia

insuficiente para definir su actividad pasada e intervalo de recurrencia.

4) **Falla Inactiva:** Una falla a lo largo del la cual se puede demostrar que no ocurrió fallamiento superficial en el pasado reciente y el intervalo de recurrencia es muy largo.

Para averiguar si una falla es activa o inactiva, se deben tener en cuenta tres criterios según Slemmons (1977), (Amos et al, 1981):

a) Criterios Geológicos: Rasgos geomorfológicos jóvenes tales como, escarpas de falla, facetas triangulares, trincheras, cordones cortados, cursos desviados, depresiones cerradas, pantanos, rastros de fracturas en superficies jóvenes, alineamiento de manantiales, etc. (Cluff, 1971).

b) Criterios Históricos: Uso de documentos, noticias, registros de libros, diarios, comunicaciones verbales, como también fallamientos superficiales, deslizamientos de laderas o faldeos, fisuramientos, etc. A través del análisis de estos datos se puede determinar la historia e intensidad de terremotos para el período anterior al empleo de instrumentos de medición específicos y para definir si hubo una superficie de rotura durante el mismo

c) Criterios Sísmicos: Comprende todos los estudios realizados con registros instrumentales (epicentros, focos, longitud de la falla, profundidad) que pueden indicar fallamientos activos.

También para autores como Slemmons (1977) una *falla activa* es la que ha tenido un desplazamiento durante el presente régimen sismotectónico y es posible que tenga un renovado desplazamiento en el futuro.

Dentro de este contexto de difícil datación de un depósito afectado por Fallamiento, la Comisión de Energía Atómica de Los Estados Unidos de América (1973) diseñó una serie de criterios para el reconocimiento y estudio de una *falla activa*:

1) Reconocimiento en el terreno de movimientos actuantes (arqueamiento superficial, desplazamiento de rasgos geomorfológicos), que pudieron haber ocurrido en los últimos 35.000 años (por lo menos una vez), o en el último millón de años (más de una vez).

2) Determinación y medición con instrumental geofísico de macrosismicidad y gradiente gravimétrico.

3) Relaciones entre (1 y 2) de tal forma que el movimiento del primero tenga consecuencias en las actividades del segundo.

Suayter (1994 - 1998) al realizar el esquema sismotectónico de la provincia de Tucumán, definió una serie de estructuras "Presuntamente Neotectónicas" y un grupo de Fallas Activas (que tienen una antigüedad no superior a los 10.000 años (Amos, 1982)) y Fallas Activas "Capaces o Emergentes". Estas últimas pueden ser definidas si:

a) Son posibles futuros movimientos tanto en la superficie o cerca de ella, que pueden ser reactivadas en un período razonable de tiempo en áreas de intensa actividad tectónica, en base a datos históricos y geológicos de terremotos de corto intervalo de tiempo o recurrencia, registrado en el orden de los 10.000 años (Holoceno alto). En áreas de menor actividad sísmica, el período de recurrencia puede ser mucho más largo (Pleistoceno alto- Holoceno).

b) Tienen relaciones estructurales que llevan a conocer una falla emergente, tal que los movimientos de una

pueden causar movimientos en otras, en o cerca de la superficie.

c) El máximo terremoto potencial, asociado con la estructura sismogénica a la cual pertenece la falla, es suficientemente extenso y poco profundo para que razonablemente se pueda inferir que ocurra una falla con rotura en superficie (Serva Leonello, 1993).

La distinción entre un tipo y otro, ha cobrado particular importancia en la instalación de plantas nucleares, donde los estudios sismotectónicos deben realizarse minuciosamente y las normativas antisísmicas o sismorresistentes son más rigurosas que las de un edificio corriente (Suayter, 1998).

Nuevos estudios realizados en la Cordillera Oriental de Colombia, demuestran que las tasas de movimiento de fallas en general son muy bajas y moderadas con recurrencia para magnitudes máximas probables entre 8.000 a 80.000 años (Paris, 2000). Recientemente Fernández y Suayter (2003) basados en modernos trabajos sobre gestión de desastres (IDNDR, 2000), califican como *falla activa* aquella en la cual ha ocurrido desplazamiento en los últimos 2 millones de años o en la cual se observa actividad sísmica.

3. ANTECEDENTES SOBRE NEOTECTÓNICA Y PAISAJE.

En nuestro país, desde el comienzo de las investigaciones geológicas, predominó la idea que durante la **OROGENIA Terciaria** se produjo el levantamiento de los Andes. Así la gran influencia ejercida por el pensamiento de investigadores europeos se transmitió por generaciones a numerosos investigadores, que no cuestionaron dicho concepto y si lo hicieron, dijeron tímidamente que grandes movimientos habían acaecido a fines del Terciario y/o comienzos del Pleistoceno (etapa más antigua del Cuaternario).

Una de las pocas excepciones a esta línea de pensamiento la constituyó el trabajo del profesor Walter Penck (1920), que menciona los "Puna Shooter" o Estratos cuaternarios con suave plegamiento en la Puna de Atacama y en nuestra provincia el Dr. Abel Peirano (1943-1944) cuando estudió el Valle de Tafi. En la provincia de Jujuy, mencionaremos dos tesis de la Universidad Nacional de La Plata, dirigidos por el Dr. Juan Keidel que observaron fenómenos tectónicos de la "tercera fase de movimientos del Terciario superior" que afectaron depósitos Cuaternarios en las Quebradas de Juella y Purmamarca (Herrero Ducloux, 1940 y De Ferraris, 1940).

Una serie de Tesis Doctorales de la Universidad Nacional de Córdoba realizadas por alumnos del Dr. Otto Schlaginweit en el tramo superior de la Quebrada de Humahuaca, asignan los últimos movimientos tectónicos andinos al Terciario superior y Cuaternario Antiguo (Williams, 1949, Di Gregorio, 1949, Hernández, 1949 y Martínez Cal, 1949). Otros distinguidos investigadores que se ocuparon del tema denominándolos "movimientos tectónicos contemporáneos" fueron el Dr. Pablo Groeber (1944) y el Dr. Alfredo Castellanos (1944-1961), (Setti & Paz, 1997).

Recientemente, en nuestro medio, se retoma el concepto con los trabajos de Suayter (1967-1983) en la Sierra de San Javier y Sierras del Noreste de Burruyacu (La Ramada, Medina, Nogalito, el Campo) y Amos et al (1981) que realizan una de las primeras clasificaciones para nuestro país basado en la Clasificación de la Comisión Nacional de Energía Atómica de los Estados Unidos.

En el Valle de Yocavil (Santa María) Ferreiro & Mon (1970) señalan la presencia de sedimentos cuaternarios

basculados, dislocados, ligeramente plegados que acompañan las estructuras del Grupo Santa María, en la ruta provincial que une Amaicha con Quilmes en la provincia de Tucumán. Ferreiro y Mon (1976) informan sobre terrazas fluviales ubicadas en distintas alturas, con respecto al nivel general de las otras conjuntamente con rampas o glacis ubicado en los flancos occidentales de las Cumbres Calchaquíes, en el Valle de Yocavil, deformados tectónicamente. Esto es corroborado en el Valle de Tafí, por García Salemi (1974) quien sistematiza

TABLA 1

NEOTECTÓNICA			
PROVINCIA –LOCALIDAD	EVIDENCIAS DE NEOTECTÓNICA	AUTORES	
TUCUMÁN	Cumbres Calchaquíes-Flanco occidental Valle de Yocavil o de (Santa María)	Depósitos Aterrazados Fluviales y loésicos ubicados a distintas alturas, por encima de rampas o glacis . Captura y Decapitación del Drenaje.	(Peirano,1943-1944) (García Salemi, (Ferreiro y Mon (1970-1976) Gutiérrez, Mon y Vergara (2003)
	Quebrada de Lules-Sierra de San Javier	Conglomerados Aterrazados Holocénicos y Fallas activas sobre ambas laderas	Suayter (1967) Fernández y Lanza Colombres (1983-1984)
	Sierra de Liña, Tafí del Valle	Depósitos Aterrazados Fluviales, Glacis evidencias paleontológicas y Antropológicas.	García Salemi (1974-1988, 1991, 1995) Fernández y García Salemi (1995) y García Salemi y Fernández (1996) Collantes (2003)
	Sierra de Aconquija y Sierra de San Javier	Avalanchas de Rocas y Fallas activas en fanconglomerados Depósitos Fluviales y Torrenciales, sobre sedimentos loessoides; Paleovalles fluviales “colgados “	Strecker & Fauque (1987) Vergara y Suayter (2003) Sirombra y Fernández (2003) Suayter (1967-1983)
	Sierras de Medina, El Campo y La Ramada	Fallamiento activo de poco rechazo, con control activo en el drenaje y disección de conos aluviales.	Eremchuck <i>et al</i> (1981) Sayago <i>et al</i> (1996) Vega Caro (1999) Suayter (1967-1983)
TUCUMÁN	Cumbres Calchaquíes (Alto de la Totorá)	Estratificación de conglomerados cuaternarios basculando en sentido de fallas inversas de alto ángulo.	Sosa Gómez y Bazán (1996)

CATAMARCA	Sierra de Ambato y Ancasti	Fallamiento en Depósitos Cuaternarios (abanicos aluviales y paleoconos). Valle de Paclín, Cuesta del Rodeo, Los Angeles, Las Juntas, Miraflores.	Eremchuck y Papetti (1999) Suayter (1983) Papetti y Eremchuck (2000) Suayter, Fernandez y Toscano (2003)
	Sierras de Ancasti y Ambato (Valles intermontanos)	Reconocimiento de dos movimientos tectónicos (niveles aterrazados fanglomerádicos y abanicos aluviales de gran potencia).	Fidalgo (1965) Nullo (1981) Suayter, Fernandez y Toscano (2003)
SALTA	Puna: Actividad Sísmica (lineamiento del Toro - Olacapato y Calama)	Megacizalla activa con rotura superficial, que cruza en forma transversal la estructura ándica.	Suayter (1983) Shurr B. <i>et al</i> (1999)
	Falla de El Brete, Agua de Castilla, Cerro San Miguel, Los Nogales,	Fallas inversas que afectan conos de deyección y aluviones	Suayter(1983) Abascal (1999)
JUJUY	Sierra de Mal Paso, Quebrada de Humahuaca, Serranía de Chañi, Depresión La Almona; Serranía de Los Alisos y Alrededores de San Salvador de Jujuy	Reactivación por fallamiento activo en laderas y depósitos aterrazados . Formación de cuencas y valles intermontanos Plegamientos y discordancia angular regional entre formaciones Neógenas y del Cuaternario reciente.	Herrero Ducloux (1940), De Ferraris (1940), Di Gregorio (1949), Fernández (1983). Chayle & Chalabe (1990) Cahill <i>et al</i> (1992) Chayle & Orozco (1996) Orozco y Solís (1996) González <i>et al</i> (1996)

los estudios realizados anteriormente por Peirano (1943-1944).

Siguiendo esa clasificación y trabajando también en la Sierra de San Javier en problemas viales, se observó con mayor frecuencia que los depósitos Cuaternarios han sido inclinados o fallados, lo que indicaba el actual predominio de esfuerzos horizontales y verticales combinados –“Fallas Activas”- (Lanza Colombres y Fernández, 1983). A partir de esos estudios se realizaron nuevos reconocimientos, especialmente de “Valles Colgantes” en la red de drenaje, fallamientos de depósitos conglomerádicos e importantes cambios en la dirección de las áreas de aporte en pequeñas cuencas que descienden por la ladera oriental de dicha sierra y sierras del noreste de Tucumán (Vega Caro, 1999, Vergara et al, 2003, Sirombra y Fernández, 2003).

Los cursos fluviales son los que muestran los ejemplos más pedagógicos de la Neotectónica, al señalar capturas, valles colgados, divisorias de aguas y truncamiento de la red de drenaje. También se

encuentran buenos ejemplos en los conos de deyección truncados por fallas, en el valle de Santa María o Yocavil y en Tafi del Valle (Fernández y García Salemi, 1995). Observaciones de campo realizadas por los autores del presente trabajo, señalan la presencia de aluviones y paleosuelos por arriba de los 2500 metros de altura, en las Cumbres Calchaquíes y Aconquija, en donde indudablemente convergen la tectónica con cambios climáticos. También valles de fondo chato, alrededor de los 3000 metros de altura s.n.m. pueden observarse en las Cumbres Calchaquíes, Aconquija, Sierra de Narváez en la provincia de Tucumán y en las Sierras de Ambato y Ancasti en Catamarca (Suayter et al, 2003).

A manera de ilustrar los conceptos vertidos, se ha resumido en el siguiente cuadro las principales evidencias de Neotectónica, por provincia y con sus respectivos autores, quedando dicho cuadro abierto a la introducción de nuevos datos e investigaciones de “Sismicidad Histórica” (SH); como también su interacción con la NEOSISMICIDAD.

Se debe destacar que todas las fallas activas del NOA son "sismogénicas" (Suayter,1983). Este autor en su Tesis Doctoral planteó mediante perfiles sismotectónicos las estrechas relaciones de éstas fracturas con los hipocentros y epicentros sísmicos del NOA (Noroeste argentino). También en éste mismo trabajo se utilizó un método determinista para analizar la peligrosidad sísmica, basado en el registro histórico de terremotos a

partir de mediados del año 1600 (Terremoto de Esteco -Salta); hasta el año 1983. Dicho estudio se complementó con una Macrozonificación Sísmica del NOA y continuaron con el análisis de grandes "Lineamientos o Megacizallas" oblicuas a la "Estructura Andica"; que presentan caracteres de Neosismicidad con evidentes epicentros sísmicos actuales (registros desde 1900 a 2004).

4. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

ABASCAL, L.1999.Reactivación parcial del Borde Sur, del Rift Cretácico - Salta. XIV Congreso Geológico Argentino, Actas I, pag. 29. Salta.

ALLMENDINGER, R.; MARRET, R.; EREMCHUCK, J. y ALONSO, R. 1987. Deformación neotectónica en la Puna Austral. X Congreso Geológico Argentino, Actas I. Facultad de Ciencias Naturales e Inst. M. Lillo (UNT). S. M. de Tucumán.

AMOS, A. J.; CALIGARI, R. & SICHES, C.1981.Las Fallas Activas en la República Argentina. VIII Congreso Geológico Argentino, Actas II. 235-242. San Luis.

AMOS, A. J. 1982.Metodología Aplicada al estudio de Fallas Activas. Asoc. Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, Actas Vol. 2. Buenos Aires.

BONILLA, M.G.; MARK, R.R.; & LIENKAEPER, J.J.(1984). Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length and surface fault displacement. Bulletin Seismological Society of America, Vol. 77, 2379-2411.

COLLANTES, M. M. 2003. Evidencias de movimientos en masa episódicas durante el Pleistoceno tardío-Holoceno, en el piedemonte occidental de Cumbres Calchaquies, Tucumán, Argentina. Actas II Congr. Arg. de Cuaternario. y Geomorf. Tucumán .55-66.

BLOOM, A.(1974). La Superficie de la Tierra. Ed. OMEGA. Barcelona (España).

BULL, W. & Mc FADDEN, L.D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.) Geomorphology in arid regions. Pub. Geomorphol. Proc. 8th Annu Geomorphol Symp. State Univ. N.Y. Binghamton, pp.118-138. USA.

CASTELLANOS, A. (1944). El terremoto de San Juan. En cuatro lecciones sobre terremotos. Asociación Cultural de Conferencias de Rosario 79-242. Rosario, Argentina.

CASTELLANOS, A. (1961). Antiguas fuentes originarias del río Salado del Norte. Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA), Tomo XI. Buenos Aires.

CAHILL, T., ISACKS, B. WITHMAN, D., CHATELAIN, J.L., PEREZ, A. y CHIU, M. 1992. Seismicity and tectonics in Jujuy, Province, Northwestern Argentina. Tectonics, 11(5):944-959.

COQUE, R. (1984). Geomorfología. Editorial Alianza. Madrid, España.

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA (EE.UU.)1973 Seismic and geologic siting criteria for nuclear power plants, Apendix A-AEC-10-CFR-part 100. Reactor site Criteria: Federal Register, Vol.38.218 pp. USA.

CHAYLE, W. y CHALABE, S. 1990. Neotectónica del área San Salvador de Jujuy, Argentina. Actas XI Congreso Geol. Arg. San Juan. Argentina. II. 417-420.

CHAYLE, W. y OROSCO, D. 1996. Riesgos en la Provincia de Jujuy, República Argentina. Memorias XII Congr. Geol. de Bolivia. Tarija III. 1031-1036.

CLUFF, J. (1971). Perú earthquake of May 31, 1970. Engineering Geology Observation. Bulletin Seismological Society of America, Vol. 61, N° 3, pag. 511-533. USA.

DE FERRARIIS, C. I. (1940). Corrimiento de Bloques de Montaña en los alrededores de Purmamarca. Departamento de Tumbaya (Provincia de Jujuy). Universidad Nacional de la Plata. Tesis del Museo de la Plata, N° 1(pp.98). Buenos Aires. Argentina.

- Di GREGORIO, H. (1949). Estudio Geológico de la Zona de Esquina Blanca. Depto. de Humahuaca, Provincia de Jujuy. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Tesis Doctoral (Inédita), pp.70. Córdoba. Argentina.
- DOLLFUSS, O. (1958). Esquisse geomorphologique de la région d'Arequipa Trav. Instituto Francés de Etudes Andines, N° 6. Perú.
- EREMCHUCK, J.E.; MON, R.; SUAYTER, L. y ZOSSI, M. (1981). Sismicidad y Tectónica en los Andes del Norte Argentino. Revista Asociación Geológica Argentina XXXVI(2):197-203. Buenos Aires.
- EREMCHUK, J. y PAPETTI, L. 1999. Neotectónica del tramo Austral del Valle de Paclín – Catamarca. XIV Congreso Geológico Argentino, Actas I, pag. 257-259. Salta
- FERNÁNDEZ, R. I. y LANZA COLOMBRES, J. (1983a). La influencia de fallas activas, "Factor de Riesgo", en el diseño y construcción de caminos de Montañas en la Pcia de Tucumán. Boletín Asociación Córdoba. (VI) 393-404 (1-4). Córdoba. Argentina.
- FERNANDEZ, R. I. (1983). Contribución al conocimiento geológico de la región de Iturbe. Departamento de Humahuaca, Provincia de Jujuy. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Tesis Doctoral (Inédito).
- FERNANDEZ, R. I. y SUAYTER, L. E. 2003. Glosario Geoambiental. Publ. Esp. Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial (IRGYST). Fac. de Ccias. NAT. e Inst. M. Lillo (UNT). S. M. de Tucumán.
- FERREIRO, V. y MON, R. (1970). Geomorfología y Tectónica del Valle de Santa María. Acta Geológica Lilloana, Tomo XII: 5, UNT.
- FIDALGO, F. 1965. Geología del Pleistoceno del Valle de Catamarca. Servicio Geológico Nacional. Buenos Aires. Informe Inédito.
- FRENGUELLI, J. (1936-37). Investigaciones geológicas en la zona salteña del Valle de Santa María. Obra del Cincuentenario del Museo de La Plata. Tomo II. La Plata, B. Aires.
- GARCIA SALEMI, M. A. (1988). Informe Geomorfológico del Valle de Singuil, provincia de Catamarca. Revista CERS, Tomo V, N° 3-4. Tucumán-Catamarca. Argentina.
- GARCIA SALEMI, M. A. (1990). Paleocauces en el Campo del Arenal, Dpto. Santa María. Prov. de Catamarca. Fundación CERS. Tomo XII, N° 1-2. Tucumán-Catamarca.
- GONZALEZ, R., MONALDI, C. y SALFITY, J. 1996. Discordancia angular entre las Formaciones Guanaco y Piquete (Neógeno) en el extremo austral de la Cordillera Oriental, Salta, Argentina. Memorias del XII Congreso Geol. de Bolivia. Tarija, III. 1025-1211.
- GROEBBER, P. (1944). Movimientos tectónicos contemporáneos. Instituto del Museo, Universidad Nacional de La Plata. Tomo I: 263-375. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- GUTIERREZ, A., MON, R. y VERGARA, G. 2003. Neotectónica: captura y decapitación del drenaje, Tucumán, Argentina. Actas II Congr. Arg. de Cuat. y Geom. Tucumán. 293-300.
- HERNANDEZ, L. I. (1949). Estudio Geológico del Valle de Cofradías. Departamento Humahuaca. Provincia de Jujuy. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Tesis Doctoral (Inédita), pp.45. Córdoba. Argentina.
- HERRERO DUCLOUX, A. (1940). Sobre los fenómenos de corrimiento a ambos lados de la Quebrada de Juella, Departamento de Tilcara. Provincia de Jujuy. Argentina. Universidad Nacional de la Plata. Tesis del Museo de la Plata, N° 2 (pp.90). Buenos Aires. Argentina.
- LANZA COLOMBRES, J. y FERNANDEZ, R.I. (1983b). Fallas Activas: Criterio para su reconocimiento en el trazado y construcción de caminos de montaña en la Pcia de Tucumán. Estudio preliminar I. Sierra de San Javier, Provincia de Tucumán. TECNIOVIAL (DPV), N°5: 120-130. San Miguel de Tucumán. Argentina.
- LOUDERBACK, G.D. (1950). Faults and engineering geology. In Paige S. Application of geology to engineering practice, Geol. Soc. Am. (USA).

MARTINEZ-GUEVARA, J.B. Y SAURA RAMOS, S. 1999. Creación de un "sitio web" de recursos dedicados a la investigación en sismicidad histórica. 1er Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica. Asociación Española de Ingeniería Sísmica, Murcia 12-16 abril de 1999.

NULLO, F. E. 1981. Descripción Geológica de la Hoja 15f "Huillapima". Serv. Geol. Nac. Bol. N° 178. Buenos Aires.

OROSCO, O. y SOLIS, N. 1996. Vulnerabilidad geológica en el área de la Almona, Provincia de Jujuy. Argentina. Memorias XII Congr. Geol. de Bolivia. Tarija, III. 961-970

PARIS, G. (2000). Investigación neotectónica: sistemas de fallas de Romeral y Cali – Patía Departamento del Valle. Revista AZIMUTH 3740. Centro de Estad. Univ. Del Valle pp.25. Colombia .

PAPETTI, L. y EREMCHUCK, J. 2000. Evidencias de Geotectónica en el borde oriental del Ambato, Provincia de Catamarca. NO de Argentina. Rev. Cienc. y Tecn. Univ. Nac. de Catamarca (UNCa). Vol. 11. 22-28.

PEIRANO, A. A. (1943-1944). Estudio geológico de la Cuenca de Tafi y las serranías aledañas, Departamento de Tafi, provincia de Tucumán. Cuadernos de Mineralogía y Geología. Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Partes 1-2. III (10-11): 79-176. San Miguel de Tucumán. Argentina.

PENCK, W. (1920). Der Südrand der Puna de Atacama. Abh. Math. Phys. Klasse Dersächsischen Akademie der Wissenschaften, Band . XXXVII: 1 (Leipzig).

SAYAGO, J. M., NEDER, L. y COLLANTES, M. M. 1996. Hidrogeomorfología de la cuenca paleofluvial del río Tajamar, Dpto. Burruyacu, Tucumán. Serie Científica. INGEMA-Avance de Investigación, N° 5. Fac. de Ccias. Nat. E Inst. M. Lillo (UNT). Tucumán.

SETTI, E. y PAZ, M. L. 1997. La Importancia de la geotectónica en el modelado del relieve. Rev. GAEA (Soc. Arg. de Estudios Geográficos). Contribuciones Científicas. 349-357

SOSA GOMEZ, J. y BAZAN, C. A. 1996. Fallas Andinas y su control por las heterogeneidades preexistentes. Memorias del XII Congreso Geol. de Bolivia. Tarija, III. 1037-1044.

SUAYTER, L. (1967) Contribución al conocimiento de la geología y estructura de la Sierra de San Javier. Provincia de Tucumán. Argentina. Fac. Ccias. Nat. (UNT). Inédito.

SUAYTER, L. (1983). Relaciones Entre la Sismicidad y la Tectónica del Norte Argentino, entre los Paralelos 22° y 28° Latitud Sud y los Meridianos 64° y 68° de Longitud Oeste. Tesis doctoral, Fac. de Cs. Naturales e I. M. Lillo, UNT. 2 Tomos. Inédito.

SUAYTER, L. (1990-1992). Trama Geológica Estructural del Este de la Llanura Tucumana. Inédito. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Bs. As.

SUAYTER, L. (1994). Esquema Sismotectónico de la Provincia de Tucumán. Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería (CET) de la UNT, N° 6, pag. 4-10. San Miguel e Tucumán

SUAYTER, L. E., FERNANDEZ, R. I. y TOSCANO, V. G. 2003. Importancia de la Neotectónica en el desarrollo actual de obras de ingeniería. (IRGYST-UNT). Inf. Inédito.

SHURR B et al (1999). Velocity Structure and Seismicity Beneath the Puna High Plateau of North - West Argentina. XIV Congreso Geológico Argentino, Actas I. Res. Pp. 43. Salta Argentina.

SERVA LEONELLO, G. (1993). An Analysis of World Major Regulatory Guides for Nuclear Power Plant Seismic Design. Energian Nucleare anno 10, N° 2. Roma.

SIROMBRA, M. y FERNANDEZ, R. 2003. Índice QBR, herramienta ecológica potencial, para evaluar la calidad del habitat ripario de cursos de agua. VI Jornadas de Comunicaciones. Serie Monográfica y Didáctica, N° 42. ISSN : 0327-5868. Fac. CCias. Nat. e Inst. M. Lillo (UNT). 66.

SLEMMONS, D. (1977). State of the art for assessing earthquake hazards in the United States. Report 6. Faults and Earthquakes magnitude. Miscellaneous Paper U.S. Army Corps of Engineers, S-73-1; pp.129. Nevada. USA.

STRECKER, M. y FAUQUE, L. (1987). Rasgos de neotectónica y avalanchas de rocas producidas por terremoto en la vertiente occidental de los nevados del Aconquija. Prov. de Catamarca, Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Actas I. San Miguel de Tucumán.

VEGA CARO, A. C. (1999). Rasgos Neotectónicos en las Sierra del Noreste de Tucumán. Departamento Burreyacu. Tucumán. Trabajo Seminario (Inédito). Facultad de Ciencias Naturales e Inst. M. Lillo (UNT). San Miguel de Tucumán.

VERGARA ,G. A. y SUAYTER, L. E. 2003. Contribución a la Geotectónica de la provincia de Tucumán. Evolución estructural de la Sierra de San Javier. II Jornadas Hídricas de la Sierra de San Javier. SEOP. Publ. CD. San Miguel de Tucumán.

VICANDER ,R. y MONROE, J. S.(2000). Fundamentos de Geología. 2da.Edición. pp. 445. International Thomson Editores. México.

VOLPONI, F. (1976). El riesgo sísmico en el territorio argentino. An. Soc. Cient. Argentina. Serie II ,Ciencias Aplicadas(42):37-44. Buenos Aires.

WOOD, H.O. (1916). California earthquakes, a synthetic study of recorded shocks. Bulletin Seismological Society of America, Vol. 6(2/3):54-196. USA.



IMPACTO DE LA EROSION FLUVIAL EN LOS PUENTES CARRETERO Y FERROVIARIO DEL RÍO ROMANO, DPTO MONTEROS, PROVINCIA DE TUCUMÁN

Suayter Luis, Benítez de Parra Lidia

Resumen

La cuenca del río Romano en la provincia de Tucumán recibe el aporte de tres grandes ríos de primer orden de régimen permanente Los Sosas, Mandolo y Zerda, cuyas cuencas superan los 1000 km². De manera recurrente se deben estabilizar los puentes ferroviario y carretero que atraviesan dicho río situados a unos 100 metros uno de otro sobre la ruta provincial número 38. En época de lluvias torrenciales, se generan crecientes extraordinarias que provocan serios daños a los mismos.

Palabras claves: erosión, crecida

Abstract

The river basin of the Romano river, in the province of Tucumán, receives the contribution of three great rivers of first order of permanent regime, Los Sosas, Mandolo and Zerda, whose river basins surpass the 1000 km². Of recurrent way, the railroad bridges are due to stabilize that cross this river, located to about 100 meters of another one, on provincial route 38. In time of torrential rains, extraordinary crescents are generated that cause serious damages to such.

Entregado: 11 de Agosto de 2005 • Aceptado: 30 de Agosto de 2005

Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial,
Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo,
Universidad Nacional de Tucumán
Miguel Lillo 205 – (4000) Tucumán – República Argentina
matcat@csnat.unt.edu.ar
lidiabenitez@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es parte del Proyecto “Evaluación del Riesgo Sísmico y su Impacto Ambiental en base a la Interacción entre la Sismicidad y la geotecnia en el Noroeste Argentino”, aprobado y financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT).

Si bien es cierto el proyecto trata sobre el riesgo sísmico, este trabajo se enmarca dentro de los problemas geotécnicos de las cuencas y microcuencas de la provincia de Tucumán y su impacto ambiental.

La recurrencia del fenómeno inundación-anegamiento en las llanuras, se deben a factores naturales y antrópicos. En los primeros se destacan, el régimen de precipitaciones, topografía plana del terreno de muy bajo gradiente de pendiente y suelos hidromorfos de baja permeabilidad. Entre los factores antrópicos más relevantes se pueden citar, la pérdida de la capacidad de captar y almacenar agua de lluvia de los suelos por el deterioro físico, el diseño de una red vial que actúa como

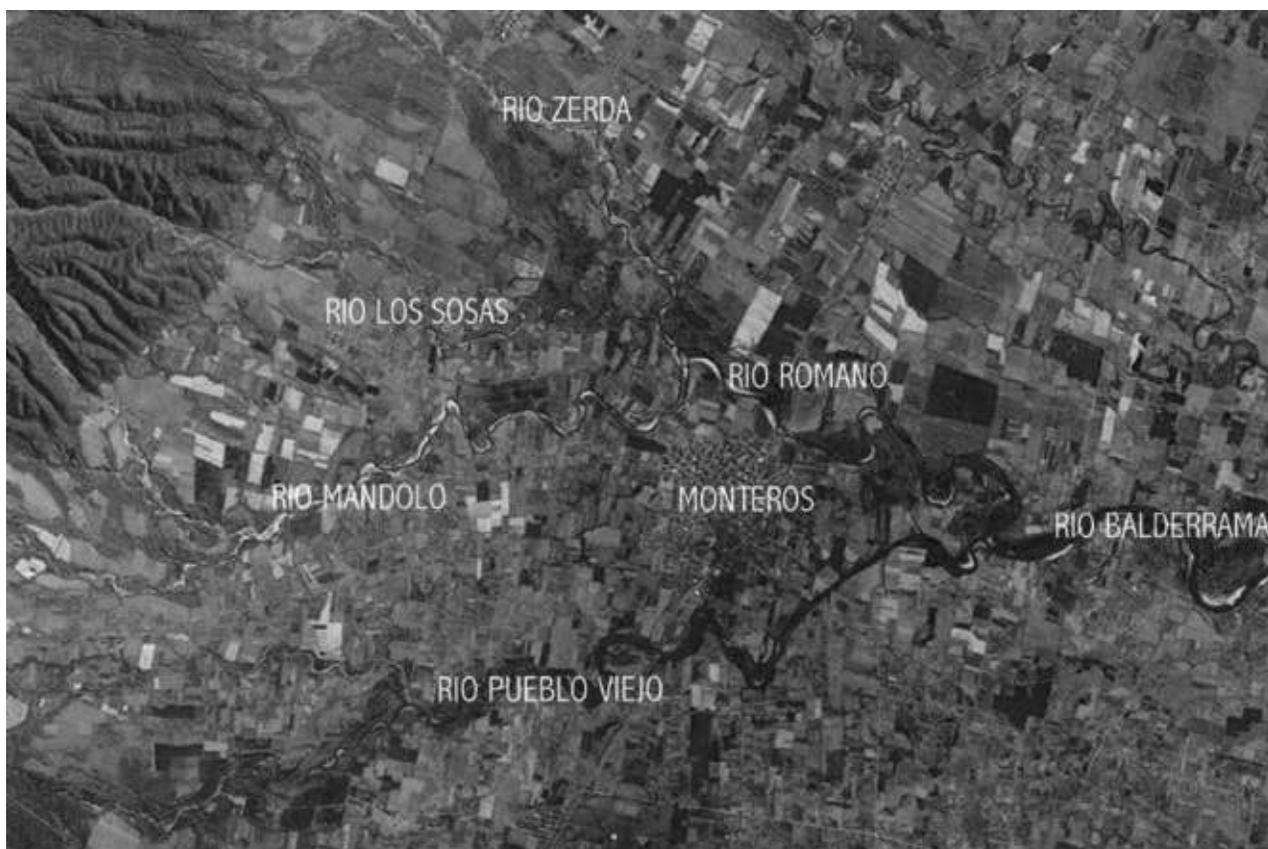
dique que condiciona la acumulación y movimiento de agua en superficie y la construcción de canales de riego de manera anarquizada, sin un criterio integral sobre la geomorfología regional.

Se debe tener en cuenta en los estudios de inundaciones fluviales, los hidrogramas de crecidas y el tiempo de concentración (lapso de tiempo entre el ascenso y el caudal pico), para planificar las obras de arte, particularmente en la región del pedemonte y la llanura deprimida de la provincia de Tucumán.

El conocimiento de las inundaciones a través del método de investigación histórica (Rang, S. et al -1999-), completa la información junto con las encuestas de campo en las zonas críticas.

El diseño del registro histórico, permite obtener características de las inundaciones (extensión, profundidad, duración, magnitud y frecuencia), sumado a ello los registros hidrológicos e hidrometeorológicos, que son esenciales para el análisis estadístico de las mismas.

FIGURA 1. IMAGEN SATELITAL.



2. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE EROSIÓN.

a) Geología

El Departamento de Monteros presenta una diversidad de ambientes geológicos. En la penillanura dominan las formaciones cuaternarias naturales y las cuaternarias antrópicas. Los depósitos sedimentarios son propios del pie de sierra.

En las estribaciones del piedemonte se presentan formaciones sedimentarias terciarias, pertenecientes al grupo Aconquija. En el núcleo de las cadenas montañosas predomina el basamento metamórfico precámbrico, caracterizado por la presencia de micacitas, filitas y gneis. En la cota 2000 msnm se pueden encontrar granitos y migmatitas.

Los lineamientos tectónicos principales están orientados de Norte a Sur, y los lineamientos secundarios tienen rumbo noroeste.

b) Geomorfología (ver imagen satelital)

Asociado a los ambientes geológicos se distinguen los geomorfológicos que diferencian distintos paisajes de acuerdo a su altitud.

Al este de la ruta número 38, en la llanura, se desarrolla una red hidrográfica anastomosada. Los ríos escurren entre barrancas de bajas alturas, que en épocas de crecidas ordinarias desbordan hacia los terrenos circundantes. Sumándose a ello que el lecho de los mismos está por encima de la cota de llanura, debido a la colmatación de sólidos.

Al Oeste de la ruta 38 se desarrolla la zona de piedemonte donde influyen de manera importante los factores climáticos y antrópicos, por los cuales se produce una gran degradación de los suelos que alimenta el caudal sólido de los ríos y sus tributarios.

c) Pluviometría

El régimen de las precipitaciones según una zonificación de altura nos presenta estacionalmente la distribución de la media anual de lluvias como sigue:

TABLA 1.

Cotas (metros sobre nivel del mar)	Pluviometría (milímetros por año)
Hasta 500	900
500 a 1700	2000
Mayor de 1700	300

d) Datos de Aforos Históricos de la Cuenca
La cuenca del río Romano – provincia de Tucumán –

Departamento Monteros, colecta los caudales de tres ríos de régimen permanente:

TABLA 2.

	Superficie Cuenca (km ²)	Caudal Máximo Instantáneo (m ³ /seg)
Los Sosa	420	490
Mandolo	300	300
Zerda	300	310

Se destaca que en el río Los Sosa, en el Km 21 sobre ruta 307, se encuentra la única estación de aforo permanente de registros de caudales.

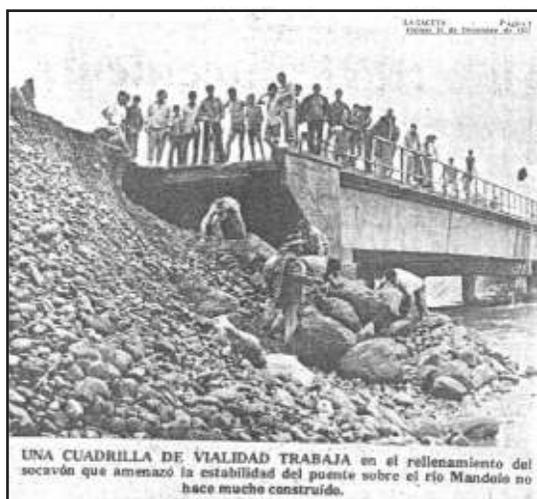
e) Daños producidos históricamente (ver recortes diario “La Gaceta”)

1.- El 24 de setiembre de 1977 se produce la destrucción del puente ferroviario (FCGB), sobre el río Romano que corresponde a la máxima crecida histórica registrada de 1200 m3/seg., anegándose el sector Norte de la ciudad de Monteros, distante unos 200 metros.

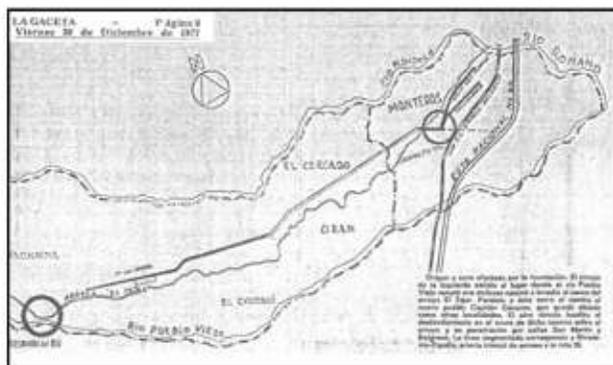
2.- El 30 de diciembre de 1977, se produce la crecida del Pueblo Viejo y Arroyo El Tejar, que trajo como consecuencia el anegamiento de la ciudad de Monteros con 1(un) muerto y 200 evacuados. Produciéndose la rotura de las reparaciones efectuadas en el puente ferroviario, como consecuencia de la crecida del mes de setiembre de 1977.

3.- La crecida del río Mandolo (año 2001) destruye el puente carretero de la ruta interpueblos número 324. En esa fecha se estima la crecida del río Romano en 1300 m3/seg. y se produce el colapso del puente carretero sobre ruta número 38.

RECORTES DIARIO “LA GACETA”:



RECORTES DIARIO "LA GACETA".



APARECE CON ELOCUENCIA EL AVANCE de las aguas en la tronca calle Rivadavia. Al fondo se advierte la basílica de Nuestra Señora de Rosario, en pleno centro.



AGUAS REVUELTAS. Personal de Vialidad ayudó a cruzar a quienes pasaron la noche varados en la ruta 307.

f) Descripción del río Romano

Ubicación: Puente Ferroviario – Puente Carretero (distancia 100 metros).

Espesor promedio del lecho: 7 metros de espesor

Ancho promedio: 80 metros

Petrografía: predominan los granos de arena, 60%; limos y arcillas, 30%; gravillas, 10%

Tirante promedio: 0,70 metros en dicha sección

Estos resultados se obtuvieron de manera práctica, al estudiar este sector para la limpieza de cauce que taponaban las luces de los puentes. Cabe destacar que en ese entonces se realizaron calicatas para medir la profundidad del lecho aluvial, encontrándose el siguiente perfil de arriba hacia abajo, posterior a la crecida extraordinaria del mes de febrero del año 2001 (Suayter 2001):

Arenas gruesas, medianas y finas entre 7 a 10 metros de espesor, pobremente consolidada con intercalaciones de gravillas.

Limo-arcilloso de color pardo, medianamente cohesivo en la base.

El río Romano presenta la tendencia de recostarse sobre su margen izquierda aguas arriba del puente carretero (ruta número 38, ver foto), erodando dicha margen en forma permanente, manifestándose a la vez acumulación sobre margen derecha, con una típica reptación de cauce de un río de llanura. Esto es lo que se conoce como un meandro. En una serie de meandros la corriente roza sucesivamente las orillas derechas e izquierdas, describiendo sinuosidades mayores que el eje del lecho aparente y tendiendo a exagerarlas, ya que el punto de

mayor velocidad es de máxima erosión. En este caso, como lo muestra la fotografía, se excava cada vez más en la margen izquierda que en la derecha, siendo la pendiente de dirección NO-SE del orden del 1%, la velocidad del agua podría variar entre 0,80 m/seg a valores superiores a los 3 m/seg.

Más que un problema geotécnico de sustentación de base de los pilares de los puentes, es evidente que la sollicitación crítica corresponde a la dinámica erosiva del río, la cual es variable en el tiempo y en la ubicación, de aporte y de arrastre, según la magnitud de los caudales.

Debe defenderse ambas márgenes con una solución que dé respuesta a esta variabilidad, buscando aportar condiciones de equilibrio a la conducción de las aguas y a su encauce.

g) Caudal máximo histórico estimado

Las estadísticas de lluvia, citadas anteriormente, nos muestran valores que oscilan entre 900 y 2000 mm/año en la cuenca media de los ríos Los Sosa, Mandolo y Zerda.

De estudios realizados recientemente por una consultora privada, el caudal arrojó un valor superior de pico de crecida de 1400 m³/seg en el río Romano para una recurrencia de 25 años. Estos estudios se realizaron basándose en información satelital y modelos matemáticos HEC2/RACER (modelos hidráulicos clásicos) y las correcciones practicadas fueron en base a series de datos de aforos en la cuenca del río Famaillá,

FOTO RIO ROMANO.



por no contar en el río Romano con registros permanentes, considerándose válida la extrapolación por la similitud geomorfológica de ambas cuencas.

Por otra parte se complementó la información con un trabajo realizado por uno de los autores donde se hizo un análisis de la cuenca del río Famaillá, mediante series de tiempo basado en modelos de espacio de estado para predicción y tendencia del régimen pluviométrico. Dio como resultado que las condiciones no varían desde hace 31 años (1967-1998). Se analizaron tres modelos de espacio de estado, en todos los casos presentaron una convergencia muy fuerte. El análisis de los residuos y la banda de confianza de las autocorrelaciones indican que el tercer modelo es el más adecuado. Primer Modelo: serie con un componente con nivel y pendiente estocástica, estacionalidad trigonométrica y componente irregular. Segundo Modelo: pendiente nula, nivel aleatorio, estacionalidad fija, componente irregular aleatorio y un posible ciclo. Tercer Modelo: pendiente nula nivel y estacionalidad fija, componente irregular y un ciclo de período 12 (Torres de Plaza, Benítez de Parra, Almorza 2001).

Las Corrientes Fluviales, su Potencia y su Carga

Toda masa de agua en movimiento representa cierta potencia. Esta potencia es proporcional a la masa (es decir al caudal) y al cuadrado de su velocidad. El caudal de una corriente de agua es proporcional a la superficie de la sección inundada y a la velocidad. Por lo tanto la potencia de un punto de la corriente es pues proporcional

a la sección inundada y al cubo de su velocidad $P = S V^3$, donde S representa la sección inundada y V la velocidad.

La velocidad de una corriente fluvial viene dada por la fórmula de Chezy – Eytelwein:

$$V = C \sqrt{R I}$$

donde:

V = Velocidad media de la corriente en un punto dado.

C = Coeficiente de la rugosidad del lecho (depende de la naturaleza de las rocas del mismo).

R = Radio hidráulico, o sea el cociente de la superficie de la sección mojada, por su perímetro $R = S/P$.

I = Pendiente.

Estas consideraciones constituyen una de las leyes esenciales de la dinámica fluvial, sin embargo son demasiado teóricas y deben complementarse con la experiencia, en base a trabajos y observaciones de campo.

Calado de erosión del lecho del río Romano

Prácticamente conocemos que:

- a) Una corriente de agua es, en cada punto del trazado, un complejo de partículas de agua animadas a distinta velocidad y movimientos ya sean laminares o turbulentos.
- b) La carga es compleja, formada por materiales en disolución, en suspensión y transportado sobre el fondo.

Es muy diversa, tanto en calibre como en forma.

c) La naturaleza de un lecho varía de un punto a otro, del perfil transversal de la corriente.

d) La corriente no tiene un caudal constante, hay períodos de poco agua, de aguas medias o altas y crecidas excepcionales o extraordinarias.

e) El tirante no es uniforme.

Por lo tanto no se puede englobar todas estas variantes en una única fórmula matemática, debiéndose en este caso recurrir a la experiencia de campo.

3. CONCLUSIONES.

El calado de la erosión para la crecida extraordinaria que supera los 1300 m³/seg con una recurrencia de 25 años y aún en menor cantidad de años, puede descalzar fundaciones (pilas del puente ferroviario del río Romano) hasta 6 (seis) metros de profundidad, provocando el colapso del mismo (24 de setiembre de 1977), habiéndose producido otras crecidas de igual magnitud en 1987, 1999 y 2001.

Por lo tanto se recomienda:

a) Realizar fundaciones indirectas, mediante pilotes con

apoyo de punta y fricción, hormigonado "in situ" que superen los 10 metros de profundidad, atravesando el manto de material incoherente.

b) Tener en cuenta que el río tiende a recostarse en ese punto, hacia la margen izquierda. Prueba de ello son los meandros abandonados que se observan en la imagen satelital digitalizada. Por lo tanto, los 2 (dos) metros de espesor de la barranca, que contienen al lecho normal de inundación, fueron superadas y desbordadas unos 400 metros aproximadamente hacia el norte, por crecidas extraordinarias en los últimos 25 años.

c) Al construirse el puente carretero sobre el río Romano se produjo un estrangulamiento en la sección de escurrimiento lo que ha provocado una onda de erosión retrocedente que avanza desde la confluencia del río Balderrama hacia el oeste (aguas arriba), afectando por lo tanto la estabilidad de las barrancas en ambas márgenes.

Para finalizar se debe señalar que el período de recurrencia de crecidas extraordinarias, se acortaron sensiblemente con el tiempo, producto de la degradación de las cuencas altas y medias, por la acción antrópica en los ríos Mandolo, Sosa y Zerda, variable no tenida en cuenta en las leyes de la dinámica fluvial.

4. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

Rang, S. et al (1999). Propuesta de creación del Distrito de ordenamiento Ambiental para el área sur de Laboulaye Rosales – Leguizamón. Documentos Técnico CONICOR-ADESUR-UNRC, 60 pag.

Suayter, L. (2001). Estudio hidrológico de erosión en el río Romano aguas arriba y abajo del puente carretero. Dirección del Agua, provincia de Tucumán. Informe Inédito.



PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE NORMAS ANTISÍSMICAS, MICROZONIFICACIÓN Y RIESGO SÍSMICO EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

Suayter Luis, Benítez de Parra Lidia, Torres de Plaza Marta

Resumen

El Código de Normas Antisísmicas Tucumanas (Linares, R. et al 1992) se refiere a viviendas unicelulares y edificios y fue elaborado en su oportunidad en base a estudios geológicos, ingenieriles, urbanísticos y sismológicos de la provincia de Tucumán. En los últimos 10 años el Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo de la UNT, profundizó estos estudios y elaboró un esquema sismotectónico de la provincia dando una particular importancia a las fallas activas.

Palabras Claves: Normas antisísmicas, microzonificación, riesgo sísmico.

Abstract

The Code of Antiseismic Rules in Tucumán (Linares, R. et al 1992) refers to house and buildings and it was elaborated on studies based on geology, engineering, urban development and seismology in Tucumán. In the last 10 years the Geological Risk and Territorial Systematizing Institute of Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo UNT, deepened these studies and elaborated a seismictectonic scheme of the province taking special attention to the active faults.

Entregado: 11 de Noviembre de 2005 • Aceptado: 30 de Noviembre de 2005

Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial
Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo,
Universidad Nacional de Tucumán
Dirección electrónica: matcat@csnat.unt.edu.ar
lidiabenitez@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere a la actualización del estudio y codificación de la actividad sísmica en la provincia de Tucumán, en base a las normas sismorresistentes aplicadas a la construcción, adaptadas a la misma.

Estudiosos en la materia de distintos países coinciden en que la microzonificación de los suelos subyacentes referidos a sus propiedades geotécnicas, en particular sus parámetros mecánicos, juegan un rol fundamental en la interacción suelo-estructura, ya que es posible mostrar una correlación entre las características de los suelos y las intensidades sísmicas, a partir de la evaluación del comportamiento de los edificios y obras de artes durante y después del terremoto.

El código de normas antisísmicas tucumanas (Linares, R. et al 1992 op. cit.) referidos a viviendas unicelulares y edificios, fue elaborado en base a estudios geológicos,

ingenieriles, urbanísticos y sismológicos, tratando de completar estas disciplinas de una manera armónica y objetiva, adaptando las normas nacionales (IMPRES-CIRSOC) para la provincia de Tucumán.

En los últimos 10 años el Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo de la UNT, reelaboró las Normas del año 1992 que nunca fueron aplicadas por razones desconocidas y que fueran presentadas ante las Instituciones competentes como un Proyecto en donde constaban los siguientes items:

- 1.- Recopilación y sistematización de la información existente.
- 2.- Estudios geológicos, geotécnicos y geodinámicos.
- 3.- Estudios de sismología regional y local.
- 4.- Estudios geotécnicos y de mecánica de suelos.
- 5.- Estudios de cuencas hidrográficas.
- 6.- Estudios de estabilidad de taludes naturales para la sectorización por coeficientes de seguridad.
- 7.- Estudios de respuestas del terreno con instrumentación sísmica.

2. ACTUALIZACIÓN DE NORMAS ANTISÍSMICAS NAT 92 - FUNDAMENTOS.

Para evaluar el potencial riesgo de un sismo, en una región, se necesita:

- a) Un tiempo largo de observación sísmológica acompañado de estudios geológicos y tectónicos, ya que los terremotos se presentan de forma totalmente aleatoria, en su magnitud e intensidad.
- b) A la vez tener en cuenta las condiciones económicas del país, donde el costo de la edificación está fuertemente regido por la situación (ubicación) geográfica, el clima, la geología próxima del lugar (la que proporciona los materiales), por el nivel industrial, técnico, social y también por las tradiciones regionales y valores culturales.
- c) Finalmente, debe recordarse que cualquier propuesta debe aplicarse en un territorio modificado por la acción multiseccular del hombre y coexistir con estructuras no-reemplazables masivamente en el corto plazo y, algunas veces, ni siquiera en el largo plazo.

Para lograr un mayor avance se debe tener en cuenta lo siguiente:

- 1.- Zonificación sísmica (con miras a una futura microzonificación).
- 2.- Planos de epicentro. Estadísticas de terremotos.
- 3.- Conocimiento de la interacción suelo-estructura.
- 4.- Conocimiento de la neotectónica de la región.
- 5.- Datos geofísicos precisos.
- 6.- Consideraciones económicas-sociales.
- 7.- Realidad del parque edilicio existente.
- 8.- Desarrollo de alternativas constructivas y del diseño antisísmico.

Las normas nunca pretenden que las edificaciones puedan resistir sin daño cualquier terremoto. Sólo tienden a que resistan sin daños, los terremotos de pequeña intensidad; sin daños estructurales, los de moderada intensidad y sin que se produzcan situaciones de hundimientos bruscos y/o de colapsos, en los de mayor intensidad.

Como consecuencia de ello tanto las normas como las zonas sísmicas, son aproximaciones que se modifican a raíz de nuevos estudios que tienden a mejorar el conocimiento sísmico a través del tiempo.

2.1.- Estaciones Sismológicas, Planos de Epicentros y Estadística de los Terremotos

Se necesita contar:

Con una red de aparatos registradores-estaciones sísmológicas con una densidad mínima de 40.000 Km² por unidad (separación media entre ellas de 200 Km). Nuestra provincia solucionaría este problema con una sola estación de registros múltiples y podría tomar todos los datos para sismos con magnitud $M > 5$, correctamente, establecer periodicidades, etc.

Registros de más de 600 km de distancia no son confiables, ya que la misma fórmula de Richter no es apta para eso (Volponi, F. 1962).

Esta red es el punto de partida para el estudio básico de una zonificación sísmica regional. Hasta ahora no hay una información completa y de ese modo no se cuenta con registros de la actividad sísmica "instantánea".

Los fenómenos orogénicos, la actividad tectónica y la sísmicidad del lugar, por lo general, salvo raras excepciones, nunca son ni estables ni coincidentes en la tierra. Ni siquiera parecidos en lugares equidistantes de un foco, por la heterogeneidad del suelo y los factores físicos, que controlan la deformación de las rocas y de la corteza terrestre.

Consecuentemente, es fundamental disponer de equipos de registros y que ellos funcionen siempre y en perfectas condiciones.

Muchos años de supuesta tranquilidad sísmica son interrumpidos por un brusco incremento de la actividad debido a la inestabilidad tectónica global.

Es imperioso, cuanto antes, contar con la estadística y la recurrencia de esta actividad para lograr un conocimiento regional mas real.

2.2.- Conocimiento de la Interacción Suelo - Estructura

Las distintas tipologías de suelo, sus características de rigidez, de compacidad relativa y la prospección de acuíferos, hacen a un conocimiento que permite, a veces, amplificar o disminuir la violencia sísmica local.

En rasgos generales, pueden aparecer variaciones, en más o menos, de hasta 10 veces la violencia local referida al conjunto. Ello invita a una confección de un mapa geotécnico de la provincia de Tucumán (Linares, R. 1982; Suayter y Linares 1987; Suayter, L.1990-1992; Suayter, L. 1994), donde los valores de capacidad de carga admisibles estén reflejando características de acuíferos, compacidades, textura y probables asentamientos de los distintos estratos de suelos. Se deben extremar las medidas precautorias en lugares donde afloran rocas tales como yeso, calizas y areniscas con cemento carbonático y de baja cohesión, como también arcillas tixotrópicas. El mapeo geotécnico no sólo sirve para este conocimiento, sino también para otros tipos de riesgos geológicos, como ser: procesos de remoción en masa, explotaciones de canteras a cielo abierto y ocupación de terrenos salinos solubles e inundables que lleguen a saturar los estratos

impermeables, haciendo que éstos embalsen el agua y modifiquen la escorrentía superficial y el entorno geológico del lugar.

Es fundamental contar además con un estudio de mecánica de rocas y de suelos..

En la provincia de Tucumán, de acuerdo a la zonificación sísmica realizada (Linares, R. et al 1992), los autores han completado el mapeo en las cuencas intermontanas y en las llanuras pedemontanas, ondulada y aluvial.

2.3.- Conocimiento de la Neotectónica

La neotectónica activa es significativa, entre otras manifestaciones, de la actividad sísmica. Todos los procesos orogénicos actuales, son de por sí, expresiones de ella y dan conceptos globales sobre las posibilidades de una evaluación del fenómeno. Indicios de fallas activas (Ferreiro, V. J. 1969; Amos, A. J. 1982 y Serva Leonello, 1993), variaciones del campo magnético (Torres de Plaza, M. et al 2002) y otras anomalías geofísicas, indican inestabilidades corticales a tener en cuenta, aunque estén registrados en terrenos cuaternarios (Pleistocenos), cuyo intervalo de tiempo es muy largo comparado con la vida humana.

2.4.- Datos Geofísicos

Perfiles topográficos, gravimétricos y magnetotélúricos, distribución de las aguas termales, resistencia y resistividad eléctrica del suelo, corrientes telúricas, modificaciones del período de vibración de los mismos en ondas P, anomalías gravimétricas y geotérmicas, emisión de radón, sirven para fortificar las estadísticas sísmicas. Ya que al haber coincidencia con la tectónica y en particular con la neotectónica, es posible delimitar las zonas sísmicamente activas, de lo contrario, se podría suponer que son lugares de relativo silencio sísmico (Suayter, L. 1983) .

2.5.- Consideraciones Económicas – Sociales

Se considera que viviendas unicelulares ejecutadas con diseños, materiales y mano de obra de muy buena calidad, con controles estrictos de ejecución, en terrenos de conocida resistencia específica y estabildades temporarias, pueden quedar liberadas del cumplimiento de estas normas, en base a la experiencia y antecedentes regionales conocidos sobre la actividad sísmica local.

Lo expresado anteriormente lleva implícito un concepto fundamental: **volver a construir correctamente.**

De este modo, el factor económico gravitante de las estructuras sismorresistentes, no incidirá en los costos de la construcción y permitirán el desarraigo de villas de emergencia situadas en terrenos de grandes riesgos geológicos, que ante un eventual temblor de tierra de baja intensidad, podría desencadenar una serie de acontecimientos imprevisibles.

Consideramos que no se debe privar al trabajador de escasos recursos, el derecho a una vivienda digna y confortable.

2.6.- Realidad del Parque Edificio Existente

Casi todo el esfuerzo de prevención antisísmica está confiado a nuevas construcciones en altura, de comportamiento elástico-plástico, con estructuras aporticadas de hormigón armado, soslayando la urgente problemática de miles de edificios no reforzados donde vive y trabaja la gente. Las construcciones sismorresistentes, diseñadas y calculadas como tal, constituyen sólo un 30% del total edilicio de la provincia.

Debe encararse la obligada coexistencia de edificios realizados en distintas épocas, como realidad insoslayable de nuestras ciudades. La figura jurídica de la medianería permite estructuras resistentes compartidas donde nuevos materiales aplicados con criterios actuales, se superponen a construcciones preexistentes no compatibles. Incluso debe aceptarse que la tecnología de hoy, será obsoleta en un futuro inmediato.

Y no debe olvidarse la incuestionable pervivencia de edificios y conjuntos arquitectónicos que, por su valor histórico o representatividad material de un determinado momento de nuestra cultura (patrimonio urbano-arquitectónico), deben protegerse y conservarse para convivir armoniosamente en la ciudad actual porque constituyen la presencia cotidiana de nuestra identidad como pueblo de nuestra nación.

La falta de medidas precautorias adecuadas sobre estos aspectos, agrava día a día los potenciales efectos destructores de un movimiento sísmico.

2.7.- Desarrollo de Nuevas Alternativas Constructivas y de Diseño Arquitectónico

Es necesario volcar mayores esfuerzos en el estudio y aplicación de sistemas y técnicas que mejoren la resistencia sísmica de estructuras ejecutadas con materiales disponibles en la región. Su menor costo redundará en un mayor aprovechamiento de los escasos recursos financieros disponibles y en un mejoramiento de la calidad de vida de la población.

La resistencia sísmica de muros de albañilería (ladrillo, piedra, mampuestos en general) deben mejorarse mediante soluciones más racionales. Cuando fuera necesario, los refuerzos previstos deben ser de fácil construcción y bajo costo, reduciendo su número pero aumentando su eficacia. Vivienda de madera correctamente reforzadas pueden soportar grandes distorsiones sin colapsarse.

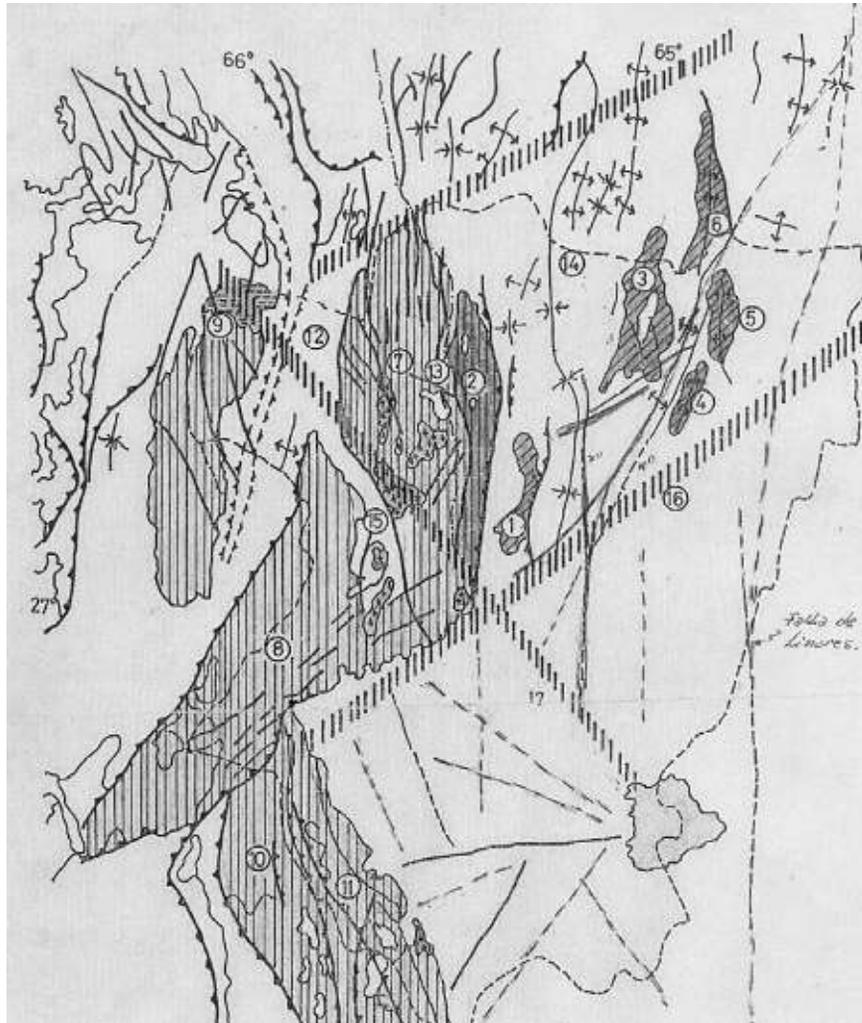
Es necesario recuperar, científicamente, antiguas técnicas tradicionales dictadas por experiencias multigeneracionales. Edificios antañones correctamente dimensionados y contruidos muestran menos deterioro que algunas construcciones más recientes, diseñadas con técnicas y materiales modernos, pero mal realizadas. El uso de trabas de madera dura inmersas en muros portantes asentados o contruidos en barro, documentan su eficacia en edificios centenarios. La experiencia mundial ha demostrado que casas de 2 (dos) pisos, incluso de adobes, sobrevivieron a sismos violentos, si tienen una estructura maderera de calidad, con uniones y detalles constructivos bien resueltos.

Es necesario también contar con mano de obra idónea. La programación cíclica de cursos educativos destinados

al mejoramiento y formación de operarios para la construcción, debe ser una política a implementar en forma inmediata con la participación de todos los sectores involucrados en este quehacer.

Y finalmente reconocer como premisa fundamental que, **los costos de construcción deben rebajarse racionalizando los sistemas constructivos y no malbaratando la calidad de las obras.**

FIGURA 1. BOSQUEJO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL. PROVINCIA DE TUCUMAN



BASAMENTO METAMORFICO ALTO G°
BASAMENTO METEMORFICO BAJO G°
BASAMENTO GRANITICO
BASAMENTO MET. ALTO Y BAJO G°
FALLAS INVERSAS
FALLAS
FALLAS INFERIDAS
FALLAS INVERSAS INFERIDAS
EJES ANTICLINALES
EJES SINCLINALES
LINEAMIENTOS
(1) SIERRA SAN JAVIER
(2) ALTO DE VIPOS
(3) SIERRA DE MEDINA

(4) SIERRA DE LA RAMADA
(5) SIERRA DE EL CAMPO
(6) SIERRA DE LA CANDELARIA
(7) CUMBRES CALCHAQUIES
(8) SIERRA DEL ACONQUIJA
(9) SIERRA DE QUILMES
(10) DEPRESION DE LAS ESTANCIAS
(11) DEPRESION DE ESCABA
(12) DEPRESION DE SANTA MARIA
(13) DEPRESION DE GONZALOS
(14) DEPRESION DE CHOROMORO
(15) DEPRESION DE TAFI
(16) LINEAMIENTO DE TUCUMAN
(17) LINEAMIENTO S.H.MUERTO-MONTEROS
(18) FALLA DE LINARES

Escala aproximada 1:1.000.000

Por: Dr. Luis Suayter (2004)

3. ACTUALIZACIÓN DE LAS NORMAS

En las presentes normas para la provincia de Tucumán se actualizaron e incorporaron los siguientes tópicos:

- 1.- Macrozonificación sísmica de la provincia (1994-1998).
- 2.- Modelización estadística para el análisis de riesgo sísmico en los dptos. de Burruyacu y Trancas considerados como los de mayor actividad sísmica de la provincia. Contribuyendo a mejorar el diseño sismorresistente de las viviendas uncelulares.
- 3.- Revisión del esquema sismotectónico de la provincia de Tucumán (Suayter 1994-1998), poniendo en evidencia la presencia de 3 (tres) cinturones móviles o franja de gran deformación y la existencia de fallas activas que afectan a terrenos Pleistocenos-Holocenos.
- 4.- Se establecieron criterios para el estudio de fallas activas y fallas activas capaz o emergentes (capable fault o capable tectonic source) que por cercanía a grandes obras hidráulicas, representan riesgos para su estabilidad.
- 5.- Se definieron dos grandes unidades morfoestructurales en la provincia, "Sierras Pampeanas" y "Sistema Burruyaquense", en base a argumentos litológicos y tectónicos.
- 6.- En la llanura deprimida de la provincia de Tucumán se comprobó un sistema de fallas Holocénicas, subsuperficiales, puesta de manifiesto por sondeos

geoeléctricos, en terrenos sedimentarios de relleno cuya capacidad de carga no supera los 0,50 kg/cm².

7.- Creación del Departamento de Seguridad Edilicia (DSE) en el ámbito de la Secretaría de Obras Públicas de la provincia con sus funciones específicas como autoridad de aplicación de las normas.

4. CONCLUSIONES

1.- Se adaptó una norma específica para la provincia de Tucumán, en base a los estudios realizados y puntualizados precedentemente. En un país como el nuestro de un área continental de 3.200.000 km², con longitud N-S de 4.100 km y E-O de hasta 1.100 km es imposible pensar en una homogeneidad normativa, ni mucho menos en una zonificación sísmica integral.

Hay que reconocer que es sólo un esbozo de rasgos generales lo que se ha hecho. Es necesario que cada región y/o provincia contribuya con su esfuerzo a un mejor conocimiento sísmico nacional.

2.- Estas normas están sujetas a revisión a medida que se profundice en el conocimiento sísmico integral de la región.

3.- La presente norma modificatoria de las anteriores (NAT 88 y 92) fueron presentadas oportunamente a las autoridades provinciales.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

AMOS, A. J. –1982- Metodología Aplicada al Estudio de Fallas Activas. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Vol. II, 9-18. Actas, Bs. As.

FERREIRO, V.J. –1969- Algunas Observaciones Sobre la Tectónica Cuaternaria de Tucumán. Inédito. Fac. de Cs. Naturales e I. M. Lillo, UNT.

LINARES, R. –1982- Informes Sobre Movimientos Sísmicos en Villa Benjamín Aráoz. Inédito. Dirección de Arquitectura y Urbanismo. Tucumán.

LINARES, R.; SUAYTER, L; PAOLASSO, C. –1992- Normas Antisísmicas Tucumanas (actualización). Inédito. Superior Gobierno de la Provincia de Tucumán.

SERVA LEONELLO –1993- An Analysis of Major Regulatory Guides for Nuclear Power Plant Seismic Desing. Energian Nucleare anno 10, n° 2. Italia, Roma.

SUAYTER, L.; LINARES, R. –1987- Zonificación sísmica de la Provincia de Tucumán. Actas del X Congreso Geológico Argentino, Tomo I, pag. 203 – 207. Tucumán.

SUAYTER, L. –1983- Relaciones Entre la Sismicidad y la Tectónica del Norte Argentino, Entre los Paralelos 22° y 28° Latitud Sud y los Meridianos 64° y 68° de Longitud Oeste. Tesis doctoral, Fac. de Cs. Naturales e I. M. Lillo, UNT. 2 Tomos. Inédito.

SUAYTER, L. - 1990-1992. Trama Geológica Estructural del Este de la Llanura Tucumana. Inédito. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Bs. As.

SUAYTER, L. –1994- Esquema Sismotectónico de la Provincia de Tucumán. Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería (CET) de la UNT, N° 6, pag. 4-10. Registro de Propiedad Intelectual N° 303943.

TORRES DE PLAZA, M.; BENÍTEZ DE PARRA, L. Y SUAYTER, L. –2002- Un Modelo Estadístico para el Análisis del Riesgo de Terremoto y su Aplicación a Datos de los Dptos. de Burruyacu y Trancas. Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería (CET) de la UNT, N° 22, pag. 25 – 32. Registro de Propiedad Intelectual N° 303943.

VOLPONI, F. –1962- 1ras Jornadas Argentinas de Ingeniería Antisísmica, Tomo I, pág. 58.



DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DE LOS PROCESOS DE INESTABILIDAD QUE AFECTAN AL BARRIO "EL MARQUESADO" DE LA CIUDAD DE COMODORO RIVADAVIA. CHUBUT. ARGENTINA.

Hirtz, Néstor

Resumen

El barrio El Marquesado es un conjunto habitacional fruto de un emprendimiento cooperativo, compuesto por 41 viviendas de dos plantas, distribuidas en cuatro filas paralelas, fundadas sobre plateas reforzadas con vigas portamuros, ubicado en la zona norte de la ciudad, sobre el sector bajo del faldeo del Cerro Hermitte.

El barrio ha sufrido, particularmente en el período 2001 – 2003, movimientos progresivos de reptaje local del faldeo acompañados puntualmente por hundimientos, que han afectado a las viviendas y obras de infraestructura: cercos, líneas de conducción de fluidos, veredas, pilares de alumbrado, cordones cuneta, aceras, etc.

A fin de analizar la problemática planteada se desarrolló una metodología de estudio que puede sintetizarse en tres capítulos. El primero de ellos corresponde al análisis de la peligrosidad geológica del faldeo sur del Cerro Hermitte debido a que en su extremo este se encuentra emplazado el barrio, en un contexto de inestabilidad generado por los deslizamientos, particularmente el acontecido en 1969 que ha sido el de mayor magnitud documentado históricamente en el ámbito del ejido urbano de la ciudad.

En el segundo capítulo, se efectúa la caracterización de los suelos locales correspondientes a depósitos eólicos- aluviales y de remoción en masa, y en el tercero, se analizan las evidencias, modalidad y causas de los movimientos que afectan a las viviendas del barrio, aportándose en las conclusiones y recomendaciones las medidas a tomar para propender al seguimiento de la evolución de los procesos y a la mitigación de sus efectos sobre las viviendas y su entorno.

Palabras clave: Peligrosidad, deslizamiento, reptaje, Comodoro Rivadavia.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbano de la ciudad de Comodoro Rivadavia se ha visto fuertemente condicionado por el medio físico y sus procesos asociados (fundamentalmente deslizamientos y reptaje de ladera). La limitada disponibilidad de tierras llanas o con pendientes bajas y estables ha conducido progresivamente a que se urbanizaran los tramos inferiores de los faldeos de los cerros, asumiendo de hecho una peligrosidad creciente.

Desde hace aproximadamente tres décadas se viene produciendo una fuerte ocupación territorial para la realización de planes de viviendas, en general sin una adecuada planificación que contemple dichos condicionamientos, lo cual dio como resultado el asentamiento de barrios en zonas inadecuadas debido al alto nivel de peligrosidad geológica.

Los deslizamientos de los Cerros Chenque en 1995 y Hermitte en 1969 (el de mayor magnitud) son los procesos de remoción en masa más importantes con registro histórico a nivel del ejido urbano de la ciudad. El barrio El Marquesado se construyó sobre el extremo este del lóbulo del deslizamiento ubicado en el faldeo sur del Cerro Hermitte y terrenos aledaños afectados estructuralmente por el mismo.

Entregado: 5 de Octubre de 2005 • Aceptado: 8 de Diciembre de 2005

Universidad Nac. de la Patagonia, Fac. Cs. Naturales.
Ciudad Universitaria, Ruta 1, Km.4, Comodoro Rivadavia
(9000) Chubut, e-mail: nhirtz@unpata.edu.ar

2. ANÁLISIS GEOLÓGICO DEL FALDEO SUR DEL CERRO HERMITTE.

2.1. GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFIA:

Las rocas sedimentarias que componen el Cerro Hermitte corresponden a los niveles inferiores de la Formación Patagonia (Feruglio 1950) o Formación Chenque (Bellosi 1990). Son rocas terciarias de origen marino que se encuentran dispuestas en estratos subhorizontales, con una suave pendiente regional hacia el sureste de aproximadamente 1,15 grados.

En la columna sedimentaria que constituye el faldeo sur del Cerro, se encuentra representada gran parte de las dos secuencias regresivas inferiores depositadas durante el retroceso del mar transgresivo proveniente del Atlántico, en el Oligoceno.

La primer secuencia se compone de arcilitas y arcilitas tobáceas de color gris y gris verdosas que se desarrollan

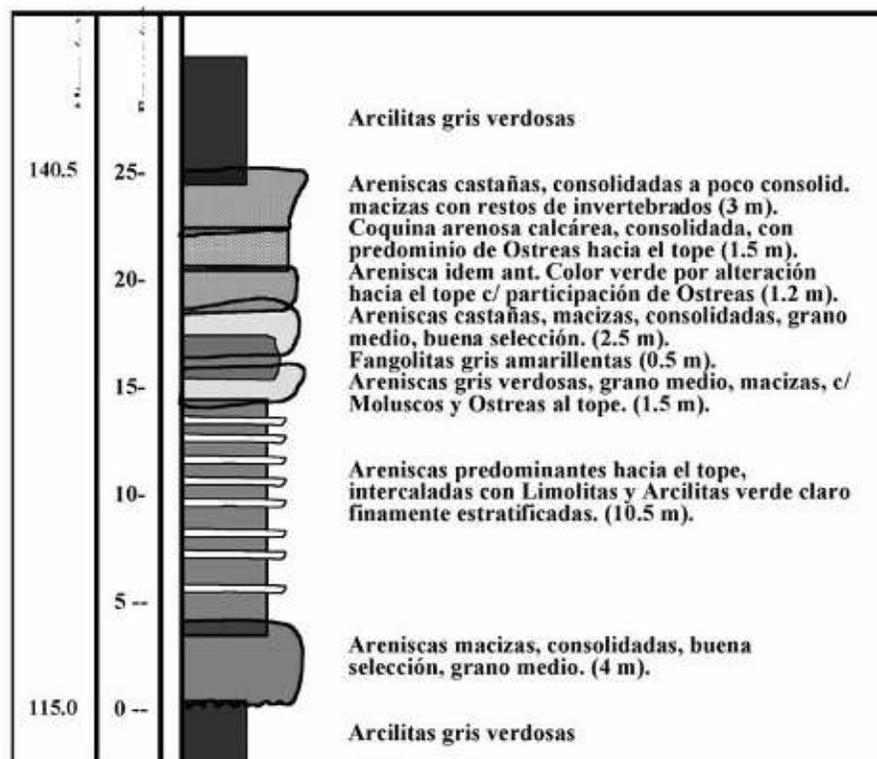
desde el fondo del valle a aproximadamente 60 metros de altura hasta los 115 metros.

Estas arcilitas se encuentran fuertemente alteradas por meteorización y fracturadas con una gran variedad de juegos de discontinuidades con predominio de uno subparalelo a la superficie del faldeo producido por procesos de relajamiento de tensiones y meteorización.

Por encima de estas rocas finas, se depositó un banco de arenisca de 25,5 metros de espesor cuyo techo marca la finalización de la secuencia regresiva. En la Figura 1 se aprecia un detalle de su composición litológica, dominada por areniscas, dentro de la cual se destaca un banco de coquinas próximo al tope del conjunto descrito, de 1,5 metros de espesor, caracterizado por su elevada resistencia a la rotura y a la erosión.

Por encima del espeso nivel arenoso, denominado "banco guía" por sus características sobresalientes y su continuidad lateral sobre el perfil del faldeo, (Hirtz et al. 1989, 1994) se desarrolla la segunda secuencia regresiva

FIGURA 1.



que comienza con arcilitas semejantes a las descritas, pasando progresivamente hacia el coronamiento a areniscas, que culminan nuevamente con un banco bien desarrollado de coquinas altamente consolidadas (a 260 metros) el cual protege el conjunto de la erosión e infiltración de agua por la parte superior. Al noroeste del sector estudiado el cerro alcanza los 329 metros de altura.

2.2. ESTRUCTURAS:

El aspecto estructural resulta determinante al momento

de analizar las causas del deslizamiento del faldeo sur del Cerro Hermitte. Se ha contado con valiosa información del comportamiento estructural del subsuelo aportada por las perforaciones petroleras y datos de posteriores colapsos de cañerías en las mismas.

Asimismo los geólogos que estudiaron el área ya obtenían algunas conclusiones con respecto a la relación entre el fallamiento profundo y los procesos de inestabilidad a nivel de los faldeos del Cerro Hermitte, desde la primer mitad del siglo XX.

Fossa Manzini, 1935, denomina Falla "b", a la falla gravitacional de inclinación sur, ubicándola sobre el faldeo sur del Cerro Hermitte.

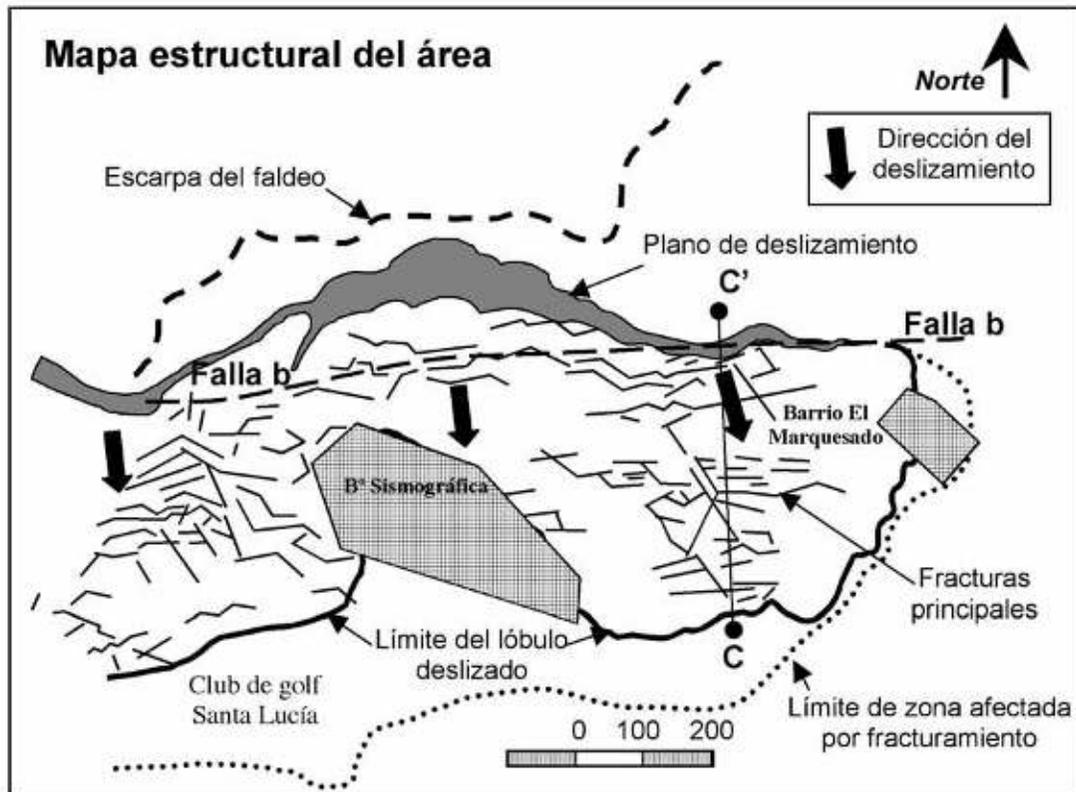
Feruglio, 1950, define las fallas a, b y c dentro del ejidourbano, de las cuales la Falla b presenta su traza a lo largo de la ladera sur del Cerro Hermitte y le asigna una probable vinculación con los deslizamientos, por considerarlas "superficies de menor resistencia".

En Hirtz et al., 1994, se pone énfasis en el control estructural de la Falla b sobre los deslizamientos, expresando que: "En el presente trabajo se procura demostrar que la falla B, de rumbo aproximado E - W,

que aflora en la zona media del faldeo sur del Cerro Hermitte, ha sido un factor determinante en los deslizamientos producidos en el sector, particularmente del ocurrido en 1969."

En la Figura 2 se aprecia la estrecha vinculación entre la traza de la Falla b con el plano expuesto del deslizamiento y el patrón dominante de fracturas dentro del terreno deslizado, así como los límites del lóbulo del deslizamiento y de la zona afectada por fracturamiento.

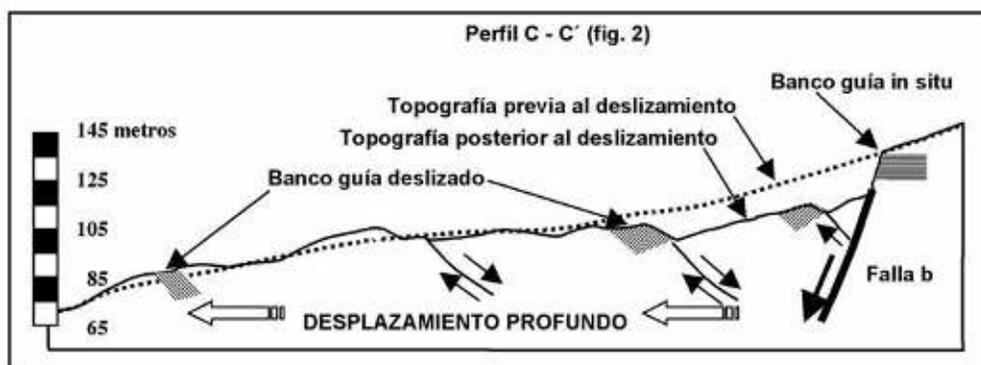
FIGURA 2.



La alineación predominante de las fracturas es este - oeste, subparalelas a los planos de falla y de deslizamiento, de carácter tractivo, originadas durante el deslizamiento del faldeo. Las más continuas y próximas

al plano expuesto presentan el aspecto de pequeñas fallas antitéticas locales que han provocado el basculamiento de los bloques deslizados en el sentido de la pendiente, como se ilustra en el perfil de la Figura 3.

FIGURA 3.



2.3. GEOMORFOLOGIA:

A escala regional, la ciudad de Comodoro Rivadavia se encuentra emplazada en el tramo final de los cañadones labrados por erosión hidroéolica y procesos de remoción en masa, que descienden principalmente desde las planicies o “pampas” ubicadas al oeste. La erosión ha sido controlada principalmente por líneas de debilidad correspondientes a las fallas directas regionales de rumbo dominante este- oeste, que se desarrollaron hasta la superficie y de ello se deriva la coincidencia del arrumbamiento de los cañadones, cerros relictuales y estructuras del subsuelo.

La preservación de los cerros mesetiformes separados por cañadones que se amplían en su descenso hacia el mar responden genéticamente a la resistencia de los bancos de coquinas en su coronamiento (factor litológico) y su orientación este – oeste al control estructural derivado del fallamiento.

A nivel de la costa, de orientación noreste – suroeste, se desarrollan pequeñas bahías o “entrantes” geográficas con playas de arenas y gravas, coincidentes con la prolongación de los cañadones y puntas o “salientes” con playas de restingas, concordantes con la prolongación de las lomadas o cerros hacia el mar.

A la escala local, el Cerro Hermitte se encuentra flanqueado al norte por la falla c y al sur por la falla b. Feruglio, (1950) ya hizo referencia al paralelismo entre el recorrido de las fallas principales encontradas en superficie y las geoformas del terreno.

En el faldeo sur del Cerro Hermitte se desciende de la terraza estructural en su coronamiento hacia el fondo del valle relativamente plano, a través de un faldeo de elevada pendiente en la mitad superior que pasa transicionalmente a una inclinación moderada a baja en la mitad inferior.

El tramo de pendiente “baja” está ocupado por la urbanización correspondiente al barrio General Mosconi, donde los problemas de deterioros edilicios por

inestabilidad del terreno son acotados. Pero a medida que se avanzó progresivamente con la construcción sobre las pendientes “moderadas a bajas” ocupando incluso terrenos afectados por deslizamiento y reptaje de faldeo las evidencias históricas de inestabilidad se hicieron habituales, tanto en el faldeo norte del Cerro Viteau como en la ladera sur del Cerro Hermitte.

En esta última, el barrio Sismográfica y el sector oeste del barrio El Marquesado se han construido sobre los terrenos correspondientes al lóbulo del deslizamiento de mayor magnitud registrado en tiempos históricos dentro del ejido urbano, acontecido en 1969.

Por referencias de vecinos se tiene conocimiento que antes del año 1969 existía tan solo una estrecha franja expuesta del plano de deslizamiento, de un par de metros de rechazo, aproximadamente.

La evaluación geomorfológica se ha complementado con datos de subsuelo. Particularmente, la evolución del proceso en profundidad también se pudo constatar a partir de los datos de colapsos de cañerías de pozos petrolíferos existentes en el sector en proximidad al año 1945, en profundidades que iban desde los 30 a los 70 metros. (Hirtz et al. 1989).

Estos eventos de inestabilidad previos, condujeron a una deformación y acumulación de tensiones progresiva a nivel del subsuelo que derivó en el deslizamiento de 1969. Posteriormente, continuaron los procesos localizados de reptaje, asentamientos, erosión hídrica, la cual incluye sumideros por donde el agua se infiltra y circula a través de fracturas del terreno.

En base a antecedentes, topografía, fotointerpretación y relevamiento de campo se deduce que la reptación y los deslizamientos son procesos de inestabilidad que se mantuvieron activos desde tiempos geológicos en el faldeo sur del Cerro Hermitte. Evidencia de ello es el rasgo geomorfológico al noreste del deslizamiento estudiado, que indica un proceso similar, de mayor escala, mucho más antiguo, e inactivo ya que se preserva solo la cicatriz (Figura 4).

FIGURA 4.



2.4. ANÁLISIS DE LOS DESLIZAMIENTOS

En la topografía previa al deslizamiento de 1969, se aprecia una escarpa en forma de arco por encima del plano expuesto del deslizamiento; y por debajo de éste, una zona central, comparativamente más deprimida (en el sector del B°. Sismográfica). A su vez, hacia el sureste de dicha depresión se desarrolla un depósito compuesto predominantemente por arcilitas deslizadas, profundamente alteradas y desestructuradas, con evidencias internas de remoción en un estado plástico saturado y geometría externa lobulada con una finalización abrupta en dirección sureste, formando un frente de aproximadamente 5 metros de altura, próximo a la base del valle.

La asociación de ambos elementos morfológicos, depresión en forma de arco al noroeste y lóbulo de deslizamiento al sureste y los antecedentes a nivel de subsuelo permiten interpretar que se ha producido al menos un movimiento importante en dirección sureste con anterioridad al deslizamiento de 1969.

En base a la morfología y desestructuración del terreno se puede deducir el carácter bastante plástico que adoptó el material deslizado, fundamentalmente en proximidad a la base, ya que el lóbulo se desplazó a una distancia considerable fluyendo en dirección sureste (la misma en la que inclinan los estratos de la Formación Chenque), con una pendiente muy suave. Ello ha sido posible debido a que el tramo inferior del perfil litológico que se asienta sobre las tobas de la Formación Sarmiento, corresponde a arcilitas de la Formación Chenque, que con alta saturación de agua son muy plásticas, posibilitando este tipo de comportamiento.

La Formación Chenque presenta bancos de areniscas y coquinas en proximidad a su base, pertenecientes a escala regional al Acuífero Multiunitario Superior (Castrillo et al. 1984) que a nivel local se encuentran saturados (en base a datos de afloramientos en barrancos, acantilados y perforaciones geotécnicas en el subsuelo de la ciudad).

Las tobas subyacentes de la Formación Sarmiento, prácticamente impermeables, constituyen un límite para la circulación de las aguas subterráneas. Las arcilitas basales de la Formación Chenque sometidas a esfuerzos tangenciales en estado saturado desarrollan elevadas presiones porales que reducen sensiblemente el esfuerzo normal efectivo, y consecuentemente, la resistencia al corte sobre la zona de contacto formacional.

Se propicia de este modo, el desplazamiento lateral extensional en sentido de la pendiente de dicha zona de contacto que inclina suavemente hacia el sureste con 1.5 grados, siendo un factor altamente predisponente para los deslizamientos y el reptaje de laderas.

Existe una alta incidencia del agua sobre los deslizamientos ocurridos en el ejido urbano (Hirtz et al. 2000). Con respecto al deslizamiento del faldeo sur del Cerro Hermitte es una de las problemáticas no resueltas, con elevada incidencia en la peligrosidad.

Si bien el clima es semiárido, seco, existen períodos lluviosos, como el año 1998, con tormentas excepcionales como la del 21 y 22 de abril, con 122 mm de precipitación acumulada (Hirtz, et al. 2001), que

favorecen la infiltración y circulación subterránea, elevando la peligrosidad geológica con respecto al desarrollo de procesos de remoción en masa.

La baja insolación de la ladera sur del Cerro Hermitte, principalmente en invierno, la irregularidad topográfica del terreno deslizado, con depresiones que restringen el escurrimiento superficial y el intenso fracturamiento que habilita la infiltración profunda son los aspectos locales más destacados de la problemática del agua con respecto a la inestabilidad del faldeo.

La falla normal de alto ángulo, sintética, identificada como Falla b por Feruglio (1950) y estructuras asociadas proveyó la desvinculación entre el macizo y el terreno deslizado, el cual quedó desestructurado y sumamente debilitado en su resistencia de conjunto luego del derrumbe de 1969. En la Figura 3 se representaron las características del movimiento sobre el perfil este, próximo al Barrio El Marquesado.

2.5. VALORACIÓN DE LA PELIGROSIDAD GEOLÓGICA EN EL FALDEO SUR

En el párrafo final del estudio de estabilidad del Barrio Sismográfico (Figura 4), ubicado en la parte media del deslizamiento, (Hirtz, 1994) se expresa que: “La estrecha relación de los procesos de inestabilidad potenciales con el sector urbanizado hacen que sea considerado no apto para el asentamiento poblacional, considerándose que la toma de medidas tendientes a la eliminación del riesgo que pesa sobre la seguridad de los habitantes del sector, pasa por la reubicación gradual de los mismos en un asentamiento seguro, ya que eventuales medidas de estabilización resultarían inviables por su magnitud y costo.”

La Falla b continúa hacia la costa pasando inmediatamente al norte del barrio El Marquesado ubicado en el extremo oriental del deslizamiento, pero la menor pendiente del faldeo en torno a dicho barrio hizo que el plano de deslizamiento perdiera paulatinamente rechazo, a medida que descendió por la ladera hacia el este, transformándose en una grieta abierta sin desplazamiento vertical, (Figura 5).

Las construcciones se desarrollaron en el sector noroeste sobre terreno deslizado, parcialmente desmontado. Los sectores norte, central y este quedaron fuera del lóbulo, pero afectados estructural y tensionalmente por el deslizamiento ya que se ha interpretado que las viviendas de estos sectores (a excepción de la vivienda 1) continúan afectadas por el fracturamiento y el empuje desde el oeste - noreste, como lo demuestran las evidencias de reptaje y hundimiento de suelos basadas en roturas y deformaciones de viviendas y obras complementarias.

En base al contexto geológico- geomecánico en el que se encuentra inscripto el barrio El Marquesado, al grado de afectación y deterioro de las obras por los procesos descritos, y a la perspectiva de evolución futura, se le asigna una categoría de **peligrosidad geológica elevada**.

La modalidad de los movimientos permitió establecer que el proceso dominante es la reptación de faldeo, estimulada e incrementada por la incorporación de factores locales entre los que se destacan las pérdidas de agua a nivel subsuperficial.

FIGURA 5.



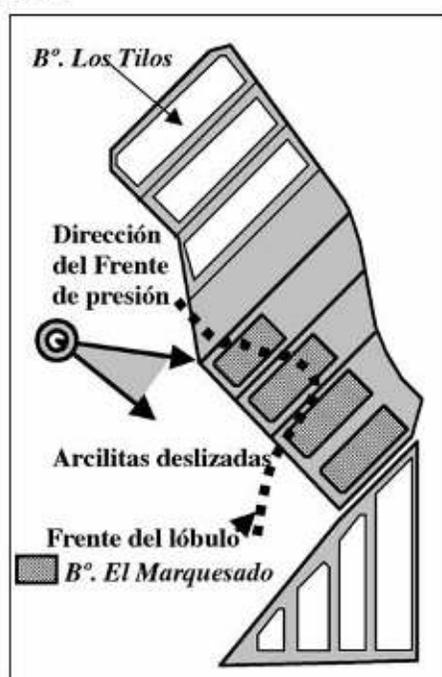
3. CARACTERIZACION DE LOS SUELOS.

Las dos **unidades de suelo** sobre las que se asienta el barrio, son:

3.1 Arcilitas desestructuradas por deslizamiento:

Ocupan 1/3 aproximadamente del sector noreste del barrio el Marquesado. Pertenecen al tramo distal de la lengua del deslizamiento, con un frente escarpado de forma lobulada, (Figura 6).

FIGURA 6.



Es un material de alta peligrosidad en estado saturado debido a la sensibilidad, plasticidad y variación volumétrica de las arcillas montmorilloníticas, caracterizadas mediante análisis físicos y de difracción de Rayos X, (Hirtz et al. 2000a), susceptibles de sufrir reptaciones y deslizamientos. En la actualidad, como producto del reamasado del suelo en el movimiento, se presentan densas y con cierto grado de cohesión por el bajo contenido de humedad, pero con fragmentación en grandes bloques. Fueron categorizadas como **Malas** en la valoración geomecánica (Hirtz et al. 2000b).

En una perforación geotécnica sobre estos depósitos (con NSPT: 25 golpes) se localizó el pase a las arcilitas in situ de la Formación Chenque a 7 metros de profundidad (con NSPT > 40 golpes).

3.2. Arenas limo arcillosas:

Sobre este depósito se asientan los 2/3 restantes del barrio, (sectores norte, central y este): Son predominantemente suelos **SM** (Clasificación Unificada de Suelos), compuestos de arenas finas de tamaño uniforme, de estructura abierta, poco consolidadas, con un importante porcentaje de finos, donde predominan los limos de baja compresibilidad (ML).

El origen del depósito es mixto, pero con neto predominio eólico, en base a su tamaño de partícula, homogeneidad granulométrica y localización, con escaso material aluvial y coluvial restringido a delgados niveles enriquecidos por fragmentos pequeños y dispersos de conchillas.

Desde el punto de vista geomecánico, su aptitud es **Regular** a los fines urbanísticos, (Hirtz et al. 2000b), debido a la disminución de su estabilidad y resistencia en presencia de agua y la predisposición a sufrir procesos de hidroconsolidación, reptaje lento en faldeos y erosión por canalización con arrastre y lixiviación de suelo a través de fracturas.

Una perforación geotécnica al noreste del barrio, arrojó valores de NSPT entre 12 y 18 golpes hasta los 10 metros de profundidad, sin alcanzarse las arcilitas de la Formación Chenque.

En la perforación geotécnica ubicada al este del barrio, se obtuvo un resultado similar en los primeros 4 metros, aumentando a NSPT > 50 golpes a partir de allí, indicando el pase a las arcilitas sobreconsolidadas in situ de la Formación Chenque.

Se desarrollaron además dos perforaciones en el interior del barrio y una calicata. En esta última se tomaron muestras en bloques, para ensayos de laboratorio y se caracterizó en subsuelo una fractura, de 5 cm. de apertura, que representa el límite oeste de la influencia del deslizamiento.

No se detectó nivel freático en las perforaciones y las humedades naturales oscilaron entre el 10 y 15%, a excepción de las arcilitas con 22% de humedad y LL del orden de 40% e IP de 23 %.

Los resultados obtenidos sobre las arenas eólico-aluviales fueron los siguientes (Hirtz 2003):

Granulometría: Arena media: 2.0 %, Arena fina: 55.0 %, Limo + arcilla: 43.0 %

Densidad Húmeda: 1.837 g./cm³, Densidad Seca: 1.656 g./cm³, Humedad: 11.92 %

Peso Específico promedio: $Pe = 2.54 \text{ g./cm}^3$.

Límite Líquido: 32.5 (%), Límite Plástico: 26.0 (%), Índice de Plasticidad: 6.5 (%)

Grupo **SM: arena fina limosa**, muy uniforme con alta proporción de finos (entre 40.6 y 43.9 %). Los finos corresponden al grupo **ML**: limos y arenas muy finas de baja compresibilidad. Ensayo de Consolidación unidimensional: consolidación baja: 2.0 a 4.0 %.

Resistencia a la Compresión Simple: 5.20 Kg. / cm². Deformación en la Rotura: 1.45 %.

Los resultados corroboran que para un suelo homogéneo, sin discontinuidades y en condiciones drenadas (con baja humedad) la resistencia del terreno es adecuada para soportar las viviendas, de ello se desprende que las deformaciones del terreno se deben a su debilitamiento y deformación por los procesos descritos a escala regional y local. Por tal motivo, el análisis y diagnóstico se debe concentrar en los procesos generadores de dicha inestabilidad.

4. MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN EL BARRIO EL MARQUESADO.

4.1. FACTORES GENERADORES DE LA INESTABILIDAD A ESCALA LOCAL

De la evaluación "in situ" de los deterioros y movimientos dentro del barrio, se desprende claramente que el sector más afectado corresponde al suelo arenoso de origen eólico en lugar de las arcillas deslizadas, contrariamente a lo que podría suponerse "a priori".

Ello se explica, en parte, por los Factores locales de inestabilización que se adicionaron a los de nivel regional ya descriptos, como resultado de la acción antrópica, y que pueden resumirse, en orden cronológico (aunque no de importancia), de la siguiente manera:

4.1.1 Transformación de la pendiente: La pendiente moderada y homogénea hacia el sudeste se modificó mediante la realización de bermas donde se construyeron las plateas de las viviendas y las calles. El talud desarrollado en cada fila de viviendas, entre los patios traseros y las calles superó la altura de 1,5 m. Se conoce por el presente y otros estudios sobre depósitos similares (Hirtz et al. 2002, 2003) que los desniveles abruptos superiores a 1 m. propician el reptaje de este tipo de suelos, aún en pendientes moderadas a bajas.

4.1.2. Los muros portantes, cercos medianeros y el relleno de los patios traseros: Los patios traseros se rellenaron con suelo hasta el nivel de la calle posterior a cada fila, trasladando el desnivel de 1.5 m. a tan solo 3 metros de distancia del fondo de las viviendas y reteniéndolo con muros portantes. A las presiones del relleno se le sumaron las tensiones de reptaje a nivel de la fundación y la mayoría de los muros se agrietaron y desplazaron hacia las viviendas. En los cercos de la Fila 1, se midieron desplazamientos de 4 cm. en dirección de la pendiente (sureste) y 3.5 cm. hacia el noreste.

En algunas viviendas los muros portantes transmitieron la presión de desplazamiento que recibieron del terreno a las plateas, a través de los cercos medianeros del patio inferior, favoreciendo el basculamiento de las mismas. En otras las plateas se separaron de los cercos medianeros por grietas de 5 cm., como en las viviendas 8 y 9 (Figura 9).

4.1.3. Tipo de fundación de las viviendas: Se construyeron sobre plateas de hormigón de aproximadamente 20 cm. de espesor, con una viga de refuerzo en los muros laterales y central de igual espesor. El interior las viviendas sufrió deterioros mucho menores (grietas < a 1cm. en general) con relación a los importantes desplazamientos de las plateas (5 cm.), ya que estas reptaron y bascularon adaptándose a los movimientos del terreno, como una unidad poco deformable, lo cual constituyó un hecho favorable.

Como desventaja, se constató que, por el carácter somero de las fundaciones, se vieron más afectadas por alteraciones del terreno cercanas a la superficie, como es el caso de los asentamientos por pérdidas de agua de red.

4.1.4. Incorporación de agua al subsuelo: Este aspecto resulta determinante por el debilitamiento, deformación (con predominio de asentamiento por hidroconsolidación), reptaje y erosión que pueden sufrir los suelos al saturarse. Las causas principales de aporte de agua fueron: riego excesivo (puntual y poco importante), incorporación de efluentes por rotura de red domiciliaria (un caso), fallas de hermeticidad en la red de desagües pluviales domiciliarios (46 % de las viviendas), y roturas de redes de suministro de agua potable, domiciliaria o general (dos casos, pero con muy alta incidencia sobre los hundimientos del sector este). Esta última causa fue la más perjudicial y correspondió a una rotura en la cañería de la red principal y una domiciliaria en la vivienda 13, originadas por desplazamientos del terreno. En la Figura 7 se aprecia la estrecha relación entre las pérdidas y los movimientos, particularmente con los hundimientos en el suelo saturado.

FIGURA 7.

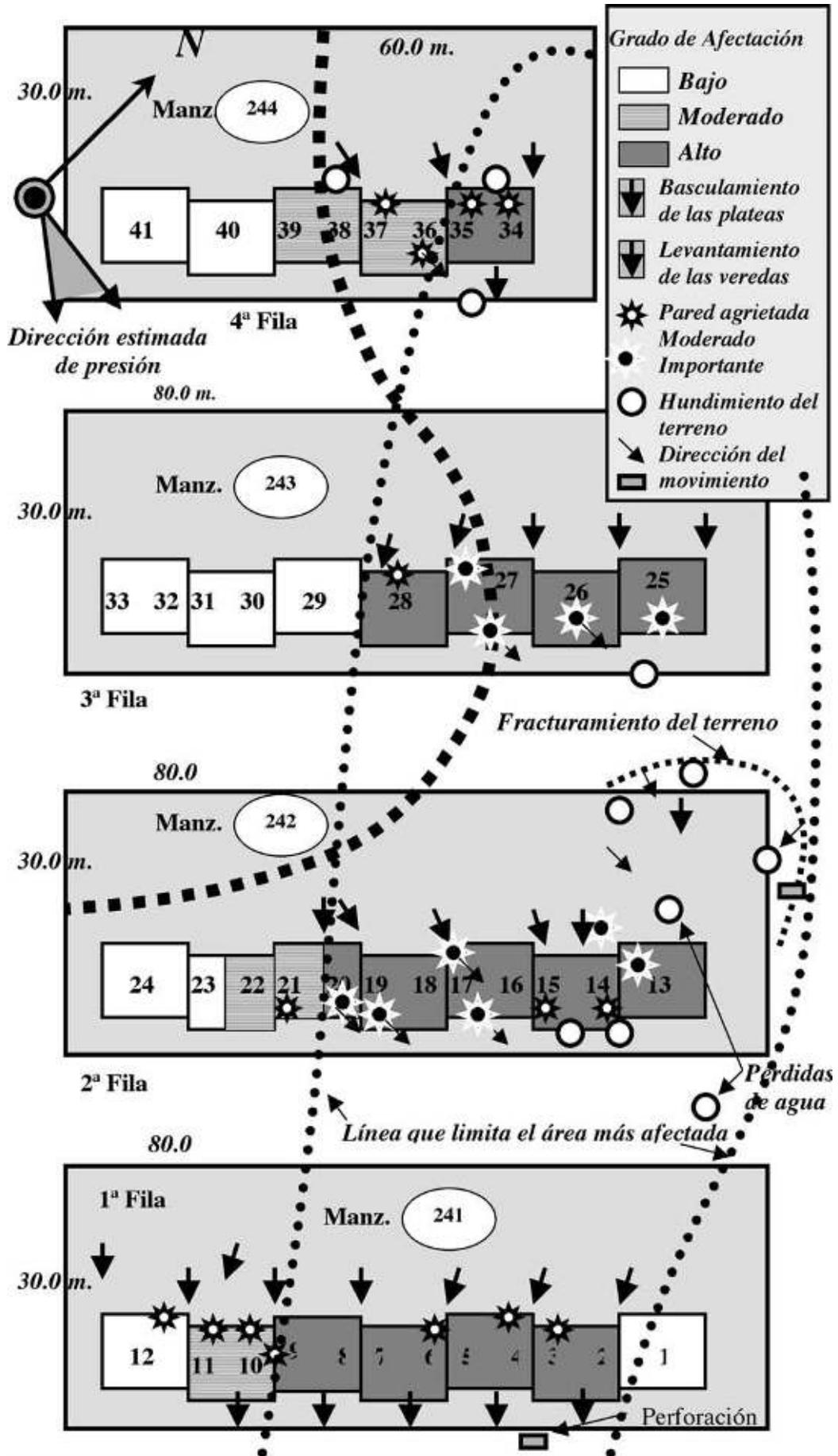
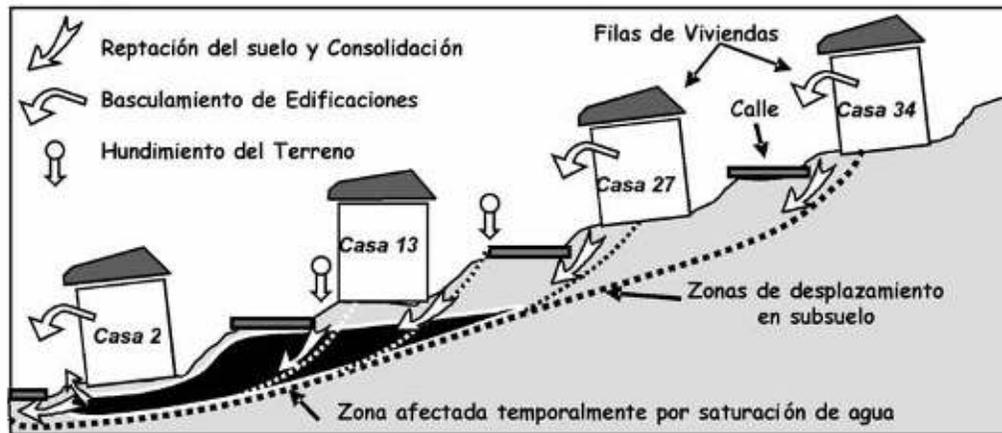


FIGURA 8. ESQUEMA CONCEPTUAL DE LOS MOVIMIENTOS EN EL SECTOR ESTE DEL BARRIO EL MARQUESADO.



En la Figura 8, se ilustra un esquema conceptual del efecto del reptaje potenciado con los hundimientos por las pérdidas en el sector este del barrio, originando severos deterioros.

4.2. ANÁLISIS DE LOS DETERIOROS Y MOVIMIENTOS RELEVADOS

La identificación de las evidencias de inestabilidad en el barrio El Marquesado y su localización, caracterización e interpretación constituyó una tarea de gran importancia para definir la extensión areal e intensidad de los deterioros y movimientos, su evolución en el tiempo, las causas que los originaron, y en base a ello, desarrollar conclusiones y recomendaciones, al respecto.

El relevamiento se efectuó en viviendas, obras complementarias y suelo, conjuntamente con una encuesta específica a los vecinos.

La encuesta permitió obtener la dimensión temporal de los procesos, que puede sintetizarse del siguiente modo: los deterioros comenzaron a visualizarse luego de la ocupación de las viviendas, en 1999. A partir del 2001 se apreció un agravamiento de los mismos y a partir del 2002 los deterioros se produjeron a un ritmo más acelerado que en el pasado.

El inicio de los movimientos fue previo a las pérdidas de agua, de modo que los movimientos iniciales causaron las roturas de cañerías de agua, cuyas pérdidas provocaron la aceleración y profundización de los mismos, principalmente mediante hundimientos localizados.

Como se expresara, el sector más afectado corresponde al suelo eólico, mientras que las construcciones sobre las arcillas deslizadas permanecieron más estables. La interpretación del comportamiento diferencial radica en las distintas propiedades intrínsecas y factores antrópicos locales que los afectaron, los cuales se resumen de la siguiente forma:

A diferencia de los suelos eólicos, las arcillas deslizadas se consolidaron con el reamasado en estado saturado y actualmente en estado seco son densas y cohesivas. Debido a ello el desplazamiento oeste-este, de al menos 5 cm., lo han hecho en conjunto, mientras que el suelo arenoso asimiló la presión lateral del lóbulo mediante deformaciones internas con fraccionamiento.

Asimismo, a las arcillas se les quitó peso por desmonte al encontrarse sobre elevadas en el extremo noroeste, en lugar de sobrecargarlas con rellenos y someterlas al reptaje con escalonamiento. Las arcillas no tuvieron

incorporación de agua de origen antrópico, a diferencia de las arenas sometidas a hidroconsolidación y reptaje por las fugas debidas a roturas líneas y otros factores ya enunciados.

4.3. LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS DETERIOROS:

El terreno ha sufrido movimientos que repercutieron sobre las viviendas y obras de infraestructura accesorias: veredas, muros, cercos, pilares de luz, cordones cunetas, carpetas asfálticas, afectando puntualmente su integridad estructural. Involucran a casi todas las viviendas del barrio pero con intensidad muy variable.

Los sectores central y este del barrio El Marquesado han sido más afectados, mientras que el noroeste se vio menos deteriorado por los movimientos del terreno. En la Figura 7, se ha discriminado a las viviendas en base al grado en que han sido afectadas por los movimientos y aspectos vinculados, como ser basculamientos, desplazamientos, levantamientos, agrietamientos o hundimientos. Se establecieron tres rangos de afectación: bajo, moderado y alto. Se pudo establecer claramente una línea que delimita la zona más afectada.

El resultado del relevamiento se agrupó de la siguiente manera:

- Movimientos en el exterior de las viviendas por basculamiento
- Agrietamiento de las paredes externas de las viviendas
- Movimientos y deterioros en el interior de las viviendas
- Movimientos y roturas sobre veredas, pilares de luz y cercos
- Movimientos y roturas sobre asfalto, cordón cuneta y suelo

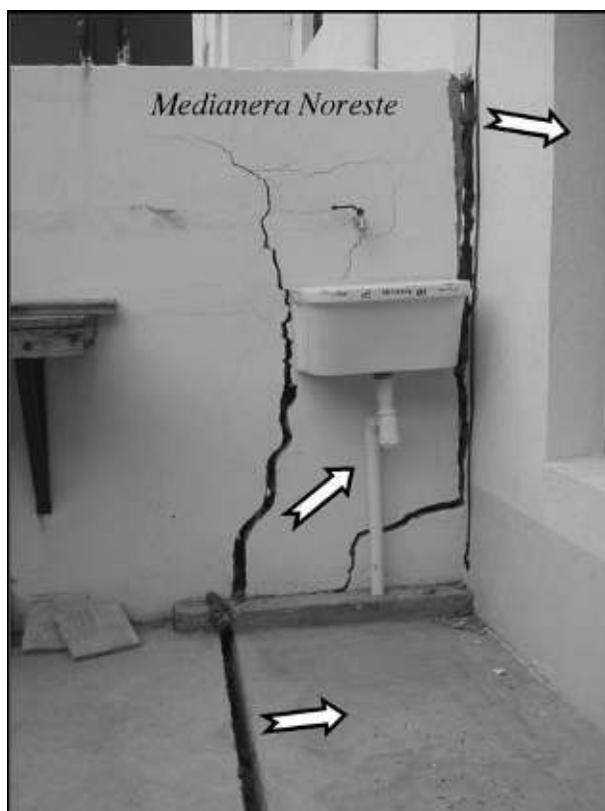
Se presenta una síntesis de dicho relevamiento por razones de espacio.

a) Movimientos en el exterior de las viviendas por basculamiento:

Es el proceso más generalizado, notorio y perjudicial para la estabilidad actual y futura de las edificaciones. Se aprecia en la inclinación de las viviendas a favor de la pendiente con respecto a los cercos traseros, afectando el sector central y noreste.

Las viviendas de la Fila 1 (a excepción de la primera y la última), han sido muy afectadas, (Figura 7). La vivienda 2, se desplazó 10 cm. hacia adelante y 5 cm. al suroeste.

FIGURA 9.



En la Fila 2, la casa 13 fue la más afectada por basculamiento (aperturas de 5 cm.) al que se le adiciona el hundimiento, vinculado al efecto de saturación del subsuelo por roturas de cañerías. El basculamiento en las casas 14, 15, 16 y 17 varían entre 3 y 4 cm. decreciendo progresivamente hacia el suroeste en esta fila.

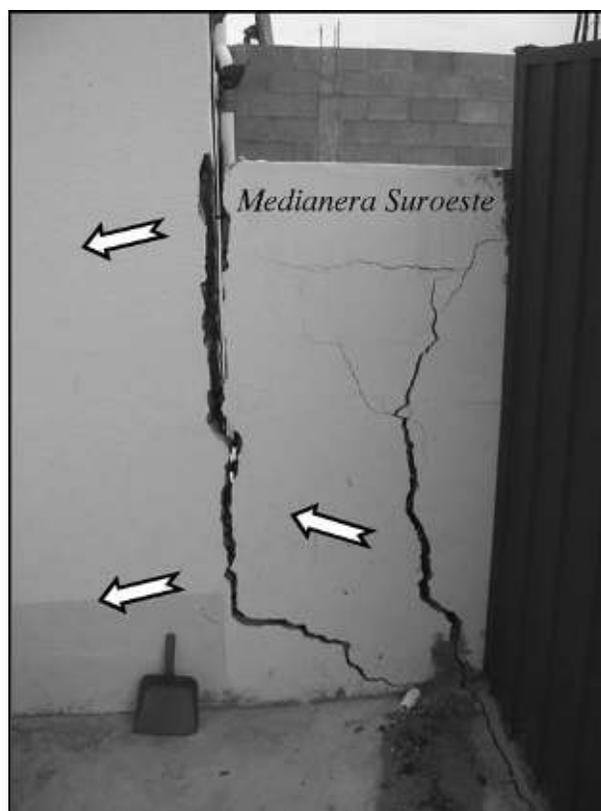
En la Fila 3, es mayor en las casas 25, 26 y 27 con aperturas de 5 cm. En la Fila 4, la vivienda 34, en el extremo noreste se vio muy afectada, con 5 cm. y un descenso de la platea de 3 cm. y apertura pendiente debajo de 1 cm. en un año. En las casas 35, 36 y 37 el basculamiento es de 3 cm.

El deterioro decrece en todas las filas hacia el suroeste.

Agrietamientos sobre las paredes externas de las viviendas son: En la Figura 7 se indican las viviendas con agrietamientos importantes, siendo las más afectadas la 13, 14, 17, 19 y 27, y en menor medida la 20, 25, 26 y 28, mostrando la franja central, un patrón de fracturamiento a 45° que evidencia un empuje desde el oeste, provocado por la presión del lóbulo deslizado y un hundimiento en dirección este, que dañó severamente a las viviendas 13 y 14.

Movimientos y deterioros en el interior de las viviendas: Prácticamente todas las viviendas presentan un cierto grado de fisuración. Las que resultaron poco afectadas, tienen pequeñas fisuras cortas y delgadas en uno o dos sitios. Las casas más deterioradas, muestran grietas importantes (de hasta 1 cm. de apertura) a 45° con desplazamiento descendente al este, localizadas en varios

En las viviendas 8 y 9 se constató un desplazamiento de 5 cm. en dirección sureste, a favor de la pendiente y 3.5 cm. en sentido este, en un corto lapso de tiempo (Figura 9).



ambientes. En base al grado de afectación se establecieron tres rangos: bajo, moderado y alto, como se aprecia en la Figura 7.

Los resultados obtenidos, concordantemente con los anteriores, indican un movimiento preferencial oeste-este, en la dirección de presión y una mayor afectación en la franja central y este (a excepción de la casa 1, ubicada fuera del área afectada). La mayor intensidad de deterioros sufridos en el interior de las viviendas 13, 14 y 15 evidencia la incidencia de las pérdidas de agua en los movimientos locales. Las ampliaciones desarrolladas fuera de las plateas sufrieron grandes deterioros en un corto tiempo. En la casa 13 debió demolerse por irrecuperable y en la 14 se hundió y desplazó 7 cm. hacia la vivienda 13.

Movimientos y roturas sobre veredas y pilares de luz y cerco: Se relevaron roturas por compresión y levantamiento de veredas y escalones de cemento del acceso a las viviendas de la Fila 1, (Figura 7) por desplazamiento de las viviendas en dirección de la pendiente generando una deformación y acortamiento relativo por compresión, entre 5 a 10 cm. en la horizontal y un levantamiento de hasta 15 cm. en la vertical.

La inclinación de los pilares de luz hacia las viviendas, principalmente en el sector noreste de la Fila 1 (Figura 10), se debió al empuje sobre el extremo enterrado del pilar, arrastrado por la reptación del suelo en sentido de la pendiente. Las flechas indican la dirección del desplazamiento.

FIGURA 10.

Se relevaron importantes roturas por hundimiento en la vereda perimetral de las viviendas 13 y 14, en el cerco sureste de la 13 con un descenso de 20 cm. (provocando la rotura de las cañerías de agua y gas) y patio posterior de la 14, de hasta 15 cm. La concentración de hundimientos se halla vinculada al fracturamiento del terreno (Figura 7) de carácter regional, a partir del plano de deslizamiento y a las pérdidas de agua asociadas.

Movimientos sobre asfalto, cordón cuneta y suelo

Frente a la Fila 1, a principio del 2003, se desarrolló sobre el asfalto una grieta de tracción de 1 cm. de apertura, al suroeste de la vivienda 1 (no afectada por movimientos). Asimismo, en el tramo noreste de la calle superior, que limita con el barrio Los Tilos, se produjo la apertura en dirección de la pendiente de una grieta de tracción, con una abertura máxima de 1 cm.

Son evidencias del movimiento propio del terreno por expansión lateral en sentido de la pendiente (reptaje), independientes de la saturación en subsuelo y de la influencia de las viviendas.

5. CONCLUSIONES.

La peligrosidad geológica del faldeo sur del Cerro Hermitte es elevada, con predominio de los deslizamientos y reptación de ladera. Los deslizamientos han sido procesos muy activos en el modelado del faldeo estudiado, en particular, el acontecido en 1969, que fue el principal evento histórico en el ejido urbano de la ciudad de Comodoro Rivadavia.

El tercio noroeste del barrio El Marquesado se construyó sobre el terreno deslizado. Los dos tercios restantes en arenas finas de origen predominantemente eólico, afectadas por fracturamiento y presión de

desplazamiento por parte del lóbulo deslizado y reptaje. En virtud de los antecedentes y procesos actuantes se le asignó una categoría de *elevada peligrosidad geológica*. Al contexto regional se le adicionan los factores antrópicos inestabilizantes a nivel local que actúan sobre las arenas limo arcillosas de las franjas central y noreste del barrio, generando reptaje generalizado y hundimientos localizados.

Se llevó a cabo un relevamiento detallado de deterioros y movimientos en las construcciones y suelo, complementado con una encuesta a los ocupantes de las viviendas. Se establecieron las causas de los procesos actuantes y los efectos producidos, identificándose como el más notorio y perjudicial al basculamiento de las viviendas.

Los movimientos y roturas registrados, permitieron interpretar, en concordancia con la valoración a nivel regional, que son el resultado combinado de los esfuerzos de empuje regional con dirección oeste-este a noroeste-sureste, generados por la presión del lóbulo deslizado, con el estímulo adicionado por acción antrópica mediante la generación de bermas sobre la pendiente, adición de peso por relleno y pérdidas de agua que se manifestaron como hundimientos del terreno y obras, particularmente en el sector este.

Desde su construcción en 1995 no hubo movimientos hasta 1999, una vez habitadas las viviendas, pero a partir del 2001 por efecto combinado de reptaje y hundimientos debidos a las fugas de agua, los procesos se generalizaron y aceleraron en la franja central y noreste (a excepción de la vivienda 1), manteniendo su vigencia.

6. RECOMENDACIONES.

Los movimientos desarrollados dependen de factores naturales (tales como la infiltración de aguas de lluvia o la acumulación de presiones a nivel regional) de difícil control y modificación por intervención humana, y de factores antrópicos locales (tales como la incorporación de agua) que deben ser estrictamente evitados.

A tal fin se elaboró una propuesta de Plan de Gestión para la Estabilización, que contempla acciones inmediatas o de corto plazo, instalación y control de un sistema de monitoreo, desarrollo de un estudio de estabilización y de un plan de manejo de contingencias y alerta temprana (Hirtz 2003). A continuación se presenta una síntesis del mismo.

6.1. SÍNTESIS DEL PLAN DE GESTIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL BARRIO EL MARQUESADO

a. Acciones y obras de desarrollo inmediato o a corto plazo

En relación al ingreso de agua externa:

- Captación y canalización con una cuneta perimetral revestida, del agua de lluvia que ingresa por el extremo noroeste, desde el Barrio Los Tilos.
- Control de ausencia de ingreso agua subterránea desde el noroeste y el oeste, mediante el monitoreo de sendos freáticos.

En relación al manejo del agua en el interior del barrio:

- Aislamiento perimetral de las viviendas con veredas y

carpetas en patios traseros. Sellado de las vías de ingreso de agua al suelo por pérdida de aislación en dichas obras.

- Evaluación de la hermeticidad de los sistemas de desagües y servicios de agua y gas.

- Mejoramiento del sistema de drenaje superficial de agua de lluvia a nivel domiciliario y eliminación de excesos de riego y pérdidas en superficie.

b. Sistema de Monitoreo

Instalación de los elementos de control de movimientos relativos en viviendas y obras complementarias, particularmente, placas de vidrio en los bordes de las fracturas entre los cercos y las viviendas, donde se registraron los movimientos más críticos.

- Registro periódico y sistemático de los restantes indicadores de inestabilidad, como ser los hundimientos, deformaciones, inclinaciones, etc.

- Instalación de puntos fijos superficiales para el control de movimientos relativos mediante estación total y la medición de movimientos absolutos mediante GPS geodésico.

- Confección de al menos cuatro perforaciones con toma de muestras de suelo para ensayos y posterior acondicionamiento con caños de PVC para control de deformaciones, roturas y datos freaticométricos. Las profundidades deben ser tales, que alcancen el sustrato competente no afectado por reptaje, (en general no menor a 15 m.). La colocación de inclinómetros, se condiciona a los resultados del monitoreo, por razones de costo.

- Desarrollo de un Plan de Monitoreo en base al registro periódico (como máximo mensualmente) de los puntos de control relevados.

- Interpretación de los resultados del Plan de Monitoreo en relación a la evolución temporal y espacial de los procesos.

c. Estudio de Estabilización

Con los resultados obtenidos hasta el presente más los aportados por el Plan de Monitoreo, se deben desarrollar, de mantenerse el diagnóstico y la evolución temporal de los procesos:

- Un Estudio de Estabilización, con el desarrollo de obras para controlar, atenuar o minimizar los riesgos futuros de reptación y deslizamiento del sector de faldeo correspondiente al barrio El Marquesado.

- Un Anteproyecto con la definición del tipo y características, dimensiones y ubicación de las obras. Hasta el presente, se le asigna una importancia central a

la estabilización de las filas de viviendas mediante la construcción de elementos de sostenimiento fundados en el sustrato no deformado

d. Plan de manejo de contingencias y alerta temprana

En virtud del diagnóstico sobre la peligrosidad geológica elevada, resulta adecuado que los vecinos del barrio, alcancen un alto grado de conocimiento y concientización en relación a las condiciones de seguridad de las construcciones y de los servicios, principalmente de agua y gas.

Se han documentado dos pérdidas importantes de agua con las graves consecuencias sobre las construcciones, ya descritas y pérdidas en las líneas de gas por rotura de cañerías al ingreso a las viviendas en cinco oportunidades.

El Plan de manejo debe cumplir con la prevención y alerta temprana de pérdidas, mediante un estricto control de dichos servicios, desarrollando tendidos aéreos en el exterior de las viviendas y controlando periódicamente la hermeticidad de las redes de desagües pluviales y cloacales.

El plan de contingencias debe permitir identificar todos los factores de riesgo y actuar rápidamente frente a un hecho accidental, como la rotura de una cañería del servicio de agua o de gas, articulando las acciones, según el caso con los organismos prestadores del servicio, bomberos, defensa civil, etc.

Al margen de los controles formales por parte de los especialistas, los vecinos participarán en la identificación y seguimiento de movimientos y deterioros, particularmente en el interior de sus viviendas.

El riesgo de un pulso de reactivación importante del terreno deslizado y su efecto sobre la zona de influencia permanecerá vigente. Se deberán monitorear las variables ambientales (climáticas, con énfasis en las precipitaciones) y movimientos para seguir su comportamiento. Si la evolución de los procesos en el interior del barrio continúan con la modalidad y ritmo observados hasta el presente, el nivel de peligrosidad se encontraría principalmente vinculado a los costos económicos y trastornos de mantenimiento, reparación y pérdida de valor de mercado de las construcciones y no al riesgo de vidas.

Estos importantes perjuicios y riesgos pueden resolverse o al menos reducirse según el caso, aplicando el conjunto de recomendaciones enunciadas en el plan de gestión para la estabilización del barrio El Marquesado.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

BELLOSI, E. S., 1990. Formación Chenque, registro de la Transgresión Patagoniana en la Cuenca del Golfo San Jorge. XI Congreso Geológico Argentino. Actas 3, 57-70.

CASTRILLO, E., A. AMOROSO, M. GRIZINIK, 1984. Contribución al conocimiento geohidrológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut. IX Congreso Geológico Argentino, VI: 393-406. Buenos Aires.

FERUGLIO, E., 1950. Descripción Geológica de la Patagonia. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Volumen III.

FOSSA MANZINI, E., 1935. Las fallas de Comodoro Rivadavia en los estratos petrolíferos y en los afloramientos. BIP XII 136: 65-95.

HIRTZ, N., H. PREZ, J.C. RODRIGUEZ, 1989. Estudio de Estabilidad en el Sector del Barrio Sismográfico de Comodoro Rivadavia. Convenio Cátedra de Geología Aplicada de la UNPSJB con el Municipio de Comodoro Rivadavia. Inédito.

HIRTZ, N., H. PREZ, J.C. RODRIGUEZ, 1994. Estudio de estabilidad en el sector del Barrio Sismográfico de Comodoro Rivadavia. Actas de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería. Vol. VIII: 46-58.

HIRTZ, N., A. BLACHAKIS., 2000. Deslizamientos en una franja costera de la ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N°. 15. 41- 55. Buenos Aires ASAGAI.

HIRTZ, N., H. PREZ, M. GRIZINIK, A. TEJEDO, A. BLACHAKIS, M. STRONATTI, S. CAVALLARO. 2000a. Carta Geoambiental de la Ciudad de Comodoro Rivadavia. Proyecto de Investigación (PI 170 FCN) aprobado por la Sec. de Ciencia y Técnica UNPSJB.

HIRTZ, N., H. PREZ, M. GRIZINIK., A. TEJEDO, A. BLACHAKIS, M. STRONATTI, S. CAVALLARO. 2000b. Uso de Mapas Temáticos en la Confección de la Carta Geoambiental de Comodoro Rivadavia, Chubut. Argentina. Rev. de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N°. 14. 56-75. Buenos Aires ASAGAI.

HIRTZ, N., A. BLACHAKIS., 2001. Caracterización hidrogeomorfológica y análisis de crecidas de la cuenca del cañadón de La Quinta, Comodoro Rivadavia, Chubut. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N°. 16. 79-90. Buenos Aires ASAGAI.

HIRTZ, N. A. BLACHAKIS. 2002. Estudio de Riesgo Geológico en las Laderas Este y Sur del Cerro Viteau. Convenio Municipalidad de Comodoro Rivadavia – U.N.P.S.J.B. Informe inédito.

HIRTZ, N. 2003. Estudio geológico sobre las evidencias de inestabilidad en el barrio El Marquesado. Convenio Cooperativa El Marquesado- U.N.P.S.J.B. Informe inédito.



EVALUACION DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, BUENOS AIRES, ARGENTINA

A. Silva Busso⁽²⁾, H. F. Vives⁽¹⁾, K. Petelín⁽¹⁾, L. O. Ramírez⁽¹⁾, A. M. Vives⁽¹⁾

Resumen

Este estudio propone una metodología de evaluación de la contaminación con plomo en asentamientos de viviendas precarias de un área urbana en el Conurbano Bonaerense. Se considera aquí como una zona piloto el caso particular de la detección de elevados valores de concentración de plomo en el “suelo” sobre áreas urbanas de la localidad de “Villa Inflamable”, Pdo. de Avellaneda, Prov. de Buenos Aires, Argentina. La motivación de este estudio se debe a que existe evidencia de casos de niños con tenores de plomo en sangre superiores a las normales. Se han determinado las concentraciones reales de plomo en los niveles superficiales del suelo en muestras obtenidas a 0,25 m de profundidad. Se han determinado valores del índice de contaminación (PI) medios a altos según la metodología propuesta por Tong-Bin Chen et.al, (2005). Los cambios locales en los índices podrían atribuirse a la diferente competencia del material frente a los agentes erosivos lo que facilitarían la movilización de la carga contaminante.

Palabras clave: Dock Sud, Plomo, Indice de Contaminación, Suelos.

Abstract

This analysis proposes a pollution evaluation methodology with lead (Pb) associated to non-selected materials used to fill lowland areas surrounding the city of Buenos Aires to set up residential sites. High lead concentrations have been detected in the soil of urban areas around “Villa Inflamable”, a small town in Avellaneda County, Province of Buenos Aires. This area has been taken as a pilot case for this research since there is evidence of high lead concentrations in blood in the children residing here. Current maximum lead concentrations have been detected in samples taken both

from the surface and at 0.25 m depth of the land-fill. We determine the pollution index rate (PI) to be in the medium –high interval following the Tong-Bin Chen et.al, (2005) methodology. The local change of the pollution index could be attributed to the differences in material resistance, which facilitates the pollutant transport.

Keywords: Dock Sud, Lead, Pollution Index, Soils.

1. INTRODUCCIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

La movilización por la actividad humana, de los metales pesados en la biosfera se ha convertido en un proceso muy preocupante en el ciclo geoquímico de estos metales. Esto es evidente en áreas urbanas donde varias fuentes móviles y estacionarias descargan importantes cantidades de metales pesados a la atmósfera, aguas y suelo.

El área de estudio se circunscribe a una zona de relleno no seleccionado en “Villa Inflamable”, situada en el

Entregado: 31 de Julio de 2005 • Aceptado: 26 de Agosto de 2005

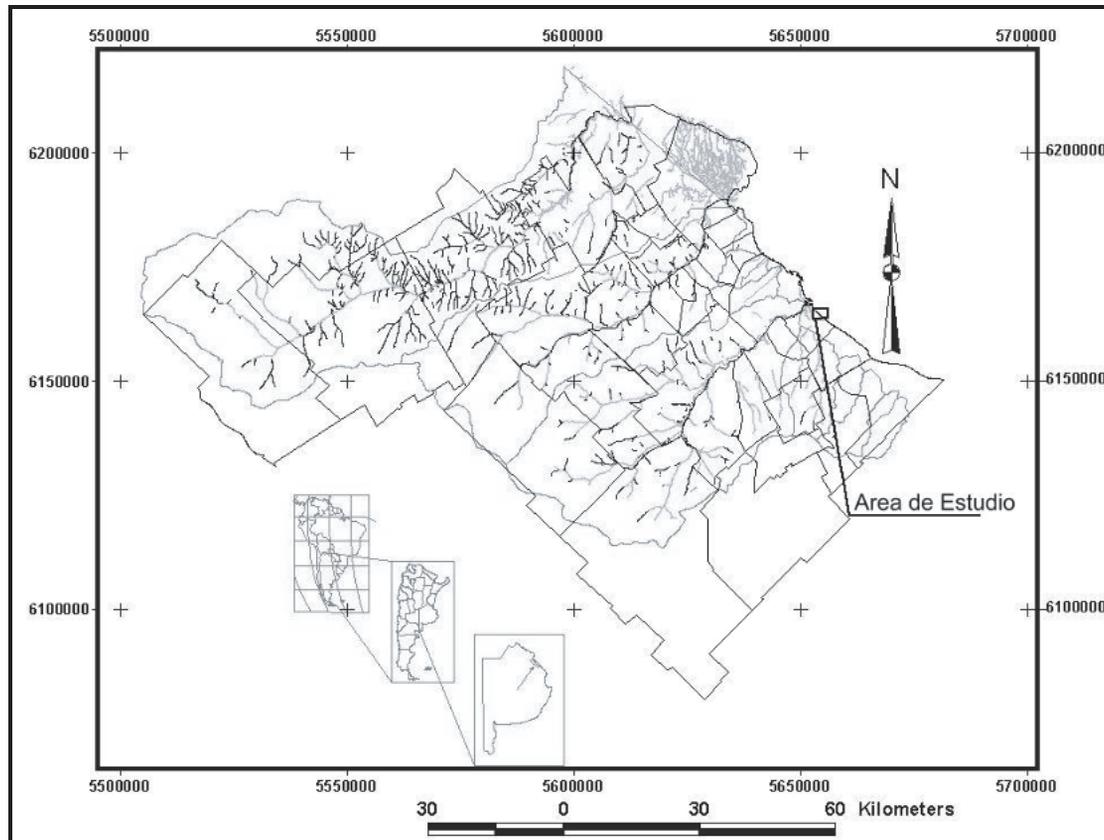
⁽¹⁾ Laboratorio Electroquímica y Medio Ambiente, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Avellaneda, UTN-FRA, Argentina. Av. Mitre 750 (1870) Avellaneda Argentina. E-mail: fvives@fra.utn.edu.ar

⁽²⁾ Instituto Nacional del Agua, Autopista Ezeiza-Cañuelas, Empalme J. Newbery Km 1,620 Ezeiza, Bs. As., Argentina. pntsas@ina.gov.ar

Municipio de Avellaneda, Provincia de Buenos Aires a 4 Km del centro histórico de la ciudad de Buenos Aires (ver figura 1). El Partido de Avellaneda cuenta con una población de 348.101 personas (INDEC 2001) y su ubicación geográfica al sur de la Capital Federal, bordes costeros sobre el Riachuelo y el Río de La Plata, determinan sus características urbanísticas.

El área de estudio esta en la zona inferior de la cuenca hidrográficas del Río Matanza-Riachuelo, cercano al canal de combustibles. El relleno se ubica probablemente sobre esta área ocupa y una superficie de más de 10.000 km², cubriendo una de las regiones urbanas más extensas del mundo que comprende la Ciudad de Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense (ver Figura 1).

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.



Fisiográficamente la región se encuentra en la denominada Pampa Ondulada que abarca las cuencas hídricas que desembocan en el curso inferior del río Paraná y en el estuario del Plata con valores de precipitación media anual ligeramente superiores a los 1000 mm anuales y excesos hídricos cercanos a los 200 mm anuales (Santa Cruz, 1995). Un rápido análisis de la distribución de los vientos de la región realizada sobre la base de los datos del Servicio Meteorológico Nacional (serie 1960-2003) muestra que los vientos dominantes son de dirección Este y Sudeste.

El paisaje de la región del Conurbano Bonaerense es complejo y actualmente se encuentra urbanizado en una amplia superficie. Sin embargo es posible determinar las características geomorfológicas naturales originales de la región considerando áreas aún no transformadas por la acción antrópica. Los ascensos y descensos relativos del nivel del mar y/o de los bloques tectónicos en que se halla dividida el área fueron acompañados por fenómenos de erosión y acreción en el estuario, es decir, por progradación y retroceso de la línea de costa (Herrera, 1993). Por otro lado la génesis natural de los suelos depende de diversos factores relacionados con el clima, biota, relieve, tiempo y material originario. En el área de

estudio los Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos, y en particular cada siendo los factores geológicos las variables que determinan en mayor grado la diversidad del manto pedológico, actúa como roca madre del mismo dando origen a un desarrollo edafológico determinado.

La zona de estudio presenta un uso de la tierra industrial desde principios de siglo XX, hallándose en las periferias las principales refinerías de petróleo de la Ciudad de Buenos Aires (Polo Petroquímico Dock Sud). Se ha especulado sobre la posibilidad de la proveniencia de plomo a partir del proceso de industrialización del petróleo en dichas refinerías pero a la fecha no existe un estudio específico que las vincule a ellas con la contaminación de plomo (figura 2).

El riesgo potencial de contaminación a partir de este tipo de práctica de uso de la tierra es elevado y puede involucrar diversos contaminantes que suelen analizarse como familias de contaminantes relacionados con diversas causas (Silva Busso et.al., 2004). En este caso particular se ha considerado el riesgo de contaminación de suelos con plomo dado que existen antecedentes de contaminación ambiental en la zona de estudio detallado en el Plan de Acción Estratégico para la gestión ambiental sustentable del Municipio Avellaneda, PAE,

FIGURA 2. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DEL MUESTREO EN VILLA INFLAMABLE (Área del Polo Petroquímico Dock Sud)



(JMB, 2003). En el mismo se detalla el área e estudio con uso urbano-industrial a escala completa, publicando resultados de la contaminación de aire, agua y suelo con plomo, además de otros contaminantes inorgánicos y orgánicos. Paralelamente se menciona el hallazgo de elevadas concentraciones de plomo en sangre de niños de la zona de estudio (JMB, 2003); este informe descartó al agua y aire como vectores de ingreso del plomo a la sangre especulando sobre la posibilidad del material particulado del suelo. Por otra parte antecedentes previos de Brown and Caldwell, (1996) han informado un valor pico de concentración de plomo en suelo (2400 mg. Pb/Kg.) 10 veces superior al máximo del estudio PAE, (JMB, 2003).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL ÁREA

El área de estudio se encuentra en la zona de afloramiento de los denominados Sedimentos Post-Pampeanos (depósitos más modernos que los Sedimentos Pampeanos) que abarcan desde el Pleistoceno superior a la actualidad. Estos depósitos tienen variado origen: fluvial, lacustre, marino y comprenden varias unidades geológicas siendo las más extensas La Formación Querandí (Rimoldi y Suriano, 1999) y la Formación Luján (Rimoldi y Suriano, 1999). En la Formación Querandí predomina el tamaño de grano fino, limo y arcilla de colores grises y verdosos, denominados Formación Las Escobas por Fidalgo (1983). De edad más reciente son los cordones conchiles y conglomerados calcáreos depositados durante la última ingresión marina desde hace unos 6.000 años que ocupó completamente el estuario del Río de la Plata, denominados también Formación Destacamento Río Salado por Fidalgo et.al. (1975). Las acumulaciones Post-Pampeanas son discontinuas arealmente y se las encuentran en los valles de los Ríos, Matanza, Reconquista, Luján y las depresiones interiores y en la zona costera del Río de la Plata entre las cotas 0 y 5 msnm. Esta unidad geológica contiene los cordones litorales (facies de playa) formados por crestas de playa, subparalelos entre sí y al contorno de la paleocosta; su forma curvilínea en planta se debe a que fueron depositados en paleobahías existentes en la costa

holocena; las cuales eran tan profundas que llegaban a constituir amplios estuarios asociados a los Ríos Luján, Reconquista y Matanza entre otros. Estos cordones se encuentran en la planicie de inundación y de mareas y en su mayor parte al SSE del actual curso del Río Luján y hacia el sur del Río Matanza ubicados altimétricamente a 2,5 o 3 m sobre el nivel mar aproximadamente. Las planicies de marea presentan una superficie muy regular, observándose claramente paleocanales de marea. Estas se hallan modificadas por acción fluvial posterior y parcialmente integrados a la red principal de drenaje. Los cordones se hallan en buen estado de conservación, no obstante, en muchos sectores se los observa modificados por la presencia de vegetación, procesos de edafización y por acción geomórfica y antrópica posterior. Es importante el factor antrópico que se manifiesta a través de las canalizaciones y de los asentamientos poblacionales.

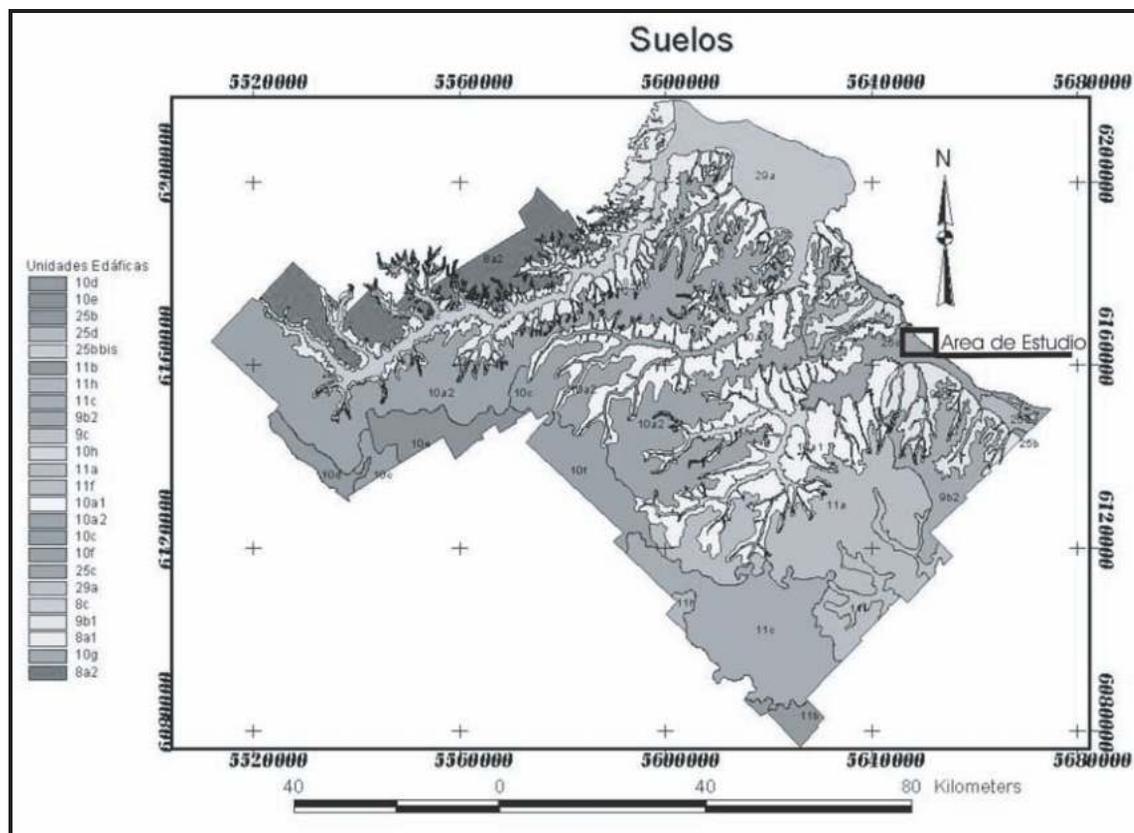
En el Conurbano Bonaerense el agua subterránea explotable se encuentra alojada fundamentalmente en los Sedimentos Pampeanos y en la Formación Puelches (en las zonas más bajas puede incluir unidades formacionales post-pampeanas). Por debajo de la superficie freática se encuentran otros acuíferos más profundos (Acuíferos Pampeano y Puelches), que por tratarse de acuíferos multicapa de llanura están todos hidráulicamente conectados.

Geomorfológicamente el área de estudio se encontraría en las Unidades IV Planicie de Inundación y Unidad V Planicie de Mareas (Gatti, 2003). La primera de ellas aparece como una faja con orientación NO-SE y hacia la Capital Federal reduce su ancho, donde además se intensifica el uso del suelo a tal punto que resulta imposible su seguimiento. Al sur del Río Matanza Riachuelo se la identifica nuevamente en forma creciente de su ancho hacia la Ciudad de la Plata. El límite oeste está claramente definido por un escalón o barranca. El aspecto de esta unidad es el de una superficie plana con depresiones entre cotas que oscilan entre los 5.50 y 2.25 msnm., llegando, en algunas regiones, a un mínimo de 0.5 msnm. El límite oriental de esta unidad está determinado por un bajo paralelo a la costa platense, el cual impide el libre escurrimiento de los arroyos, dicho bajo esta incluido en la unidad de Planicie de marea, y suele presentarse anegado y con abundante vegetación.

La segunda puede considerarse una unidad de acreción ubicada sobre la costa entre la zona de acumulación estuárica actual y las unidades deltaica, fuera del ámbito de este estudio, cuya influencia puede llegar hasta la

cota 2.5 msnm. Conforman un área extensa, de escasa pendiente y vegetada. Su superficie presenta poco relieve relativo y se halla disectada por abundantes paleocanales de mareas y canalizaciones actuales (figura 3).

FIGURA 3. ASOCIACIÓN DE SUELOS EN FUNCIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA (Gatti et al., 2005).



En el área de estudio los depósitos Postpampeanos constituyen los materiales originarios de los suelos cuyo desarrollo edafológico está estrechamente relacionado con el factor geoforma. Gatti (2003) realizó una división en unidades geomorfológicas agrupando unidades cartográficas que contienen diversas asociaciones, conasociaciones y complejos edafológicos a partir de dichas unidades geomorfológicas. Gatti, (2003) propone una asociación de suelos de Planicie de inundación y de mareas del Río de la Plata. Los suelos aquí formados poseen sedimentos con alto contenido en sales, no obstante, la Formación Querandí es tanto más rica que la Formación Luján que constituye por sí mismo un ambiente geoedafológico definido. Se hallan sometidos a frecuentes inundaciones, fenómenos de sepultamiento o decapitación. Son principalmente hidromórficos, salvo los asociados a los cordones conchiles, con evidentes procesos de Gleyzación o con tendencia a la salinización intensa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

La toma de muestras se llevo a cabo siguiendo los mismos puntos de toma de muestras del estudio realizado por JMB (2003), con intención de calcular y comparar nuestros resultados con aquellos. En este caso

particular se consideró incluir muestras de suelo superficial (barrido o superficie) entre 0 – 0.05m y otra a 0,25 metros de profundidad. Se incluyeron también nuevos puntos de muestreo. La técnica de toma de muestras de suelos contaminados utilizada fue la recomendada por (Seoanez Calvo, 1999; La Grega, 1998).

Los sitios de muestreo se han seleccionado según los siguientes criterios: Ubicación geográfica, Conocimiento de las características geológicas y edafológicas locales, conocimientos hidrogeológicos previos, cuencas, orientación, uso de la tierra y áreas de relleno. El objetivo del muestreo fue distinguir tipos de suelos (sí los hubiere) para poder considera la zona lo más homogénea posible dentro de un criterio edafológico y/o atendiendo las particularidades del estudio. Se extremó la calidad en el muestreo para hacer posible la obtención de información confiable, fidedigna y que efectivamente represente la química del suelo (US-EPA, 1986). Esta exigencia responde a que en el análisis de la composición química se deben tomar todas las precauciones para mantener las características químicas inalteradas El muestreo de suelos se realizó en dos niveles; superficial y 0.25 m de profundidad. Se tomo entre 250 a 500 g de muestra y almacenó en bolsas de polietileno reforzado. El muestreo contempló zonas de riesgo de afectación.

Para la determinación de la concentración total de metales en suelo, generalmente se utilizan la Espectrofotometría de Absorción atómica (AA) y la Espectrometría de emisión por plasma inductivamente acoplado (ICP), si bien estas técnicas no permiten distinguir la especiación ni el estado de oxidación del metal (McLean and Bledsoe, 1992), resultan adecuadas para los propósitos de nuestro trabajo. Para las determinaciones analíticas se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca Pelkin Elmer. Modelo AA-200 perteneciente a CORPLAB Latinoamérica, con sus curvas de calibración actualizadas. El método de análisis utilizado es el indicado por la literatura analítica de metales pesados (Beatty, 1987) y por US-EPA, (1995) en el método analítico para determinación de metales EPA 7420 y SW 846.

En el área de estudio se han encontrado evidencias de intoxicación con plomo en la población infantil PAE, (JMB, 2003), así es que la información antecedente y las diferencias detectadas entre los resultados de los estudios anteriores, nos indujeron a proyectar este trabajo y explorar la zona para obtener la información, proceder a distribuir geográficamente las concentraciones, aplicar técnicas de predicción espacial de la contaminación e intentar determinar el origen de esa contaminación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tratamiento estadístico e índices de contaminación.

La variabilidad de las concentraciones de plomo halladas en el área es significativa si se comparan ambos muestreos pero no lo es si se consideran independientemente. En estudios previos, la evaluación de la calidad ambiental del suelo esta sujeta a una alta complejidad de factores. Por ello, en ciertos trabajos se ha recurrido a emplear un conjunto de elementos traza para caracterizar las asociaciones contaminantes y determinar su posible origen (Silva Busso, et.al., 2004 y Silva Busso y Santa Cruz, 2005).

Tong-Bin Chen et.al, (2005) propone un análisis multivariado de cluster para el estudio de una asociación de Cu, Ni, Pb y Zn en suelos en los parques de Beijing. Dichos autores proponen el tratamiento estadístico para la asociación de diversos contaminantes que no corresponden a una procesos de contaminación específico sino a la suma de diversos procesos a lo largo de los últimos cien años.

En relación específica con el riesgo de contaminación con Plomo existe profusa información sobre estos hallazgos en Europa (Sanna et.al, 2003, Culbard, et.al., 1988 y Leharne, et.al., 1992) en Asia (Tong-Bin Chen et.al., 2005) y Oceanía (Markus, et.al., 1996; Markus and McBratney., 2001) y América (Linzon et.al., 1976). A escala mundial, el aumento del plomo en el ambiente intenta controlarse actuando sobre dos frentes: Por una parte, la sustitución de los compuestos orgánicos de plomo como antidetonantes en las naftas para automotores; y por otra procurar que la utilización de productos de plomo se realice con una tecnología que asegure una depuración y recuperación del plomo de los residuos lo mas eficiente posible. En argentina los trabajos de Silva Busso, et.al., (2004) y Silva Busso y

Santa Cruz, (2005) también empujan un análisis multivariado, de agrupamiento y factorial para establecer asociaciones y orígenes de los elementos traza en el agua subterránea de los acuíferos Pampeano y Puelches en el Pdo. de Escobar, Buenos Aires. Davies y Wixson, 1987; Sánchez Gómez y Ramos, 1987 han propuesto el método de unión Ward y correlación Pearson para determinar la asociación de contaminantes en material particulado atmosférico que también ha sido implementado en un estudio realizado en Madrid, España por De Miguel et.al., (2002).

Este tipo de abordaje de la problemática se ha realizado cuando se trabaja con asociaciones de contaminantes o fuentes poco precisas de contaminación. El estudio de Vives et.al., (2005) ha determinado que la distribución areal de las concertaciones de plomo afecta claramente a la zona precariamente urbanizada y tendría su mayor concentración en las zonas de relleno y posterior urbanización. La presencia de plomo en profundidad no se relacionaría con procesos de lixiviación vertical a partir de la superficie sino que estaría contenida en el relleno y, a priori, la acción erosiva del viento movilizaría ese contaminante en superficie en el material particulado. La presencia de plomo a partir de fuentes de descarga periféricas que podrían involucrar al del Polo Petroquímico Dock Sud no queda claramente definida, y citan como otra posibilidad, la existencia de descargas clandestinas de líquidos residuales, con la consecuente posibilidad de lixiviación de Plomo en el agua subterránea y/o la escorrentía superficial.

Dado que el presente estudio esta relacionado con el realizado por Vives et.al., (2005) y se ha determinado un posible origen específico de la contaminación a partir de un solo contaminante se emplearon métodos de estadística descriptiva en el análisis de los índices de contaminación, según la propuesta inicial de Tong-Bin Chen et.al (2005). Para evaluar la calidad ambiental del suelo de esta zona se utilizó el índice de contaminación (IC), o como se lo denomina en idioma inglés Pollution Index (PI). Este índice ha sido definido por Chen et.al. (2004) como la relación entre la concentración hallada del metal pesado en el estudio sobre la media geométrica de la concentración antecedente. Con el objeto de evaluar el nivel de contaminación se comparan los (PI) hallados con los siguientes niveles de referencia de Índices de Contaminación. Considerando la clasificación propuesta por Tong-Bin Chen et.al. (2005) para la clasificación de intervalos calculados del (PI) para cada metal pesado específicamente. La clasificación se define en la tabla 1

TABLA 1. Clasificación del IP propuesta por Chen et. al., (2004) y Tong-Bin Chen et. al., (2005).

$PI \leq 1$	Nivel de contaminación Bajo
$1 < PI \leq 3$	Nivel de contaminación Medio
$PI > 3$	Nivel de contaminación Alto

Si bien el área de estudio se encuentra cubierta por un relleno no controlado, el suelo natural se clasifica taxonómicamente como Fluvacuent típico (USDA, 1998) es levemente ácido aumentando el pH con la

profundidad. La salinidad es baja en superficie y aumenta a moderada a partir de los 0.15m. El contenido de materia orgánica es moderado. El contenido de sodio intercambiable es del 12.36% en superficie, que se mantiene en esos valores en profundidad. La saturación cálcica es baja, con buena saturación general de bases en todo el perfil del suelo. La capacidad de intercambio catiónico es moderada en todo el perfil. El material original se trataría de depósitos fluviales.

El resumen de los resultados de las determinaciones de plomo por espectrofotometría de absorción atómica realizados en laboratorio se observan en la tabla 2 y 3. Algunos valores particularmente altos corresponden a sitios específicos de muestreo. El caso de la muestra S4 muestra valores de 2100,2 mg.Pb/Kg.M.S fue tomada

por escobillado de polvo superficial y hasta 5 cm de profundidad de áreas con una importante utilización del suelo por jóvenes y niños (campo de deportes). La muestra S13 exhibe un valor de 460,7 mg.Pb/Kg.M.S fue tomada por barrido superficial en proximidad a dos sumideros de desagüe pluvial. La muestra S3 con valores de 335,6 mg.Pb/Kg.M.S fue tomada a la entrada de un depósito de materiales de rezago con residuos domiciliarios, y probablemente industriales al que suelen tener contacto la población infantil del lugar.

Estos índices se calcularon de acuerdo a la descripción dada anteriormente y con los datos de concentraciones de plomo en suelo superficial del muestreo tomado a fines de 2004 que se muestran en Tabla 1.

TABLA 2. Muestra los datos de los análisis de plomo en suelos de "Villa Inflamable" Vives et.al., (2005).

Muestra	Ubicación	Barrido	Superficial	25 cm
		mg Pb/Kg M.S.		
S1	Campo deportes escuela N° 67	-	34.6	27.8
S2	Calle Canalejas N° 2227	-	53.7	50.9
S3	Calles Malabia y Campana	-	335.6	1286.6
S4	Calles Larroque y Campana	-	2100.2	140.8
S5	Calles Campana y Canalejas	-	185.7	503.8
S6	Calle Canalejas N° 2992	-	122.7	644.5
S7	Calle Sargento Ponce N° 2927/45	66.7	105.2	127.6
S8	Calle Génova N° 1802	-	68.4	206.1
S9	Calles Ocantos y Génova	-	94.9	-
S10	Calle Ocantos N° 1616/1613	-	116.8	59.2
S11	Calle Ocantos N° 1895	-	150.1	24.7
S12	Calles Larroque y Progreso	-	154.9	101.1
S13	Unidad Sanitaria de Porres	-	460.7	225.0
S14	Calle Canalejas N° 2189	-	53.1	32.8
S15	Calles Sargento Ponce y Gaona	-	244.3	247.6

TABLA 3. Datos de los análisis de plomo en polvillo superficial y suelos de "Villa Inflamable" realizado para el Plan de Acción Estratégica (JMB, 2003) Avellaneda.

Muestra	Ubicación	Barrido	Superficial	
		mg Pb/Kg M.S.		
S1	Campo deportes escuela N° 67	-	11	
S2	Calle Canalejas N° 2227	-	32	
S3	Calles Malabia y Campana	-	121	
S4	Calles Larroque y Campana	-	144	
S5	Calles Campana y Canalejas	-	88	
S6	Calle Canalejas N° 2992	-	44	
S7	Calle Sargento Ponce N° 2927/45	-	36	
S8	Calle Génova N° 1802	-	87	
S9	Calles Ocantos y Génova	-	234	
S10	Calle Ocantos N° 1616/1613	-	247	
S11	Calle Ocantos N° 1895	-	105	
S12	Calles Larroque y Progreso	-	12	
S13	Unidad Sanitaria de Porres	-	107	
S14	Calle Canalejas N° 2189	-	23	

Para la determinación de la concentración de plomo antecedente o histórica tal como lo propone Tong-Bin Chen et.al, (2005) se utilizaron los datos de plomo superficial, publicados por el informe del PAE según estudio realizado por (JMB, 2003) que se presenta en tabla 2. Aunque este estudio no pretende una determinación de niveles de base regionales de Pb, refiere muestreos previos en la misma zona de estudio y puede considerarse como datos antecedentes.

De acuerdo a la norma US EPA (US-EPA, 1986) se considera el límite de contaminación de suelos o rellenos para uso residencial de 130 mg Pb/Kg y para el uso de suelo industrial 1000 mg Pb/Kg. De acuerdo con esta norma el área se encuentra en gran medida excedida para el uso residencial, por lo que entendemos que se trata de un área contaminada con Pb.

Calculo de los Índices de Contaminación con Plomo

Para el cálculo de los índices de contaminación es de importancia contar con información antecedente o con los niveles de base o guía del contenido de Pb en suelos. En la bibliografía del área de estudio existe una gran escasez o ausencia de trabajos regionales que determine concentraciones de Pb de suelos que, aunque se reconozca en ellas la influencia por la acción antrópica de las áreas urbanas, puedan considerarse niveles base o guía aceptables. En el mundo se han determinado asociaciones de Zn, Cu, Pb y Ba para el material particulado de los suelos Madrid (España), como consecuencia del tránsito vehicular y proveniente de los combustibles, lubricantes y desgaste de neumáticos. La corrosión de estructuras metálicas galvanizadas puede también relacionarse con asociaciones de Fe, Zn y Cd y eventualmente se asocia el Pb, como también se ha estudiado sobre el material particulado de Oslo (Noruega) y Madrid, España (De Miguel, 2002). Estas asociaciones no son siempre las mismas; el Pb en Oslo, se asocia con la remodelación edilicia y no con el

tránsito vehicular. En Argentina, se han detectado y verificado trazadores multielementales que relacionan asociaciones de elementos traza y usos del suelo, conformando ciclos hidrogeoquímicos urbanos y discriminando las asociaciones naturales de las antrópicas (Silva Busso et.al, 2004). Dichos autores proponen para el área norte del Conurbano Bonaerense una asociación hidroquímica de estrecha vinculación areal con el uso industrial del suelo que incluyen Pb, Co, Ni y Cr. Esta asociación fue determinada en el agua subterránea, sin embargo tiene correlato con las asociaciones hidrogeoquímicas como la representada por el Pb, Cu y Zn que son típicas de áreas urbanas en material particulado atmosférico y suelos. En particular se determinó la presencia de Pb y valores anómalos de Zn, también verificados por Silva Busso, et.al., (2004).

Para la descripción de los suelos del Partido de Escobar se realizaron calicatas sobre las transectas entre las curvas de nivel de 25 a 5 m.s.n.m. en las localidades de Garín, Maschwitz, Belén de Escobar, Matheu y Loma Verde (Silva Busso et.al., 2004). Particularmente sobre la antigua traza de la Ruta Nacional N° 9. Allí se realizó un muestreo de reconocimiento del suelo para metales pesados. Las muestras fueron tomadas mediante barreno plástico, en cinco puntos diferentes, con tres repeticiones, a una profundidad de 0-5 cm de suelo. Los análisis realizados fueron: capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, porcentaje de arcilla, limo y arena para determinar la clase textural, y metales pesados: Cromo (Cr), Niquel (Ni) Cadmio (Cd), Cinc (Zn) y Plomo (Pb). En las zonas bajas (5 m s.n.m. y márgenes de arroyos) los suelos Fluvacuantes presentan discontinuidades litológicas, son suelos comúnmente de alta salinidad y alcalinidad. En el punto más cercano a la ruta nacional N° 9, el Pb presentó valores altos (244 ppm), referenciado en el mismo punto que los altos niveles de Zn (máximo 219 ppm), cuyo valor puede ser considerado como fitotóxico según Kabata-Pendias y Pendias (1992). Con respecto al resto de los puntos

TABLA 4. Memoria de cálculo. Índices de Contaminación con Plomo sobre la media geométrica regional.

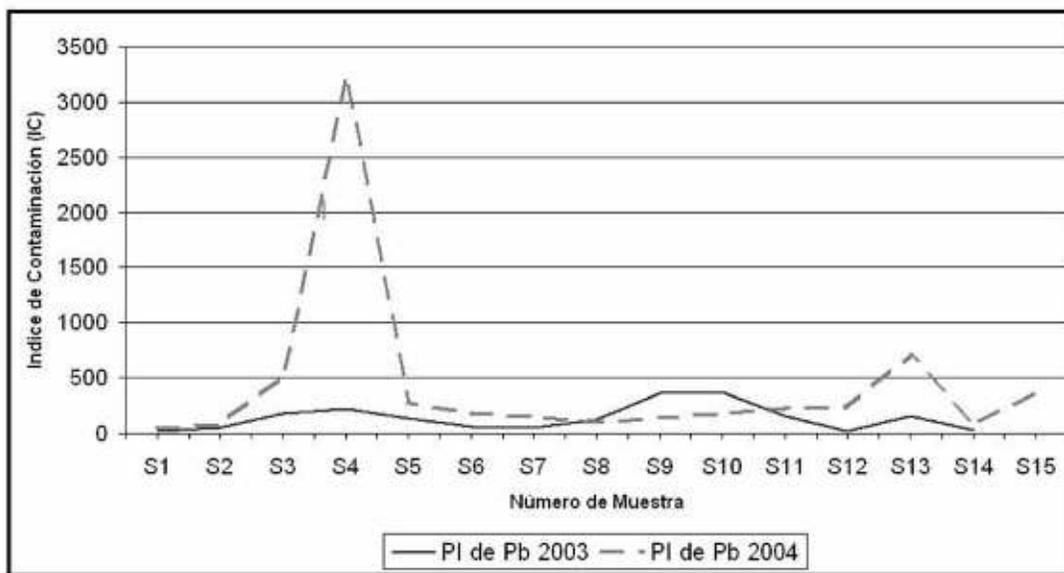
muestra	Pb en 2003	Pb en 2004	PI de Pb 2003	PI de Pb 2004
S1	11.00	34.60	16.85	53.01
S2	32.00	53.70	49.03	82.28
S3	121.00	335.60	185.40	514.21
S4	144.00	2100.20	220.64	3217.93
S5	88.00	185.70	134.83	284.53
S6	44.00	122.70	67.42	188.00
S7	36.00	105.20	55.16	161.19
S8	87.00	68.40	133.30	104.80
S9	234.00	94.90	358.53	145.41
S10	247.00	116.80	378.45	178.96
S11	105.00	150.10	160.88	229.98
S12	12.00	154.90	18.39	237.34
S13	107.00	460.70	163.95	705.88
S14	23.00	53.10	35.24	81.36
S15		244.30		374.32

muestreados los valores encontrados se hallan por debajo de los límites considerados tóxicos (Silva Busso et.al., 2004). El estudio realizado en el partido de Escobar, Prov. de Buenos Aires constituye un intento de regionalización de la concentración de Pb en suelos y zona no saturada en zonas urbanas (Santa Cruz et.al., 1999). Se propone en este estudio considerar los valores del Partido de Escobar como concentración antecedente regional atendiendo a que constituye una información reciente y regionalizada dentro del Conurbano Bonaerense, aunque diste del área de estudio en 50 Km, posee similitudes climáticas, edafológicas y geomorfológicas; además de encontrarse en el mismo conglomerado urbano. Una segunda aproximación a una escala local se ha realizado mediante una comparación de los PI sobre los antecedentes locales de concentración de Pb en Villa Inflamable lo que permitiría analizar su

evolución en el área afectada con mayor detalle En el Pdo. de Escobar los valores obtenidos para las medias geométricas son de 0.65 mg Pb/Kg para datos de muestras superficiales y 0.52 mg Pb/Kg para datos de muestras a 0.25m de profundidad. Aquí se considerará la primera de ellas para el cálculo del PI. Estos vales medios se calcularon incluyendo los valores anómalos de la antigua traza de la Ruta N° 9.

Aplicando la relación entre las concentraciones de plomo superficial halladas en los muestreos de JMB, (2003) y Vives et.al., (2005) y la media geométrica de la concentración antecedente calculada a partir del estudio de Santa Cruz et.al., (1999) se determina emplear el valor de 0.65 mg Pb/Kg sobre la base del cual se obtuvieron los índices de contaminación con plomo en Villa Inflamable expresados en al tabla 4.

FIGURA 4. EVOLUCIÓN DE LOS PI DURANTE EL PERIODO 2003-2004 EN VILLA INFLAMABLE.



De acuerdo con la metodología propuesta por Tong-Bin Chen et.al, (2005) puede también determinarse el PI entre las concentraciones de los años 2003 y 2004 y analizar su evolución, tomando en este caso la del estudio JMB, (2003) como antecedente.

Realizando un análisis comparativo, para el cálculo local el valor obtenido de la media geométrica es de 62,32 mg Pb/Kg para datos de muestras superficiales del JMB, (2003). La tabla 5 muestra los resultados comparativos del PI.

A partir del análisis de los resultados, se observa que sólo 1 de las 15 muestras tomadas (el 9% de las muestras) presenta un Índice de Contaminación con Plomo, (PI < 1) que muestra un nivel Bajo de contaminación, por lo cual el 90% noventa por ciento de las muestras exhibe valores del PI mayores que 1, ello explica el hallazgo publicado en el informe del PAE (JMB, 2003), de niños con altos tenores de plomo en sangre. Además entre las muestras que excedieron el valor mínimo, 8 de ellas se encuentran en el rango de ser consideradas con un nivel alto de contaminación (51%) el resto aproximadamente 40% se presentan con nivel medio de contaminación.

TABLA 5. Memoria de cálculo. Índices de Contaminación con Plomo sobre la media geométrica local.

muestra	PI entre Pb 2003y 2004
S1	0.85
S2	1.32
S3	8.25
S4	51.64
S5	4.57
S6	3.02
S7	2.59
S8	1.68
S9	2.33
S10	2.87
S11	3.69
S12	3.81
S13	11.33
S14	1.31
S15	6.01

5. CONCLUSIONES.

La problemática de la contaminación en las áreas urbanas es compleja y el desarrollo de metodologías para su evaluación y control depende en cierta medida de criterios de análisis regionales y locales. El empleo de los índices de contaminación (PI) como metodología para la evaluación de la contaminación es aplicable cuando se dispone de elementos de caracterización ambiental previos (geología, hidrogeología, edafología, tipo de materiales de relleno, etc.) que permiten localmente definir los alcances de la afectación. A escala regional su valor es más limitado, aunque podría permitir identificar áreas contaminadas si se contase con un reconocimiento regional adecuado de los valores guía de

las especies iónicas consideradas.

Regionalmente todas las muestras presentan valores elevados de contaminación lo que permite identificar y circunscribir el área adecuadamente. En un análisis local, el valor de 80% ochenta por ciento de las muestras exhibe valores del PI mayores que 1 permite clasificar al área con niveles medios a altos de contaminación según la metodología propuesta por Tong-Bin Chen et.al, (2005). Este aspecto encuentra su correlato en el hallazgo de niños con altos tenores de plomo en sangre publicado en el informe del PAE, (JMB, 2003). Los cambios locales en los índices se podrían atribuir a la diferente competencia del material frente a los agentes erosivos los que facilitarían la movilización de la carga contaminante.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

- BEATY, R.D., 1987. Concepts, Instrumentation and Techniques In Atomic Absorption Spectrophotometry. Pelkin Elmer.
- BROWN AND CALDWELL, 1996. Dock Sud Environmental Remediation and Pollution Abatement Project, final report, prepared for Secretaría General de la Gobernación de la Provincia de Buenos Aires.
- CULBARD E. B., I. TROTÓN, M. WHEATLEY, S. MOORCROFT AND M. THOMPSON, 1988 Metal contamination in British urban dust and soils. *Journal of Environmental Quality*, 17, 226-234.
- CHEN T. B., Y. M. ZHEN, H. CHEN AND G. D. ZHENG, 2004. Background concentrations of soil heavy metals in Beijing, *Chinese Journal of Environmental Science* 25 (2005) pp. 117-122 (in Chinese).
- DAVIES B. E. AND B. G. WIXSON 1987. Use to factor analysis to differentiate pollutants from other trace metals in surface soils of the mineralized area of Madison Country. Missouri. USA. *Water, Air and Soil Pollution*. 33 pag: 339-348
- DE MIGUEL E., J. F. LLAMAS, E. CHACÓN, C. FERNÁNDEZ ARROJO, A. ORDÓÑEZ, A. CALLADA, S. LARSEN Y S. CHARLESWORTH, 2002. Caracterización Geoquímica de los ciclos de elementos traza en ambientes urbanos. *Boletín Geológico y Minero. IGME. Madrid. España*. 133(1):35-43.
- EPA, 1986. Quality Criteria for Water: Office of Water Regulations and Standards, Criteria and Standards Division. EPA, Washington, D.C., USA.
- FIDALGO, F, 1983. "Algunas características de los sedimentos superficiales en la cuenca del río Salado y en la Pampa Ondulada." EN: Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. CONAPHI. Tomo 2:1045-1067. Olavarría. Argentina.
- FIDALGO, F., DE FRANCESCO, F. O. Y PASCUAL, R., 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio Geológico de la Provincia de Buenos Aires, 103-138. Bahía Blanca.
- GATTI D., (2003). Elementos Hidroestratigráficos para la Protección de Acuíferos en el área del conurbano Bonaerense y Ciudad de Buenos Aires. Trabajo final de Beca. Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina (Inédito). (Gatti et.al., 2005
- HERRERA C., 1993. Evolución Holocena en Sectores de la Costa Bonaerense del Estuario del Río de la Plata. Tesis de Licenciatura Dpto. de Geología FCEyN, Universidad Buenos Aires (Inédita).
- INTA, 1989. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires (escala 1:500.000). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, CIRN - Instituto de Evaluación de Tierras. Buenos Aires, 1989.
- INDEC, 2001. Censo Nacional 2001 Resultados generales según Departamento o Partido o División, Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC).
- JMB, 2003. Ingeniería Ambiental. Plan Estratégico (PAE) para la gestión ambiental sustentable de un área urbano-industrial a escala completa, Avellaneda, Argentina.

KABATA-PENDÍAS A. AND PENDIAS H. 1992. Trace elements in Soils and Plants. 2nd ed. CRC Press.. Boca raton. Fla. USA.

LA GREGA M. D., 1998. "Gestión de Residuos Tóxicos". Ed. McGraw-Hill Interamerican, Madrid, 1068-77.

LEHARNE S., D. CHARLES WORTH, AND C. BABUR., 1992 A survey of metals levels in street dust in an inner London neighbourhood. *Environment International*, 18, 263-270.

LINZON S. N., B. L. CHAI, P. J. TEMPLE, R. G. PEARSON AND M. L. SMITH, 1976. Lead contamination of urban soils and vegetation by emissions from secondary lead industries. *J. Air. Poll. Control Ass.* 26, 650-654.

MARKUS J. A. AND A. B. BRATNEY, 1996. An urban soil study: heavy metals in Glebe, Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 34, 453-465.

MARKUS J. AND A. B. MCBRATNEY, 2001 A Review of the contamination of soil with lead. *Environment International*, 27, 399-411.

MCLEAN J. E. AND B. E. BLEDSOE, 1992. Behaviour of metals in soil. EPA-Ground Water Issue, EPA/540/S-92/018, pp 3-4.

RIMOLDI J.C. Y SORIANO M., 1999. Mapa Geológico de la Provincia de Enter Ríos, SEGEMAR, Argentina.

SÁNCHEZ GÓMEZ M. L. Y RAMOS MARTÍN M.C. 1987. Application of cluster analysis to identify sources of airborne particles. *Atmospheric Environments*. 21:1521-1527.

SANNA E., 2003. Blood and hair lead levels in boys and girls living in two Sardinian towns ad different risks of lead pollutions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 293-299.

SANTA CRUZ, J. N., 1995. Tipología General de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en el Conurbano Bonaerense. *Revista Fundación Museo de La Plata*, Vol. 1- N° 5, pp.68-71, Buenos Aires, Argentina.

SANTA CRUZ J. N, A. SILVA BUSSO, O. HEREDIA, L. FERNÁNDEZ Y L. MORENO MERINO. 1999. Caracterización Geológica e Hidrogeológica del área del Partido de Escobar, Buenos Aires, Argentina. Proyecto Internacional de Investigación denominado "Diagnóstico de Calidad del Agua Subterránea en el Partido de Escobar, Provincia de Buenos Aires, con Miras a una Futura Gestión Medio Ambiental" -INA- ITGE – UPC. Informe N°1 (Inédito).

SEOANEZ CALVO M., 1999. "Contaminación del Suelo" Estudios, tratamiento y gestión. Ed. Mundi Prensa, Madrid, 257-266.

SILVA BUSSO A., J. SANTA CRUZ, HEREDIA O., 2004 Trazadores Multielementales en Diagnóstico Ambiental de las Aguas Subterráneas del Partido de Escobar, Buenos Aires Argentina, *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, ASAGAIA ISSN: 0326-1921 N°20, pag 22-32, Argentina.

SILVA BUSSO A. Y SANTA CRUZ J. N., 2005. Distribución de Elementos Traza en las Aguas subterráneas del Partido de Escobar, Buenos Aires, Argentina. *Revista Ecología Austral*, Asociación Argentina de Ecología, La Plata, Buenos Aires, Argentina. N°9 pag: 20-33.

TONG-BIN CHEN, Z. YUANG MING, L. MEI, H. ZE-CHUH, W. HONG-TAO, C. HUANG, F. KE-KE, W. XIAO AND T. QIM-ZHENG ., 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, corrected proof on line.

US-EPA, 1995. Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume II, Environmental Evaluation.

USDA 1998.Keys to Soil Taxonomy. Eighth Ed. NRCS, Washington, DC, USA.326 pp.

VIVES H. F., A. SILVA BUSSO, K. PETELÍN, L. O. RAMÍREZ, A. M. VIVES., 2005. Lead contamination risks from "waste land fills" in a urban area, Buenos Aires, Argentina. Grupo de Electroquímica y Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería, UTN-FRA, Argentina (Informe Inédito).

WILKEN R.D., U. FÖRSTNER, A. KNÖCHEL, 1995. Heavy metals in the environmental. Vol 1 Hammburg: CEP Consultands Ltd.



OBRAS DE DEFENSA EN COSTAS DE DUNAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

R. A. López, S.C. Marcomini

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento de tres tipos de obras de defensa de costa que se ejecutaron en el Municipio de La Costa, provincia de Buenos Aires.

Las obras que se construyeron, se proyectaron con la finalidad de defender la línea de costa, en todos los casos se utilizaron obras duras de acorazamiento y moderación (Pope 1997). Las obras ejecutadas son:

- Tetrápodos de hormigón, en la localidad de Santa Teresita (1980-1982).

- Espigones, en la localidad de Santa Teresita (1987).

- Gaviones de geotextil, en las localidades de Mar de Ajó, La Lucila, Mar del Tuyú, Santa Teresita y Las Toninas (1993-1994).

Ninguna de las obras alcanzó su finalidad, principalmente por las características geológicas de las playas en cuestión. La inexistencia de un sustrato rocoso en las cercanías de la superficie que permita el asentamiento de las estructuras provocó el hundimiento de las mismas y la gran extensión longitudinal de la costa sin accidentes permitió que el oleaje actuara sobre los cierres laterales de las obras desestabilizando las estructuras.

Con respecto al diseño y dimensionamiento de las obras, el número y cantidad de hileras de tetrápodos utilizados, longitud y altura del espigón y el tipo y relleno del geotextil sumado a la falta de previsión técnica para abordar los problemas de socabamiento lateral y frontal de las estructuras fueron también las causas de la baja eficiencia de los proyectos ejecutados.

El análisis de los factores responsables del proceso erosivo en estas localidades, indica que la acción antrópica es la principal causa de pérdida de arena de playa y el retroceso de la línea de costa. Los planes de trabajo futuros deberán tener en cuenta que los procesos erosivos se mitigan actuando sobre las causas, adecuando las obras a las características físicas de la zona y a la capacidad económica para su mantenimiento.

Abstract

The purpose of the paper is to evaluate the behaviour of different beach and coastal protection works that have been carried out since 1980 and 1990, along the Municipio de La Costa, Buenos Aires, Argentina.

The analysis of the erosion factors showed anthropogenic action as the main cause of sand loss and coastal recession.

The coastal protection works were design to protect the coastline. Armoring and moderating were always used as functional classes for coastal management, employing concrete tetrapodes, tubes of geotextile and groins.

The absence of a rocky substratum near the beach surface as well as linear shore configuration gave to the protection works a low durability. The number and quantity of tetrapods, the length and height of groins and the type of geotextile employed were also causes of the low efficiency of the projects. It was also observed a lack of technical assistance to solve the problems of lateral and frontal scoring of the structures after surge storms.

Future coastal planning should take into account that a coastal defence must be adequate to the physical environment and to face the economic cost of the defence maintenance after the construction.

Entregado: 31 de Octubre de 2005 • Aceptado: 26 de Noviembre de 2005

Departamento de Geología, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires
rlopez@gl.fcen.uba.ar_ y scm@gl.fcen.uba.ar

Palabras clave: Erosión, Defensas de costa, Manejo costero, ley de costas

Keywords: Erosión, Coastal protection, Coastal management, Coastal Law

1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA

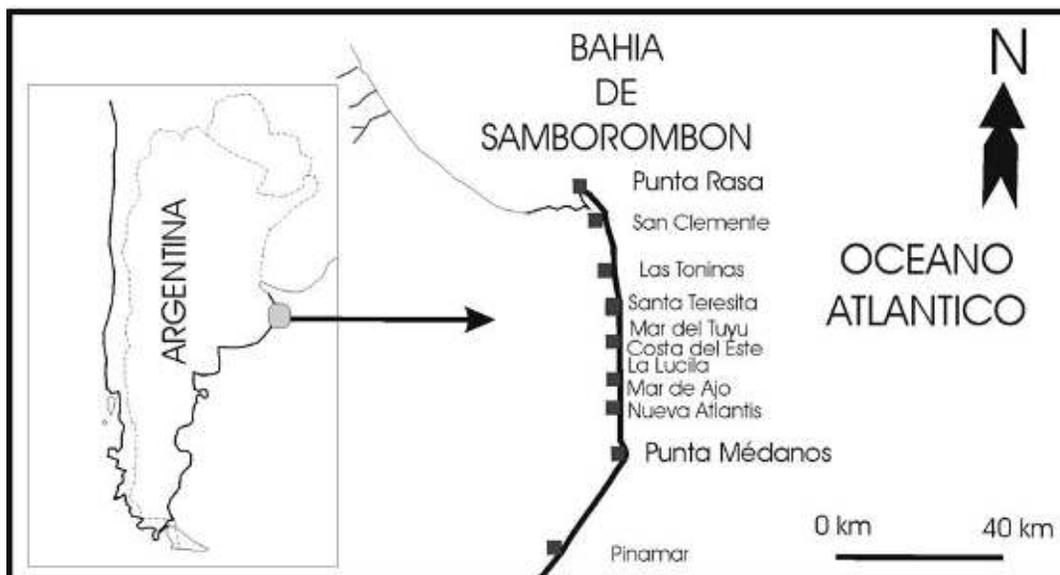
El sector de costa evaluado ocupa la zona centro-oeste de la provincia de Buenos Aires, a lo largo de faja costanera del Cabo de San Antonio, entre Punta Rasa y Punta Médanos, en el Partido de La Costa. En el mismo se reconocen 14 emprendimientos urbanos- turísticos con distintos grados de desarrollo. Las primeras fundaciones corresponden a las localidades de San Clemente del Tuyú y Mar de Ajó en 1935 y las más modernas a las localidades Pinar del Sol, Costa Esmeralda, Nueva Atlantis y Costa Chica (década del 90).

La dinámica que alimenta a estas playas se debe a la corriente de deriva litoral, que moviliza los sedimentos de sur a norte (Mazzoni y Spalletti 1978). El régimen de marea es semidiurno con desigualdades diurnas siendo las amplitudes máximas de 1,43 m en sicigias y las medias de 0,79 m, las pleamares medias son de 1,28 m y

las bajamares de 0,49 m (Servicio de Hidrografía Naval 1998). En periodos de tormenta combinados mareas de sicigia el nivel del mar puede superar los 3 metros de altura.

Las playas presentan anchos variables entre 40 y 100 m., son de baja pendiente y gran continuidad lateral. Están integradas por arenas cuya moda corresponden al intervalo arena fina (125-177 micrones, López, 1992), compuestas principalmente por cuarzo, líticos volcánicos, feldspatos y fragmentos de conchillas. Los subambientes de playa se encuentran bien diferenciados presentan por lo general una playa distal de aproximadamente 30 metros sin desarrollo de bermas, en la playa frontal suelen encontrarse barras y canales asociados a las mismas. En la playa sumergida se reconoce el canal litoral interior y una o varias barras de rompiente. Esta última presenta cortes producidos por las corrientes de retorno que se distribuyen a lo largo de la costa con intervalos de entre 80 a 160 m.

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN.



2. EROSIÓN COSTERA

Las localidades balnearias que componen el Partido de la Costa, presentan patrones comunes en los lineamientos utilizados para su urbanización, ocupación y criterios de uso de recursos, lo que ha provocado con el tiempo impactos ambientales que generaron áreas con distintos grados de erosión (López 1993).

Línea de costa y legislación

Las fundaciones ocurridas hasta la mitad del siglo pasado utilizaban el criterio de camino de sirga, expresado en el artículo 2639 del código civil, para establecer el límite entre la urbanización y la zona costera, o sea se tomaban 35 m hacia el sector continental desde el límite de las altas mareas, para establecer una zona de acceso y dominio público. Pero debido a las posiciones de las altas mareas, en estas costas de baja pendiente, es muy amplia (superando los

35m), la falta de conocimiento de la dinámica de la línea de costa y la especulación inmobiliaria, permitió el loteo de las dunas costeras y en algunos casos hasta la playa distal, es así que localidades como Mar de Ajó, Santa Teresita y Mar del Tuyú presentan edificaciones que interactúan con el oleaje durante las pleamares de sicigia. A partir de 1950 se pone en vigencia en la Pcia. de Buenos Aires el decreto N° 9196 conocido también como ley Mercante, que establece criterios particulares para los fraccionamientos de tierra sobre la costa Atlántica. En el texto original se establece que:

“Art. 1º.- En todos los fraccionamientos sobre la Costa Atlántica en las que se proyecte la creación de manzanas o macizos fin de semana, deberá dejarse librada al uso público la “ribera externa”. Se entenderá por tal la franja paralela y contigua a la “playa” definida por el código civil, y que está sujeta a la entrada del mar cuando el mismo soporta las mareas astronómicas y las eólicas

Art.2º.- En forma paralela y contigua a la "ribera externa" deberá abrirse una Avenida Costanera de cien metros de ancho.

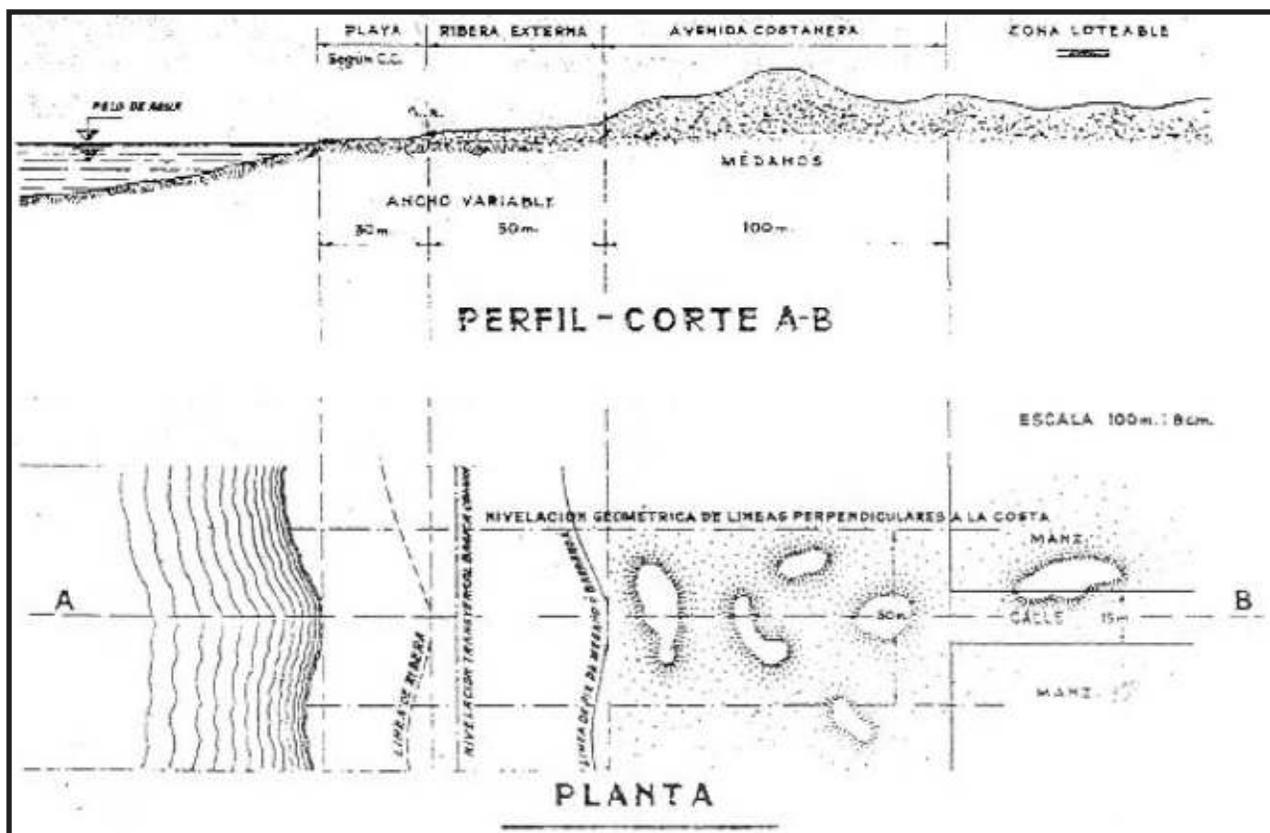
Art. 3º.- La ubicación sobre el terreno de la "ribera externa" y de la Avenida Costanera se hará en común acuerdo entre los interesados y la Dirección de Geodesia, con el asesoramiento de la Dirección Nacional de Navegación y Puertos en los casos de duda. A tal efecto los recurrentes practicarán una nivelación geométrica de líneas perpendiculares a la costa, apoyadas en una transversal básica común a equidistancias no mayores a de cincuenta (50) metros a todo lo largo del frente sobre el mar. Dicho relevamiento se extenderá desde la lengua del agua en una extensión que baste a los fines apuntados.

Art.4º.- No se aceptara la creación de lotes de tipo urbano, sub-urbano, residencial o de barrio parque en zonas de médanos vírgenes. ...".

Del análisis del texto del decreto y la interpretación gráfica del mismo (figura 2) se desprende que lo

expresado como "playa" corresponde al sector intermareal o playa frontal y "ribera externa" podría corresponder a la playa distal, desde el punto de vista hidrodinámico, si se interpretara únicamente el Artículo 1º, sin embargo el concepto se contraponen al fijar un límite en el ancho, no mayor de 50 m para la misma, como lo expresa el Artículo 3º. Tampoco queda especificado en que estado de marea se debe establecer la nivelación transversal básica común. Lo que generó situaciones como se puede constatar en la localidad de Las Toninas, que en el plano catastral original aprobado por la Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires, establece una avenida costanera de 70m de ancho y un sector de dunas entre este y el mar, en la actualidad esta localidad presenta una avenida costanera que no supera los 10 m de ancho en toda su extensión y de proyectase lo establecido en la plancheta original, el límite este de la avenida se encontraría en el sector intermareal. El artículo cuatro presenta un concepto teórico muy interesante, desde el punto

FIGURA 2. INTERPRETACIÓN GRÁFICA DEL DECRETO 9196



de vista morfodinámico, ya que podría interpretarse como un lineamiento urbano para establecer condiciones de equilibrio en el sector playa-duna y resguardar los sectores de recarga más eficientes del acuífero costero. Pero difícilmente el objetivo del artículo 4º este basado en los criterios mencionados ya que para la época aun no estaban desarrollados. La incorporación del concepto de médanos vírgenes es ambiguo y da lugar a distintas interpretaciones, según las profesiones que lo aborden y los intereses que los asistan, de hecho gran parte de las localidades costeras se desarrollaron sobre "médanos vírgenes". Pero dejando de lado las críticas de algunos

de sus aspectos y sus aplicaciones, el decreto 9196 ocupó un vacío legal necesario para el uso de los territorios costeros y es así que las localidades como Costa del Este y La Lucila, que diagramaron su urbanización aplicando racionalmente el decreto, presentan condiciones estables de sus costas.

La falta de normativa adecuada y actualizada, que establezcan criterios precisos para zonificar los usos de los sectores costeros y delimitar los ámbitos privados de los públicos, dio lugar a números conflictos de intereses entre propietarios, municipio y usuarios de los recursos turísticos.

Actividades antrópicas

Dentro de las acciones y usos comunes no apropiados a recursos los naturales costeros, que causan erosión se pueden mencionar:

- La extracción de arena en estas playas ocurridas durante las décadas del 70 y el 80. Estas explotaciones constituyen el mayor perjuicio en el balance dinámico-sedimentario de estas costas, debido a la actitud irracional con que se llevaron a cabo este tipo de explotación.
- La removilización de las arenas de playa (tareas de limpieza, emparejamiento, etc.), fundamentalmente de las bermas estacionales (Marcomini y López, 1997). Actividades privadas sin ningún tipo de fiscalización que llevó a la pérdida de la compactación y variación de la pendiente incrementando los procesos erosivos.
- La depredación de las dunas costeras provocó un importante retroceso de la línea de costa sumado al descenso del nivel de la playa. Situación que se repite en los sectores de costa donde las dunas han sido vegetadas con especies alóctonas e inadecuadas.
- La interrupción de la dinámica litoral por construcción de muelles y espigones incrementó la subsaturación en la deriva litoral, causando erosión de las playas localizadas al norte de las estructuras (López 1997). Evidencias de ello pueden observarse en las localidades de Santa Teresita, Mar del Tuyú, La Lucila, Mar de Ajó y San Clemente del Tuyú,
- La excesiva cantidad de balnearios, sin criterios constructivos que se adapten a las características de estas costas, como por ejemplo la construcción de extensos paredones a lo largo de la línea de costa, provocan

fenómenos de reflexión de olas durante las tormentas y los períodos de mareas de sicigia, con un consecuente descenso del nivel de la playa.

- La apertura de calles perpendiculares a la línea de costa con pendiente al mar, producto del trazado urbano en cuadrícula, han generado flujos con alta capacidad de transporte durante los periodos de lluvia que erosionan los sedimentos de playa.

Los mecanismos de defensa y reconstrucción natural de la playa han sido inhibidos por las acciones antrópicas anteriormente mencionadas aumentando la pérdida de las arenas de playa y el retroceso de la línea de costa. Es así que a mediados de la década del 80, ante la demanda turística, se empiezan a evidenciar los procesos erosivos con la falta de espacios de recreación en playa y con los derrumbes parciales de edificaciones. Recién en 1993, como consecuencia de la sucesión de dos tormentas (sudestadas), se pone de manifiesto la gravedad de la situación ante la caída generalizada de edificaciones costeras y descenso de aproximadamente 1m de la playa.

3. DEFENSAS DE COSTA

Tetrápodos de Hormigón

Fue la primer obra de defensa ejecutada en el partido de La Costa, se realizó en la localidad de Santa Teresita entre la calle 32 y la 27, a principios de la década del 80. La erosión localizada en el mencionado sector fue producto de la subsaturación del flujo producido por la interrupción de la deriva litoral por el muelle de pesca. Sin tener el conocimiento de la causa que provocaba la

FIGURA 3. UBICACIÓN DE LOS TETRÁPODOS EN LA PLAYA



pérdida de los espacios de playa, se procedió a ejecutar una obra, constituida por la colocación de una hilera de tetrápodos de hormigón de 2 toneladas de peso promedio, conformando una línea paralela a la costa en el sector de playa distal (figura 3) o el pie de duna con el objeto de evitar así el retroceso de la línea de costa. Este tipo de obra es recomendada para defender la base de los

acantilados en donde la plataforma de abrasión le permite sustentabilidad a los tetrápodos. En la localidad de Santa Teresita, la ausencia de un substrato rocoso en las cercanías de la superficie, hizo que los tetrápodos al interactuar con el oleaje se hundieran sin alcanzar su finalidad como se observa en la figura 4.

FIGURA 4. HUNDIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS Y EVIDENCIAS DE EROSIÓN.



Espigón subsumergido

Los problemas se agravaron con el transcurso de los años. En 1987 se proyectó construir una batería de espigones desde la calle 23 a la 33, es así que en 1988 se construyó el primer espigón de este grupo (y único en el Municipio de La Costa, figura 5). El espigón se construyó en dirección perpendicular a la línea de costa con una longitud aproximada de 100 m y un ancho de 10 m. La altura del mismo no sobrepasó el metro de altura con respecto a la playa lindante con la excepción del sector del morro donde alcanzó 1.5m. Las rocas que lo componen son bloques de cuarcita tipo Mar del Plata con pesos que oscilaban entre 100 y 500 kg. Su localización es coincidente con la calle 27. La estructura se extiende sobre la playa distal y frontal, tiene como característica permanecer totalmente descubierto durante las bajamareas de sicigia y actúa interrumpiendo parcialmente la deriva litoral entre las pleamareas medias a máximas. Este tipo de espigones se los conoce con el nombre de semipermeable.

Esta obra fue monitoreada entre los años 1988 y 1991 (López y Marcomini, 1993) pudiéndose determinar que las condiciones de semipermeabilidad, disposición y tamaño del espigón provocan escasa acumulación debido a la limitada interrupción producida por el mismo en el

transporte de sedimentos por deriva litoral. Los rangos máximos de acumulación-erosión se registraron en períodos de tormenta y mareas equinociales de perigeo de sicigia, donde al disminuir el nivel de base de ola, la franja de transporte por deriva se desplaza hacia la playa distal incrementando la acción del espigón sobre el transporte de sedimentos. Los cambios parciales en la dirección de deriva, influyen notablemente en los depósitos de arena cercanos al espigón. Se registró una mayor acumulación en el sector sur, y se estimó que este espigón ejerció su influencia acreciva en una longitud de 300 m a lo largo de la playa. En líneas generales los depósitos generados por la estructura son de poca magnitud y baja estabilidad. Esta estructura incrementó la acumulación al sur y provocó erosión al norte. En las observaciones de campo posteriores al periodo citado, se evidenció el hundimiento de los bloques que componen la estructura y el retroceso de la línea de costa en dicho sector.

Gaviones de geotextil

En el año 1993 con posterioridad a las sudestadas de febrero y junio, se construyeron defensas con gaviones de geotextil rellenos de arena, superpuestos para alcanzar un perfil piramidal escalonado, con una base de suelo

FIGURA 5. ESPIGÓN SUBSUMERGIDO, SANTA TERESITA.



cemento. Se colocaron al pie de las edificaciones en riesgo de caída en las localidades de Mar del Tuyú, Las Toninas y Santa Teresita. Este tipo de defensa tiene un objetivo similar al de un paredón inclinado, el de disminuir la energía del oleaje durante los periodos de tormenta. Corresponde a la clase funcional de acorazamiento (López y Marcomini 2003), que consiste en proteger la línea de costa y el territorio que se encuentra por detrás. En su interacción con el medio provocó reflexión del oleaje durante la mareas extraordinarias y tormentas con un consecuente descenso

del nivel de la playa (figura 6). La base de suelo cemento rápidamente fue fracturada y desestabilizada por la acción de las olas y se produjo el socavamiento en los cierres laterales de las estructuras. La arena que rellena los gaviones, esta sometida a procesos de remoción en masa en el interior de los mismos generando fenómenos del reptaje, en el interior de las estructuras favoreciendo con el tiempo el vuelco de las mismas (figura 7). El geotextil utilizado presentó un rápido deterioro ante las condiciones meteorológicas imperantes y el trato inadecuado de los turistas.

FIGURA 6. REFLEXIÓN DE OLAS, GENERADA POR LOS GEOTEXTILES.



FIGURA 7. DETERIORO DE LAS ESTRUCTURAS DE GEOTEXTIL.

4. DISCUSIÓN.

Analizar el grado de efectividad de las obras de defensa implica conocer a fondo los objetivos de los proyectos que dieron lugar a cada uno y poder comparar las metas propuestas con las alcanzadas. La construcción de la primera obra, la colocación de tetrápodos, fue un emprendimiento municipal sin un análisis técnico-ambiental correspondiente por lo cual se interpreta, su intención de detener el retroceso de la costa y evitar la pérdida de los sedimentos continentales. Este objetivo, ni otro que se pudiera interpretar como beneficioso, fue alcanzado por la obra, por el contrario en la actualidad numerosas de estas estructuras se encuentran distribuidas anárquicamente representando un riesgo a accidentes cuando se encuentran cubiertas en casi su totalidad.

El segundo proyecto surge de una solicitud de la Municipalidad a la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires para defender el sector de costa comprendido entre la calle 23 y 33 de Santa Teresita, la sugerencia fue una batería de espigones de los cuales se construyó uno solo, fundamentalmente por la falta de presupuesto. Posteriormente se constató la baja efectividad en la misión de defender la costa ante los eventos de tormentas, situación que desalentó que se promovieran gestiones para continuar la ejecución de los restantes. También es importante destacar que no se determinó el origen principal de la erosión en el sector a remediar, que es el efecto de interrupción de la deriva litoral por el muelle pesca, por lo cual la subsaturación también afectó la capacidad de acumulación del espigón y la causa persistió. La escasa cantidad de arena retenida por el espigón, no permitió un crecimiento vertical de la playa suficiente para mitigar el retroceso de la línea de costa y la onda erosiva se extendió al norte de la estructura. Económicamente es importante conocer

previamente el condicionamiento geológico de ubicarse en el centro de la Cuenca del Salado, que implica la falta de afloramientos rocosos que permitan proveer de bloques apropiados para la construcción de los espigones, por lo tanto las rocas tienen que ser transportados de canteras que se encuentran a casi 200 km de distancia, aumentando los costos de los materiales en aproximadamente un 100%.

La obra que se realizó con posterioridad a las tormentas de febrero y junio de 1993 fue diseñada por profesionales de la dirección de Hidráulica de la Pcia. de Buenos Aires, tuvo como objetivo dar protección a las edificaciones costeras con riesgo de colapso, en forma inmediata. Estas obras fueron realizadas a particulares en forma individual, o sea defendiendo cada propiedad que aceptaba el emprendimiento y los costos. Con la excepción del sector de costa entre las calles 68 y 69 de Mar del Tuyú y 8 y 6 de Las Toninas en donde la colocación del geotextil se realizó en toda la cuadra por cuenta de la Municipalidad, en el proyecto los gaviones de geotextil estaban cubiertos de arena, situación que en la práctica nunca se realizó. Rápidamente se pudo constatar el descenso de los niveles de playa en las cercanías de la estructura (Figura 8), que llevó al socavamiento y a la caída de las mismas. La obra solo dió una protección parcial en un corto periodo de tiempo (2 años). La causa de la erosión en la localidad de Mar del Tuyú está relacionado con el efecto del muelle de dicha localidad, la depredación de la duna costera y la acción de los excedentes pluviales que terminan en la playa. Ninguna de las causas de erosión fue tratada para mitigar su incidencia sobre las playas.

Las obras ejecutadas no contaron con un plan de seguimiento y mantenimiento, que permitiera mejorar su eficiencia y evitar su deterioro. Desde el punto de vista ambiental ninguna de las tres obras ejecutadas permitió

la preservación natural del paisaje, muy por el contrario en todos los casos repercutió en un impacto visual negativo asociado a la característica artificial o alóctona de sus componentes. En las inmediaciones del espigón el cambio de las condiciones del sustrato, rocas por arena, permitió la colonización de especies alóctonas en los

bloques que componen la estructura lo que implica un cambio en la ecología local. Otro aspecto afectado por las obras es el cambio en los usos que da el turismo a los sectores de playa cercanos a las estructuras (Marcomini y López, 1993).

FIGURA 8. DESCENSO DEL NIVEL DE PLAYA AL FRENTE DE LOS GAVIONES DE GEOTEXTIL, DESAPARICIÓN DE LA PLAYA DISTAL, SE OBSERVA LA FALTA DE ARENA CUBRIENDO LAS ESTRUCTURAS. MAR DEL TUYÚ.



5. CONCLUSIONES.

En la actualidad existe una falta de legislación de aplicación práctica (no solamente enunciativa), para delimitar la línea de costa o de ribera, como así también para la zonificación de los usos de la zona costera en base a sus posibilidades y limitaciones particulares y generales. Esta es una condición básica para minimizar los conflictos de intereses de actuales y de futuros emprendimientos urbanos en el litoral costero bonaerense.

La evaluación de la ejecución de obras duras en la defensa de costas de dunas del Partido de La Costa, evidencia una baja efectividad en cumplir los objetivos propuestos, sumado a un importante impacto ambiental en sectores aledaños.

La falta de conocimiento de las variables que regulan la dinámica costera y las características del medio físico,

son las causas principales de la inadecuada elección y diseño de las obras.

Evaluar los costos de obra y mantenimiento en función de los bienes que se defienden es indispensable para promover un proyecto. Al igual que el impacto ambiental en función del beneficio socioeconómico y la posibilidad de su mitigación.

La aplicación de un plan de manejo costero que actúe sobre las acciones antrópicas que provocan la pérdida de las arenas de playa es la principal medida a impulsar para mitigar los procesos erosivos, dando continuidad temporal a los trabajos y gestionar los recursos económicos necesarios para su mantenimiento.

6. AGRADECIMIENTOS.

El presente trabajo se realizó en el marco del Subsidio UBACYT: X83.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

LOPEZ, R. A. 1993. Dinámica costanera e impacto ambiental generado por la urbanización en el Municipio de La Costa. Pcia de Buenos Aires. U.B.A. inedito. 263 p.

LÓPEZ, R. A. 1995. Efectos erosivo acrecidos producidos por los muelles de pesca en el Municipio de La Costa. VI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Mar del Plata, Rés. 447.

LÓPEZ R. A. y S. C. MARCOMINI. 1993. Variaciones morfodinámicas costaneras provocadas por el espigón No 1 de Santa Teresita, pcia. de Buenos Aires. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, volumen VII.153-163.

LÓPEZ R. A. y S. C. MARCOMINI. 2002. Pautas para el manejo costero en costas de dunas y acantilados, Provincia de Buenos Aires. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. 18: 59-68

MARCOMINI, S. C. y R. A. LÓPEZ. 1993. Coastal protection effects at Buenos Aires, Argentina. COASTAL ZONE 93. The Eighth Symposium on Coastal And Ocean Management. Tomo III, 2724-2738. New Orleans, USA.

MARCOMINI, S. C. y R. A. LOPEZ, 1997. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, República Argentina.. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología., 4(2):79-96

MAZZONI, M.M. y L.A SPALLETI. 1978. Evaluación de procesos de transporte de arenas litorales bonaerenses através de análisis texturales y mineralógicos. Actas Oceanografía Argentina II(1):51-67.

POPE, J., 1997. Responding to Coastal Erosion and flooding damage. Journal of Coastal Research, 13(3), 704-710.

SERVICIO DE HIDROGRAFÍA NAVAL, 1998. Tablas de marea, carta H-610. 553p

INDICE

<i>Trabajo</i>	<i>Autor/es</i>	<i>Pág</i>
Editorial.		A-3
Instrucciones para autores.		A-4
Dique en Permafrost Antártico con termosifones de convección líquida (Lago Boeckella, Bahía Esperanza).	<i>Ermolin, Evgeniy</i>	1
Neotectónica, desvío de grandes ríos y cambios ambientales en la llanura Chacoparanaense.	<i>Mon, Ricardo Gutiérrez, Adolfo A. Roldán, Antonio A.</i>	17
Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y cambio climático en la costa Argentina.	<i>Codignotto, Jorge Osvaldo</i>	25
Estimación de escurrimientos en cuencas pequeñas. Cuenca inferior del Río Carcarañá. Pcia. de Santa Fé.	<i>Fresina, M. E..</i>	29
Evaluación del deterioro potencial de rocas ornamentales.	<i>Karlsson, Alicia - Ayala, Rosa Mansilla, Lylían Paredes, Raúl</i>	51
Protección de las márgenes del Río Grande en Tierra del Fuego.	<i>Francisca, Franco M. - Giovine, Luis Rodríguez, Andrés - Moya, Gonzalo Hillman, Gerardo - Pagot, Mariana Corral, Mariano</i>	59
Geotecnia y Geología de la Represa Huasa Pampa Norte Dto. La Cocha - Pcia. de Tucumán.	<i>Suayter, Luis</i>	71
La importancia del punto de partida en las evaluaciones de impacto ambiental: El caso de las explotaciones de canto rodado y suelo calcáreo de la costa del Río Uruguay entre los paralelos 32 y 33 grados de latitud sur.	<i>Muñoz, Luis</i>	75
La importancia del efecto de escala en la resistencia de rocas como materiales de construcción escollera sur del Puerto de Quequén. Pcia. Bs. As.	<i>Di Salvo, Carlos Alberto</i>	91
Túneles colectores pluviales en Buenos Aires. Caso de Obra	<i>Sarra Pistone, Raúl</i>	103
Uso de la Neosismicidad frente a la Neotectónica.	<i>Suayter, Luis - Toscano, Victoria G. Fernández, Rubén I.</i>	111
Impacto de la erosión fluvial en los Puentes Carretero y Ferroviario del Río Romano, Dto. Monteros Pcia. de Tucumán.	<i>Suayter, Luis Benítez de Parra, Lidia</i>	121
Propuesta de actualización de normas antisísmicas, microzonificación y riesgo sísmico en la Pcia. de Tucumán.	<i>Suayter, Luis Benítez de Parra, Lidia Torres de Plaza, Marta</i>	127
Diagnóstico geológico - geotécnico de los procesos de inestabilidad que afectan al barrio "El Marquesado" de la ciudad de Comodoro Rivadavia. Chubut. Argentina.	<i>Hirtz, Néstor</i>	133
Evaluación de la calidad ambiental de suelos contaminados con plomo, Buenos Aires, Argentina.	<i>Silva Busso, A. - Vives, H. F. Petelin, K. - Ramirez, L. O. - Vives, A.</i>	147
Obras de defensa en costas de dunas de la Provincia de Buenos Aires	<i>López, R. A. Marcomini, S.C.</i>	157

La Revista de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente - ASAGAI - (SIN 0326-1921) es publicada anualmente por la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería, con sede en Maipú 645, 1º piso, C1006ACG Buenos Aires, Argentina. Tel: 54-11-4782-1279. E-mail: asagai@asagai.org.ar / bea@inti.gov.ar. Las opiniones vertidas en esta publicación son responsabilidad de los autores y no reflejan posiciones oficiales de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería.



EN MEMORIA

Dr. Horacio Víctor Rimoldi (1925 – 2005)



Conoci a Horacio Rimoldi hace ya muchos años a orillas de nuestro río Santa Cruz, sí, allí donde Darwin describió su perfil de Condor Cliff y donde nuestro gran compatriota, el Perito Moreno, buscando las fuentes de ese coloso, ese torrente color agua marina, helado y hermoso, ya casi había destartado su pequeño bote que le permitía avanzar penosamente aguas arriba.

A partir de ese momento nos unió una larga y fructífera relación. Horacio fue un titán. Aunque aquejado desde muy joven de múltiples dolencias físicas, siempre mantuvo su fuerza interior, su constancia y perseverancia. Fue el mentor y gestor por más de treinta años de su querida ASAGI

Mucho le debe a Horacio Rimoldi nuestra profesión, en especial para aquellos que creemos que estamos al servicio de una sociedad que reclama constantemente nuestra presencia y que no nos limitamos a intervenir en los cenáculos académicos.

Prácticamente no hay proyecto de ingeniería en que Horacio no haya intervenido: su querido Salto Grande, los puentes que atraviesan el Paraná, Futaleufú, los proyectos del Río Santa Cruz, obras portuarias y urbanas. En aquellos heroicos tiempos de los años 50 y 60: en los proyectos cordilleranos de San Juan y Mendoza. Hace muy poco tiempo editó la Carta Geológico Geotécnica de la Ciudad de Buenos Aires, utilizando sus propios archivos. En las décadas de los 80 y 90, en la carrera de Geología de la UBA, fue profesor de Geología Aplicada.

Rimoldi fue un profesional completo: consultor, empresario, profesor universitario, contratista de obras, presidente de asociaciones profesionales, premiado en varias oportunidades, sobre todo fue un geólogo, con todo lo que esto implica. La geología era su pasión...uno podía conversar de cualquier tema, pero al corto rato la profesión, la geología estaba presente: “sabe que fulano está trabajando en tal proyecto” o “sabe que la Formación tal o cual ya no es más Jurásica, ahora....”

Bajo su idea y su esfuerzo se realizó en 1986 el primer congreso internacional vinculado a las Ciencias de la Tierra que se haya realizado en Argentina. Después de París, San Pablo, Madrid y Nueva Delhi, Buenos Aires recibió a más de 400 delegados en el Vº Congreso Internacional de IAEG. En aquella oportunidad me tocó secundarlo como Secretario General en la organización de ese evento y conocí su temperamento sus desvelos y sus aciertos, pero sobre todo conocí al hombre.

Habiéndose graduado en La Plata, su tarea profesional comenzó en aquella gran escuela de tecnología argentina y a la que yo también tuve el orgullo de pertenecer, que fue Agua y Energía Eléctrica. Siguió su trayectoria en la Rodio, empresa dedicada a perforaciones y tratamiento de fundaciones y posteriormente, junto a su amigo, el ingeniero Di Girólamo, fundó Tecnoconsult, allí desarrolló su próspera carrera por muchos años; en su oficina de la Diagonal Norte, casi Libertad y bajo sus conceptos fundamos la ASAGAI.

Muchos y emocionados son los recuerdos que vienen en estos momentos a mi entristecido espíritu. Sin dudas los preparativos del Vº Congreso Internacional son los más poderosos. Aquellas reuniones, el temario, los coordinadores de sesiones, ¿lo podremos llevar a cabo, nos preguntábamos?

Nos vamos junto a María Teresa, su esposa, compañera infatigable y eficiente secretaria, en 1983 a Lisboa, a presentar el temario; luego en 1986 a Bari, a presentar las sesiones y los últimos preparativos.

Pese a todo la organización iba bastante bien, pero la prueba de fuego estaba por comenzar: el congreso en Buenos Aires, entre el 20 y el 25 de octubre de aquel ya lejano año 1986. Se inaugura, Horacio con un marcapasos, yo en la secretaria recibiendo a griegos, búlgaros, al profesor Buachidze de la actual Georgia a la ya muy numerosa delegación china. El profesor Langer, presidente de la asociación internacional, me reprocha que alterara el temario, ¡Era un carrusel! Finalmente el profesor Arnould, amigable “ancien président” me felicita, nos felicita, el congreso termina, qué alivio!... lo logramos....

Vinieron luego los sombríos años noventa, momento del gran “parate” para los proyectos de infraestructura. Las empresas del Estado se disuelven día tras día bajo la complacencia de la sociedad; en ASAGAI pasamos de más de trescientos socios a unos noventa, pero Horacio persiste, se edita la revista periódica año tras año, todo bajo su tesón inquebrantable.

Se nos ha ido un gran geólogo, una gran persona, lo vamos a extrañar mucho Horacio, yo personalmente... Ya no recibiremos su consejo: “Carlos yo haría tal cosa o lo haría de tal forma...” Si, lo voy a extrañar, lo vamos a extrañar Horacio; aunque haya cumplido un ciclo lógico e irreprochable, lo vamos a extrañar...

El año próximo pensábamos celebrar los 20 años de aquél Vº Congreso, en nuestro IXº Simposio Nacional, pero no será lo mismo sin él,...no será igual. De donde sacaremos las ganas, las fuerzas... No pudimos darle el gran homenaje que merecía y que yo personalmente quería que tuviera. La muerte como muchas veces ocurre, se adelantó. No llegó a saber que había sido nombrado miembro pionero de la Asociación Geológica Argentina.

Hace poco más de un mes, todavía viajó en lo que sería su última campaña, a encontrarse con su querida Patagonia, esta vez junto al inmenso mar; en la bahía de Camarones en el Chubut. Ese mar, ese coraje, rememoran en mi mente y mi corazón las palabras del canto primero del pequeño y grandioso Corsario que inmortalizara la exquisita pluma de Lord Byron: “La muerte no nos aterrera (...) ¡este es el momento para los valientes!, y Horacio, doy testimonio, lo fue.

Carlos Alberto Di Salvo
Octubre de 2005

A los fines de la impresión del presente volumen se ha recibido
apoyo económico de las siguientes empresas y asociados:

EMPRESA MINERA TEA

Lic. JORGE WEXLER

DYCASA - DRAGADOS OBRAS Y PROYECTOS - UTE

Copyright 2005 by Editorial ASAGAI
Maipú 645 - 1er piso - 1006 Buenos Aires
Printed in Argentina

PRODUCCION GRÁFICA Y EDITORIAL
Imprenta Sagitauro
Mitre 947 - Capital Federal
(11) 4393-3182
mitre947@fibertel.com.ar

Se terminó de imprimir en Marzo de 2006
en Imprenta Sagitauro
Capital Federal - Buenos Aires
Argentina