

# INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Elaboração das cartas de uso e ocupação do solo e sua utilização na cartografia geotécnica	<i>de Almeida, Maria Cristina Jacinto - Luz de Freitas, Carlos Geraldo - de Azevedo Dantas Marins, Ana Maria</i>	1
Clasificación multispectral supervisada de la cuenca del Río Medinas Provincia de Tucumán. Argentina	<i>Arcuri, Claudia B.</i>	5
Enseñanza basada en problemas y juegos operacionales en el aprendizaje de la geología ingenieril	<i>Caló, Jorge E.</i>	13
Alteraciones sufridas por los agregados utilizados en hormigones sometidos a temperaturas de incendio	<i>Charreau, Geraldine - Luna, Fabio</i>	20
Estabilización de suelos con tanino	<i>Di Rado, Héctor R. - Fabre, Viviana E. - Miño, Federico D.</i>	28
Problemáticas ambientales del sistema periurbano de la ciudad de Punta Alta Suroeste Bonaerense	<i>Espejo, Natalia - Solís, Graciela</i>	37
Análisis de la vulnerabilidad del acuífero aluvial del Valle de Tulum a la contaminación por agentes de origen antrópico Correlación con la evolución temporal de parámetros químicos	<i>Fiore, Juan Manuel - Castro, Adolfo - Medici, María E. - Gimenez, Myriam - Suero, Eduardo - Gonzalez Ranea, Hugo - Turcuman, María Hortencia</i>	47
Pautas para el manejo en costas acantiladas y de dunas Provincia de Buenos Aires	<i>López, Rubén Alvaro - Marcomini, Silvia Cristina</i>	59
Recuperación de canteras de bloques para roca ornamental: rediseño de explotación ajustado al estilo de fracturación	<i>Nestiero, Osvaldo E.</i>	69
Estudio geoambiental del Sector Noreste del Partido de Ensenada Provincia de Buenos Aires	<i>Pittori, Carlos Alejandro</i>	79
Predicción de la colapsibilidad de los suelos de la ciudad de Córdoba	<i>Rocca, Ricardo José - Goio, M. Gabriela</i>	87
Aportes de la cartografía temática al desarrollo sustentable en áreas ambientalmente frágiles del suroeste bonaerense	<i>Rosell, Patricia - Del Pozo, Olga - Zinger, Alicia S.</i>	96
Deslizamiento rotacional en el cerro Inti Huasi Departamento Pringles, provincia de San Luis	<i>Sales, Daniel - Origlia, Daniel - Yenes Ortega, Mariano - Gardini, Carlos</i>	106
Carta de ocupación de la tierra y zonificación preliminar de la porción inferior de la cuenca del arroyo Pozanjón del Norte Cerro Colorado, Córdoba	<i>Schwindt, G. - Argüello, L.</i>	113
Polvo de acería Su incorporación en matrices cementicias	<i>Señas, L. - Maiza, P. - Marfil, S. - Valea, J.</i>	122
Evaluación preliminar de la inundación (crecida) repentina del 13 de abril de 2001 en la localidad de El Trapiche San Luis, Argentina	<i>Tognelli, Gabriel - Morosini, Augusto - López, Fabio - Vega, Eduardo</i>	130

# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



Publicación Oficial de la

ASOCIACION ARGENTINA  
DE GEOLOGIA APLICADA  
A LA INGENIERIA



# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



Publicación Oficial de la

ASOCIACION ARGENTINA  
DE GEOLOGIA APLICADA  
A LA INGENIERIA

Número 18 ■ 2002

ISSN 0326-1921



0326-1921

## COMISIÓN DIRECTIVA

PRESIDENTE	<i>Dr. Horacio V. Rimoldi</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Geól. Juan Carlos Bertolini</i>
SECRETARIO	<i>Geól. Norberto Jorge Bejerman</i>
PROSECRETARIO	<i>Lic. Jorge Eduardo Caló</i>
TESORERO	<i>Dr. Armando Massabie</i>
PROTESORERO	<i>Lic. Ricardo Dubois</i>
VOCAL TITULAR	<i>Lic. María Alejandra González</i>
VOCAL TITULAR	<i>Lic. Roberto Kokot</i>
VOCAL TITULAR	<i>Lic. Rubén O. Cuesta</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Lic. Augusto Adur</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Lic. Martín Guichón</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Dr. Ángel Marcos</i>
REVISORES DE CUENTAS	<i>Dr. Jorge J.C. Colombo</i> <i>Dr. Carlos Gentili</i> <i>Ing. José Luis Guerrero</i>

## COMITÉ EDITORIAL

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

## DELEGADOS REGIONALES (2001-2003)

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



## EDITORIAL

*Un nuevo año ha transcurrido, plétórico de reuniones técnicas y de hechos auspiciosos para nuestra Institución, pese a las dificultades económicas que enmarcaron la vida institucional.*

*Cabe señalar, en primer término, la elección de nuestro Secretario como Vicepresidente para América del Sur de la IAEG durante el período 2003-2006. Además, el Presidente de la Asociación fue honrado con el nombramiento de Miembro Honorario de la International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), en forma conjunta con el eximio Dr. Morfeldt, de Suecia.*

*Durante el año en curso, se realizaron diversos encuentros técnico-científicos tales como el "Cuarto Encuentro Nacional de Unidades Ambientales y de Seguridad del Sector Vial" y la "Reunión Nacional sobre Gestión Ambiental de Residuos Sólidos", resultando, en ambos casos, de gran provecho para la comunidad. Además, en forma conjunta con la International Union of Geological Sciences (IUGS); la Geological Society of America; Newkirk, Engler & May - The foundation for relevant science; el Instituto Argentino de Normalización (IRAM); la Agencia*

*Córdoba Ambiente S.E.; la Agencia Córdoba Cultura y la Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba se desarrolló de inmejorable modo el "Taller sobre Geoindicadores y Aplicación en Campo".*

*Cabe señalar que se está promoviendo para octubre de 2004 una reunión conjunta entre nuestra Asociación, la Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica (SAIG) y el Comité Argentino de Presas (CAP), hecho esto sumamente auspicioso por la vinculación intersocietaria y que representará, seguramente, un hito en la vida de las tres entidades.*

*Como se desprende de lo expuesto, y con el fin de poder poner a nuestra Asociación en el constante accionar y que la misma figure en forma permanente en el diario quehacer de la Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, hemos realizado un notable esfuerzo para poder cubrir esta etapa de la vida institucional tan negativa para el desarrollo de la Ciencia.*

*Esperamos que los asociados, consustanciados con la labor realizada al cabo de tantos años, sigan contribuyendo a la vida institucional de modo tal que el futuro nos permita seguir sintiéndonos orgullosos de la Asociación.*

*El Director*

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

# INSTRUCCIONES PARA AUTORES

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

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

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



## Elaboração das cartas de uso e ocupação do solo e sua utilização na cartografia geotécnica

de Almeida, Maria Cristina Jacinto<sup>1</sup> - Luz de Freitas, Carlos Geraldo<sup>2</sup> - de Azevedo Dantas Marins, Ana Maria<sup>3</sup>

### Resumo

*A elaboração das cartas de uso e ocupação do solo, no Laboratório de Cartografia Geotécnica do IPT, visa sua aplicação no âmbito das cartas geotécnicas, como aquelas voltadas ao planejamento e gestão territorial, ou as de suscetibilidade a processos específicos do meio físico, em especial as cartas de erosão.*

*Considera-se que toda atividade humana, nas suas mais variadas formas de uso e ocupação do solo, são modificadoras do meio ambiente, alterando seus processos, que são participantes da dinâmica da paisagem e da evolução do ambiente. O desencadeamento ou intensificação dos processos do meio físico decorrentes dessas intervenções se traduzem em impactos sobre a vegetação, água, solo, relevo, clima. Assim, a caracterização e categorização do uso e ocupação do solo nas cartas geotécnicas possibilitam a previsão do comportamento dos terrenos, considerando suas condições naturais e as diferentes solicitações de uso.*

### Resumen

*La elaboración de cartas de uso y ocupación del suelo, en el Laboratorio de Cartografía Geotécnica del IPT, tiene por objetivo su aplicación en el ámbito de las cartas geotécnicas, como en la planificación y ordenación del territorio, o en la susceptibilidad a procesos específicos del medio físico, especialmente en las cartas de erosión.*

*Se considera que toda actividad humana, en sus diversas formas de uso y ocupación del suelo, modifica el medio ambiente, alterando los procesos, que participan de la dinámica del paisaje y de la evolución del ambiente. El desencadenamiento o intensificación de los procesos del medio físico, resultantes de estas intervenciones, se traducen en impactos sobre la vegetación, el agua, el suelo, el relieve y el clima.*

*La caracterización y clasificación del uso y ocupación del suelo, en las cartas geotécnicas, posibilitan la previsión del comportamiento de los terrenos, considerando sus condiciones naturales y las diferentes solicitudes de uso.*

### 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a metodologia utilizada no Laboratório de Cartografia Geotécnica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, para elaboração das cartas de uso e ocupação do solo, com a finalidade de subsidiar

as cartas geotécnicas. Seu aprimoramento se deu na aplicação em inúmeros projetos desenvolvidos para municípios, bacias hidrográficas, unidades de conservação ambiental, região metropolitana e o estado, com diferentes escalas de trabalho, bem como contextos e problemáticas diversos.

Um enfoque relevante na elaboração dessas cartas é dado ao uso urbano e industrial, cujas categorias constituem as que trazem alterações mais intensas e significativas ao meio físico.

As cartas de uso e ocupação do solo são aplicadas às diferentes cartas geotécnicas, tais como as de planejamento e gestão, de suscetibilidade a processos e as de capacidade de uso das terras, bem como a projetos específicos de parques ecoturísticos.

Entregado: 22 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 07 de Setiembre de 2001

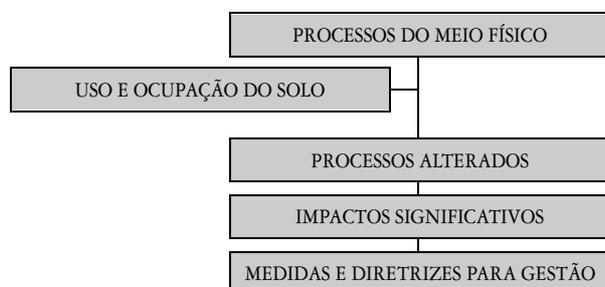
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, Brasil

e-mail: 1. crisicg@ipt.br  
2. cege@ipt.br  
3. anamad@ipt.br

## 2. METODOLOGIA

A caracterização do uso e ocupação do solo tem como base as alterações impostas ao meio físico e os problemas decorrentes, para que sejam indicadas as diretrizes e medidas que necessitam ser consideradas nas inúmeras formas de ocupação do solo (Figura 1).

**FIGURA 1: ROTEIRO METODOLÓGICO** (Almeida, 2000).



No âmbito das cartas geotécnicas (planejamento e gestão territorial, riscos e suscetibilidade a determinado processo, cartas de capacidade de uso das terras, entre outras), o uso e ocupação do solo deve permitir o entendimento do comportamento dos terrenos considerando suas características naturais e as solicitações impostas pelos diferentes tipos de uso do solo. Assim, as categorias de uso são definidas em relação a um conjunto de alterações no meio físico que possam resultar no desenvolvimento de problemas semelhantes.

Conforme a unidade de análise e a finalidade dos estudos, são definidas as escalas de trabalho e apresentação dos produtos, que variam de 1:10.000 e 1:25.000 para os municípios, e entre 1:50.000 e 1:250.000 para os trabalhos regionais, como os estudos de bacias hidrográficas.

Parte-se de um reconhecimento preliminar de campo, onde são identificados os problemas existentes ou potenciais relacionados à ocupação, para em seguida estabelecer-se as categorias de uso. Posteriormente, são levantados e definidos os materiais básicos, tais como: bibliografia, mapas planialtimétricos, fotografias aéreas e imagens de satélites, sobre os quais são delimitadas as classes previamente definidas, elaborando-se, assim, um mapa preliminar.

Em seguida, procede-se a uma verificação de campo, a partir do mapa preliminar e fichas de cadastro, no caso das áreas urbanas, visando checar as informações, ou atualizá-las, quando o material básico não foi obtido no mesmo período da realização dos trabalhos.

Feita essa verificação e atualizadas as informações, são gerados os produtos finais utilizando-se as ferramentas da cartografia digital e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Esses produtos finais correspondem a um mapa ou carta, onde são apresentadas as categorias de uso, a legenda e documentação fotográfica representativa das diferentes categorias estabelecidas. No caso das áreas urbanas e na utilização de SIG, os resultados são apresentados em dados alfanuméricos associados aos dados espaciais, com as respectivas fichas de cadastro correspondentes às unidades de análises (bairros, microbacias etc.).

## 3. APLICAÇÕES

Os mapas ou cartas de uso e ocupação do solo, no contexto desse trabalho, têm sua aplicação voltada basicamente às cartas geotécnicas, como de planejamento e gestão territorial e as de suscetibilidade a erosão, dentre outras. A carta geotécnica, de acordo com Freitas (2000), resulta da necessidade de caracterização

dos terrenos, comprometida com uma intervenção ou solução para o uso e ocupação do solo. Considera os atributos ou parâmetros de seus componentes físicos, os quais induzem ou condicionam o desenvolvimento de processos e fenômenos responsáveis pela dinâmica da crosta terrestre. Tem como base essencialmente dados do meio físico, mas pode inserir aspectos de interesse do meio biológico, econômico e social, desde que sejam importantes para os processos interativos das solicitações do homem no meio.

Freitas (*op. cit.*) considera as cartas geotécnicas de planejamento e gestão territorial como aquelas que apresentam elementos do meio físico e do modo de ocupação do solo, visando o estabelecimento de metas e ações de desenvolvimento do território e para sua implementação e seu monitoramento, possibilitando ao planejador adotar intervenções num cenário de desenvolvimento viável.

Um exemplo de classificação de uso e ocupação do solo utilizada para esse contexto, pode ser observado no Quadro 1.

No âmbito dessas cartas geotécnicas, as informações de uso e ocupação do solo associadas às do meio físico fornecem subsídios para diretrizes e recomendações gerais para ocupação, a partir da interação dos processos existentes com sua alteração pela ação antrópica do uso ou mesmo potencializando a ocorrência de novos processos até então inexistentes.

Quanto às cartas de suscetibilidade à erosão, apresentam a suscetibilidade do terreno tendo como base o entendimento dos mecanismos que deflagram esse processo, a partir dos quais devem ser adotadas as medidas preventivas ou corretivas de seu desenvolvimento (Freitas, *op. cit.*).

No contexto das cartas de suscetibilidade à erosão, a sua integração com o uso e ocupação do solo se traduz em subsídios, tanto para determinar a intensificação do processo erosivo, como para analisar situações de risco, que resultam na identificação dos danos socioeconômicos decorrentes de impactos ambientais.

Entre outras aplicações das cartas de uso e ocupação do solo tem-se aquelas elaboradas no âmbito das cartas de capacidade de uso das terras, voltadas à área rural. Nelas, as terras são classificadas quanto ao seu potencial natural de uso, levando-se em conta a maior ou menor prática conservacionista (como controle de erosão e melhoramento do solo). As categorias de uso são agrupadas e definidas quanto ao porte da vegetação, tipos de cultura e pastagens, além dos usos antrópicos e espelhos d'água.

As cartas de uso e ocupação do solo também são utilizadas para subsidiar projetos de parques ecoturísticos, que têm se mostrado como alternativas de desenvolvimento socioeconômico de uma determinada região, com vistas à valorização de suas paisagens em concordância com os aspectos ambientais.

A cada tipo de aplicação diferenciam-se as categorias de uso e ocupação do solo a ser delimitadas e/ou o tratamento que deve ser dado às categorias consideradas.

## 4. CONCLUSÃO

É usual a elaboração de cartas de uso e ocupação do solo de forma sistemática, sem considerar o tipo de aplicação que solicitou esse produto. Como resultado, os dados apresentados ficam prejudicados, muitas vezes faltando informações e/ou contendo informações desnecessárias.

Essa situação reflete a falta de interação de diferentes áreas do conhecimento em trabalhos multidisciplinares. Em consequência, além do trabalho final resultar em produtos menos eficientes, também dificulta o avanço da interdisciplinaridade, tão decantada mas nem sempre efetivada satisfatoriamente.

**QUADRO 1: CATEGORIAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E PROCESSOS DO MEIO FÍSICO**

Categorias de uso	Processos do meio físico
Cobertura vegetal natural	A retirada da cobertura vegetal pode levar à ocorrência de processos de erosão e escorregamentos, especialmente nas porções mais elevadas e nas margens de represas e rios; perda da fertilidade do solo; assoreamento das drenagens.
Reflorestamento	Suscetibilidade à erosão devido ao manejo do solo e quando a vegetação é de porte pequeno.
Campo antrópico/pastagens	Quando em relevo mais movimentado e em casos de exposição do solo, podem ocorrer processos erosivos. Quando são áreas ocupadas por alta densidade de animais, pode ocasionar erosão formada pelo pisoteio.
Atividades agrícolas	Possibilidade de ocasionar ou agravar processos erosivos quando há exposição dos solos, e em situações com concentração do escoamento superficial, ocorrendo, conseqüentemente, assoreamento dos cursos d'água. Além disso, o manejo inadequado do solo e o uso intensivo de fertilizantes e pesticidas podem gerar poluição dos recursos hídricos, perda de fertilidade do solo, e esgotamento do solo por determinadas culturas.
Área urbana consolidada	Área com pouca exposição do solo, dotada de infra-estrutura. A impermeabilização favorece maior escoamento superficial, e conseqüentemente, a concentração das águas, estrangulando alguns sistemas de drenagem, intensificando as inundações e os alagamentos.
Área urbana em consolidação	Quando da implantação de loteamentos há exposição de solos à erosão; implantação parcial de infra-estrutura (drenagem e pavimentação); concentração e lançamento de águas de chuva e servidas - processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e boçorocas); assoreamento das drenagens por resíduos urbanos (lixo, entulho, etc.); inundações e problemas de saneamento.
Área urbana parcelada	Problemas semelhantes aos anteriores, porém de maior grau de intensidade.
Favelas	Nas áreas de morros, o lançamento de lixo e de águas servidas causa instabilidade nas encostas, com possibilidade de ocorrerem escorregamentos; nas baixadas, poluição dos córregos com lixo e lançamento lançamento xassoreamento e inundação.
Atividades minerárias	Estas atividades podem provocar devastação tanto local como em áreas adjacentes, expondo os solos a processos erosivos; assoreamento dos cursos d'água; poluição química das águas pelos materiais em suspensão, poluição atmosférica (gases, pó-secagem), sonora (desmonte-ruídos, explosivos), e dos solos (disposição de rejeitos); rebaixamento do lençol freático; utilização de cavas antigas para deposição de lixo; e condições sanitárias inadequadas.
Atividades industriais	Quando da implantação, expõem extensas áreas à erosão; durante seu funcionamento, de acordo com o tipo e intensidade da atividade, pode favorecer a poluição do solo, hídrica e atmosférica.
Disposição de resíduos	Os problemas/processos resultantes estão relacionados à falta de critérios técnicos na sua instalação e funcionamento, podendo ocasionar problemas sanitários, degradação do solo e das águas, erosão e escorregamento.
Gasodutos/oleodutos	Quando da execução da obra em terrenos de relevo mais movimentado, podem induzir à ocorrência de escorregamentos e erosão. Quando do funcionamento, apresentam riscos de explosão.
Estradas	Desmatamentos para sua implantação, com desencadeamento de movimentos de massa. A concentração e o lançamento inadequado das águas superficiais de drenagem de rodovias podem intensificar estes processos erosivos (boçorocas, corridas de lama).

## 5. TRABALHOS CITADOS NO TEXTO

ALMEIDA, M. C. J. DE. 2000.

A abordagem do uso do solo nas alterações de processos do meio físico.

*Exame de Qualificação de Mestrado apresentado ao Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.*

ALMEIDA, M. C. J., FREITAS, C. G. L. 1996.

O uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes.

*In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2, 1996. São Carlos. Anais... São Carlos: ABGE, 1996. p. 195-200.*

FREITAS, C. G. L. DE. 2000.

Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica.

*São Paulo, 238p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.*

FREITAS, C. G. L. DE, ALMEIDA, M. C. J. DE. 1997.

Controle preventivo da degradação do ambiente urbano.

*Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso. (Apostila do Curso de especialização: meio físico em estudos de impacto ambiental).*

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1994.

Carta geotécnica do Estado de São Paulo; escala 1:500.000.

*São Paulo. 2v. (IPT. Publicação 2.089).*

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1998.

Carta geotécnica de Mogi Mirim, SP.

*São Paulo: IPT. (Relatório Técnico, 38 555).*

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1999.

Diagnóstico ambiental - identificação de áreas degradadas em função dos diferentes usos do solo na Área de Proteção Ambiental - APA Várzea do Rio Tietê. Carta Geotécnica e Carta de Uso e Ocupação do Solo.

*São Paulo: IPT. (Relatório Técnico, 40 920).*

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1993.

Erosão e assoreamento nas bacias dos rios Tietê e Pinheiros na Região Metropolitana de São Paulo: diagnóstico e diretrizes para solução integrada do problema.

*São Paulo: IPT. 4v. (Relatório Técnico, 30 796).*



# Clasificación multiespectral supervisada de la cuenca del Río Medinas

## Provincia de Tucumán. Argentina

Arcuri, Claudia B.

### Resumen

*El objetivo de este trabajo es obtener el mapa de clasificación multiespectral supervisada de la cuenca del río Medinas. Así como otros productos del procesamiento digital de imágenes satelitales, que son útiles para mapear los tipos de cobertura.*

*Se entiende aquí por 'cobertura' (cover en inglés) a los diferentes materiales que se identifican en la imagen satelital y son tratados en el análisis. Por ejemplo, la cobertura vegetal, la cobertura agua, la cobertura nieve, etc. Esto está establecido así en el procesamiento digital de imágenes satelitales.*

*Todas las técnicas aplicadas, básicas y avanzadas, de procesamiento digital de imágenes satelitales, así como la identificación de las diferentes 'clases' (o tipos de cobertura) que aparecen en la leyenda del mapa de clasificación multiespectral supervisada, se han orientado a resaltar la cobertura agua. Importaba la mejor identificación visual del: cauce activo del río, llanura de inundación, y terrazas fluviales, respecto de las otras coberturas. Cuestión de interés para la autora, para posteriores trabajos acerca del riesgo de inundación de la cuenca.*

*Los productos obtenidos sirven como una herramienta para: el manejo de los recursos naturales, planificación urbana, planificación rural, diagnóstico de cada una de las coberturas.*

*Para cada cobertura en particular se pueden conocer: datos espaciales (longitud y área) y datos de atributos.*

*El área mapeada carece de mapas de este tipo (ya sea realizados con métodos convencionales, o con métodos de procesamiento digital de imágenes satelitales). El mapa de clasificación multiespectral supervisada es un producto relativamente rápido y económico.*

*Se puede relacionar el mapa de clasificación multiespectral supervisada con otros aspectos ya conocidos de la cuenca: hidrografía, uso del suelo, vegetación natural, geomorfología, geología.*

*La fecha de la imagen usada es Mayo de 1990, por lo que los mapas reflejan la situación de la cuenca en ese momento.*

*Se incluyen aquí sólo tres productos en blanco y negro del procesamiento digital de imágenes realizado. Los originales son en color.*

### 1. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Medinas es una cuenca hidrológica de unos 2.156 km<sup>2</sup>, en dos provincias (Catamarca y Tucumán) del Noroeste de Argentina (Figs. 1 y 2). Abarca tipos climáticos desde semiárido (valle del río del Campo), a húmedo (cuenca río Cochuna, precipitación media >2000 mm/año). El gradiente topográfico abarca desde 5.550 m en el Oeste hasta 350 m en el Este (Arcuri 1995).

Entregado: 03 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 17 de Agosto de 2001

Docente Investigadora. Departamento de Posgrado e Investigación.  
Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino.  
9 de Julio 165. (4000). San Miguel de Tucumán.  
Tucumán Argentina.

e-mail: carcuri@unsta.edu.ar

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: cuenca del río Medinas en la Provincia de Tucumán  
(Fuente: Hoja topográfica Ingenio Santa Ana. Instituto Geográfico Militar, 1943)



Para las descripciones se consideró como: cuenca alta (al Oeste de la confluencia río Cochuna y río de las Cañas), cuenca media (entre la confluencia citada y la localidad de Los Sarmiento), y cuenca baja (al Este de Los Sarmiento). En consideración a características espectrales observadas en todas las bandas y los análisis realizados.

Para las descripciones se consideró a los cursos fluviales, incluyendo cauce activo más llanura de inundación.

## 2. MATERIALES

1. Hoja topográfica Villa Quinteros, escala 1:100.000, (1934), Instituto Geográfico Militar. Buenos Aires.
2. Hoja topográfica Ingenio Santa Ana, escala 1:100.000, (1943), Instituto Geográfico Militar. Buenos Aires.
3. Hoja topográfica Nevados del Aconquija, escala 1:100.000, (1934), Instituto Geográfico Militar. Buenos Aires.

4. Imagen satelital LANDSAT Thematic Mapper, formato digital, bandas 3,4,5, (Mayo 1990). Llamada Concepción (5920 líneas x 5800 columnas) de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Tucumán.
5. Distribución parcelaria rural según uso agrícola. Tucumán. Escala 1:250.000. (1991). Instituto de Planificación y Desarrollo Rural del Noroeste Argentino. UNT. Nota: El mapa de uso del suelo ha sido realizado usando imagen Spot del año 1986.

Se usó software para computadora personal Arc Info para digitalizar los puntos de control, se exportó el archivo del mapa vectorial a ILWIS.

Se usó software para computadora personal ILWIS (versión 1.3, bajo DOS), para el procesamiento digital de la imagen satelital. (ILWIS significa Integrated Land and Water Information System).

Se usó impresora Hewlett Packard DeskJet 500C, papel Epson A4, para 720 dpi. La escala de impresión usada en las Figs. 2, y 4 es 1:359.569. Para la Fig. 5 es 1:190.000.

### 3. METODOLOGÍA

Un condicionamiento de base para la realización del trabajo fue que se disponía sólo de 3 bandas de la imagen satelital (bandas 3,4,5).

Para aplicar las técnicas del procesamiento digital de imágenes, se seleccionó una ventana de trabajo que incluía la cuenca del río Medinas en su totalidad (527 líneas x 1023 columnas), con un adecuado factor de ampliación (enlarge factor) de 0,36.

Todo el proceso de trabajo está ilustrado en el diagrama de flujo de la Fig.3.

En un trabajo anterior (Arcuri 1998) se realizó la georeferenciación de la imagen, se hizo reconocimiento de patrones,

se aplicaron técnicas de estiramiento del histograma (estiramiento lineal, y ecualización del histograma), se aplicaron técnicas de transfer function (con 2 puntos de quiebre, y con múltiples puntos de quiebre), se aplicaron filtros (realce de bordes, shadow, y otros filtros standard), se hizo composición de falso color. Sobre la imagen composición de falso color con escala de grises, se hizo estiramiento lineal y realce de bordes. Esto sirvió de base para este trabajo.

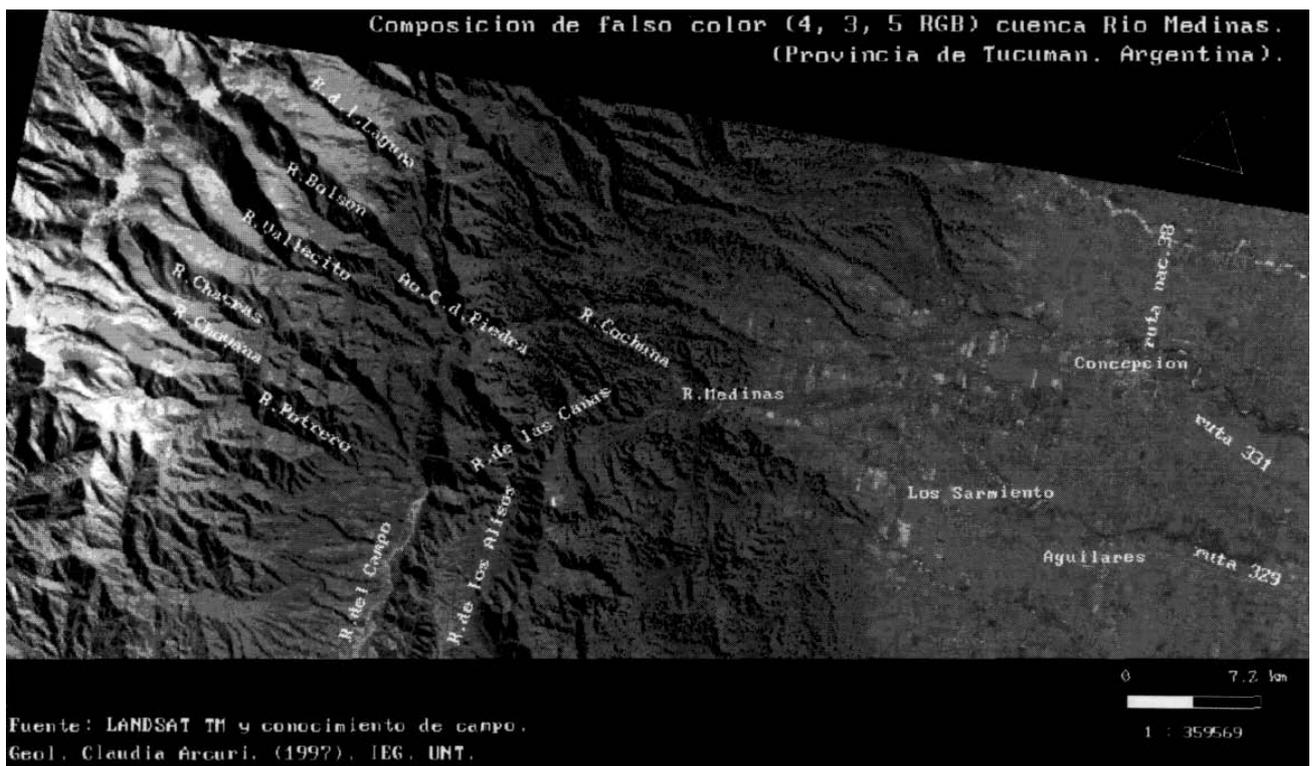
En el diagrama de flujo de la Fig. 3 se indica en letra con formato normal los procesos descritos en Arcuri, (1998). Y con letra formato itálica los procesos tratados en este trabajo.

Las conclusiones de Arcuri (1998) fueron:

- Del procesamiento digital realizado, las bandas crudas más adecuadas para un trabajo individual son 4 y 5.
- La técnica de Estiramiento del histograma (Stretching) más apropiada es la lineal, sobre la banda 4 usando el porcentaje del histograma.
- Sobre la composición de falso color (4,3,5 R,G,B) en escala de grises, el estiramiento lineal sin usar el porcentaje del histograma dio el mejor resultado.
- El filtro más apropiado es realce de bordes (edges enhancement) sobre la composición de falso color (4,3,5 R,G,B) en escala de grises.
- La asignación de colores para la composición de falso color dio un buen resultado.
- La amplitud y distribución espacial del rango de pixel de la cobertura agua, hace que parezca conveniente el trabajo con ventanas (windows) para posteriores procesamientos digitales .

Aquí se continúa con el proceso de clasificación supervisada y otros análisis sobre la misma cuenca.

**FIGURA 2: COMPOSICIÓN DE FALSO COLOR (4,3,5, RGB) cuenca río Medinas (Provincia de Tucumán, Argentina).**  
Donde dice: 'ruta 331', debe decir 'ruta 329', y viceversa



#### 4. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Se hizo clasificación multispectral supervisada usando como bandas de entrada: 3, 4, 5 (para el software ILWIS son bandas 1,2,3 respectivamente).

Se eligieron 11 clases (entre paréntesis cómo aparecen en la leyenda del mapa):

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. nieve                               | 2. suelo desnudo (suelo de)  |
| 3. yungas1                             | 4. yungas2                   |
| 5. nube                                | 6. urbana                    |
| 7. ruta                                | 8. frutihortícola (frutihor) |
| 9. caña de azúcar<br>(canaazuc)        | 10. río1                     |
| 11. río 2 Laguna del Tesoro (rio2lagu) |                              |

Se tomaron al azar 30 muestras de cada una de las clases, para ser usadas en la clasificación. Se usó conocimiento de campo y mapa de uso del suelo (1991) para muestrear: caña de azúcar, y cultivos frutihortícolas.

Para la toma de decisión del lugar del muestreo, en general, fue muy importante el conocimiento de campo.

##### Clases de la clasificación supervisada

Se comentan las principales características espaciales y espectrales de los tipos de cobertura, que sirvieron para definirlos como clase para la clasificación (ver Fig. 4). El conocimiento de campo y el conocimiento temático de la cuenca fue decisivo en la definición y caracterización de las clases.

1. *Clase nieve*: tiene una distribución espacial más o menos 'fija', y conocida: las altas cumbres de los Nevados del Aconquija. Los valores de reflectancia son los más altos. Uno o dos pixel tienen valores muy altos, en la cumbre misma o en laderas Sur, luego decrecen (a medida que decrece el espesor del hielo o nieve).
2. *Clase suelo desnudo*: de gran distribución espacial (pero menor que clase yungas), está en la alta montaña exclusivamente, por encima de la línea de vegetación (línea de árboles). Tiene valores de reflectancia altos. Se distinguen las laderas orientadas al Suroeste (a la sombra) con valores de pixel bajos.
3. *Clase yungas1*: tiene una distribución espacial elongada aproximadamente Norte-Sur y un ancho más o menos constante. Tiene valores de reflectancia menores que la clase yungas2. Probablemente correspondería a un piso de vegetación dentro de cobertura yungas (?). Pero más probablemente corresponda al bosque de mirtáceas y alisos, a juzgar por su distribución no compacta, y siguiendo las quebradas. El límite Oeste coincide con el límite superior de la línea de árboles.
4. *Clase yungas2*: tiene una distribución espacial muy compacta, poco diversificada, y un rango de valores de pixel también muy nítido. Por lo tanto, se distingue como una 'mancha' visual dominante sobre el resto de las clases.
5. *Clase nube*: tiene una distribución espacial muy limitada en esta imagen: al Este del cerro El Clavillo (2.020 m s.n.m.), y al Este de la serranía situada al Este del río de los Alisos. Los valores de reflectancia son los más altos.
6. *Clase urbana*: se detectaron espectralmente 2 grupos dentro

de esta clase, además bien definidos espacialmente. Un grupo sería el casco urbano antiguo de la ciudad (Aguilares, Concepción), de posición elongada Norte-Sur para Aguilares, y central para Concepción. Otro grupo sería la expansión urbana ocurrida posteriormente, bordeando al anterior. La textura reticulada es característica en esta clase.

7. *Clase ruta*: se caracteriza por el patrón espacial lineal. Las principales rutas de interés (ruta nacional 38, ruta provincial 329 y 331) pudieron ser mapeadas y clasificadas. Aunque sus valores de reflectancia son comunes a ciertos cultivos circundantes. Ruta pavimentada y no pavimentada no tienen valores de reflectancia que justifiquen la creación de clases separadas, al menos en las bandas disponibles.
8. *Clase frutihortícola*: ubicada mayormente en el pedemonte, sobre abanico aluvial entre el río Medinas y el río Gastona, entre otros lugares. Esta clase fue creada para diferenciar desde el punto de vista espectral, el cultivo predominante caña de azúcar, de otros cultivos. Incluye citrus, papa, pimiento, tomate, entre otros. Comparando a simple vista el área ocupada por este tipo de cultivos, con el mapa de uso del suelo (ver Materiales, ítem nro. 5), se nota un incremento del área cultivada de citrus al Sur del río Medinas, a la altura de Monte Bello (al Oeste de Los Sarmiento).
9. *Clase caña de azúcar*: está en la llanura, y es de gran extensión regional. Tiene un rango de reflectancia de 15-77 para las muestras tomadas, algo menor al de la clase frutihortícola (16-98).
10. *Clase río1*: ríos con valores de reflectancia altos, típicamente el río del Campo, ubicado en clima semiárido, y otros.
11. *Clase río2- Laguna del Tesoro*: ríos con valores de reflectancia medios a bajos. Incluye la cuenca alta de los ríos en clima subtropical, típicamente los ríos en área con cobertura yungas. En la cuenca alta los cauces fluviales son angostos. La Laguna del Tesoro (1.800 m s.n.m.) fue detectada por su ubicación espacial y sus características espectrales (valores de pixel bajos). A pesar de ser pequeña, a nivel regional (un pixel en sentido Este-Oeste, por dos pixeles en sentido Norte-Sur), pudo ser mapeada.

##### Separabilidad de las clases ('Clusters')

Algunas clases tienen una notable separabilidad en el universo muestral (vistas en el gráfico 'feature space'). Por ejemplo: nube y nieve, debido a sus valores de reflectancia altos y constantes. Otras clases tienen poca dispersión, o sea, están completamente definidas en un corto rango de valores de pixel, como ocurre típicamente con clase yungas.

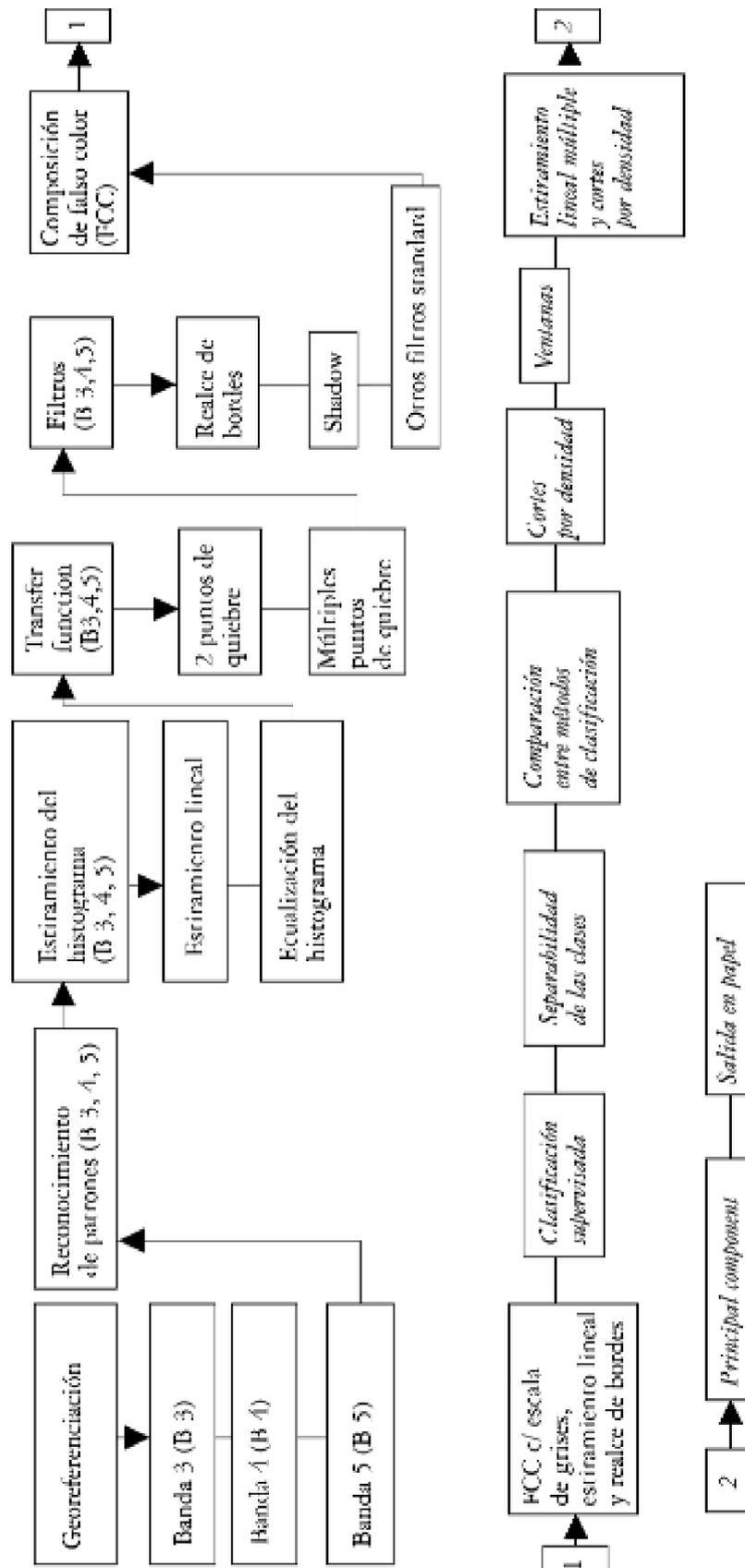
Un rasgo común a la mayoría de las clases es un cierto grado de superposición en todos los 'feature space' analizados. El 'feature space' que muestra menor superposición entre las clases es el 13 (léase uno-tres), mientras los 12 y 23 tienen diferentes grados de superposición.

El trabajo con ventanas (que incluiría menos tipos de cobertura que los aquí tratados) favorecería la separabilidad de las clases, y la determinación de la firma espectral buscada.

##### Comparación entre métodos de clasificación

Se usaron los siguientes métodos de clasificación de la imagen: Box Classification, k-Nearest Neighbour, y Maximum Likelihood, con fines comparativos sobre la cuenca del río Medinas.

FIGURA 3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES EN CUENCA DEL RÍO MEDINAS (PROVINCIA DE TUCUMÁN. ARGENTINA).



El método de Box Classification resultó aceptable (Fig. 4).

El método k-Nearest Neighbour generó una imagen también buena. Una notable diferencia con la imagen creada con el método anterior, es que la clase yungas1 tiene ahora mayor área (entre clase yungas2 y clase suelo desnudo), destacándose en ella el río del Campo.

Usando el método de clasificación Maximum Likelihood la imagen es mala, está formada por puntos dispersos que no definen nítidamente las clases.

#### Cortes por densidad (Density Slicing)

A la Composición falso color (4,3,5, RGB) en escala de grises se le calculó el Histograma (ignorando los valores de cero). Se usó el histograma para definir los rangos de los 'slices'. En un 'slice' se incluían los valores de pixel del río (u otras áreas de interés), para distinguirlo del resto. El resultado no fue satisfactorio, porque otros rasgos geomorfológicos además del deseado también cambiaban su color.

Sobre la Composición falso color (4,3,5, RGB) en escala de grises se hizo Estiramiento lineal (Linear Stretching) del histograma (ignorando los valores de cero). Se hizo 'density slicing' y aunque el resultado fue mejor que el anterior, no fue bueno.

Sobre la Composición falso color (4,3,5, RGB) en escala de grises se hizo Ecuilibración del histograma. Se usaron los valores del histograma para definir los 'slices', y aunque ciertas coberturas aparecían mejor que antes (yungas por ejemplo), el

resultado no fue satisfactorio. El corte por densidad aplicado en diferentes variantes no resultó apropiado.

#### Ventanas (windows)

Se definió una ventana de trabajo en la cuenca baja del río Medinas (378 líneas x 524 columnas de la imagen georeferenciada), con un factor de ampliación= 2.0. La escala de impresión es 1:204833. Se mencionó la ventaja que tendría el uso de una ventana, por restringir los tipos de cobertura, y valores de reflectancia para manejarlos mejor. Desde el punto de vista espacial, también interesa esta ventana por incluir el área de inundación.

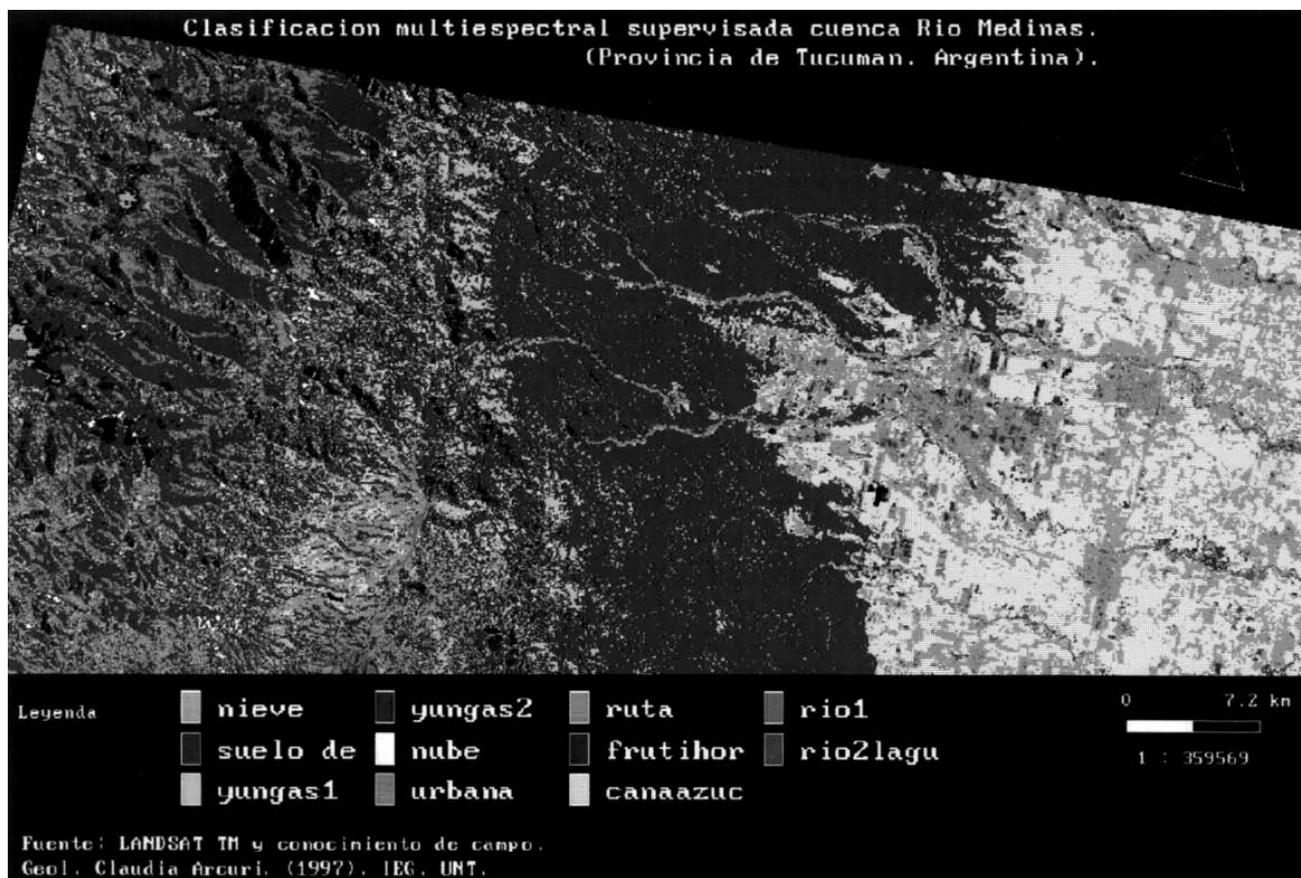
#### Estiramiento lineal múltiple y cortes por densidad

Se hizo estiramiento lineal múltiple y cortes por densidad en la ventana antes mencionada. Se usó solamente el rango que interesaba, asignándole un color apropiado. El resultado es muy bueno porque el cauce más llanura de inundación, y las terrazas fluviales se destacan nítidamente sobre un fondo de uso agrícola del suelo que tiene tono y textura distintos.

#### Principal Component

Se calculó la matriz de varianza/covarianza y la matriz de correlación de un set de datos consistente de 3 mapas raster (bandas 3, 4 y 5 de la cuenca baja del río Medinas), usando 'Multi-band Statistics'.

**FIGURA 4: CLASIFICACIÓN MULTIESPECTRAL SUPERVISADA CUENCA DEL RÍO MEDINAS** (Provincia de Tucumán, Argentina). Usando el método de clasificación Box Classification.



A partir de ello se calcularon los 'Principal component'. Esto involucra el cálculo de los componentes principales a partir de la matriz de varianza/covarianza, o de la matriz de correlación, de los mapas raster (bandas 3,4,5). Así se obtuvieron los mapas de principal component para la banda de entrada 1 (PC1), para la banda de entrada 2 (PC2), y para la banda de entrada 3 (PC3).

Luego se hizo una composición de falso color, asignando los mapas PC2 a la banda del rojo, PC1 a la banda del verde, y PC3 a la banda del azul. El resultado es una muy buena imagen, en la que se destacan bien los cauces activos y llanuras de inundación, de las terrazas fluviales. El resto de las coberturas también está muy nítidamente diferenciado. En este caso se calculó la matriz de varianza/covarianza solamente.

Además, se calculó la matriz de varianza/covarianza, y la matriz de correlación (ignorando valores de cero; tipo de interpolación: stretching).

Luego se hicieron todas las composiciones de falso color posibles (6), de las cuales resultó óptima la combinación PC1, PC2, PC3, R,G,B (Fig. 5).

En la Fig. 5 la definición es mayor que en la imagen obtenida anteriormente (con el cálculo de matriz de varianza/covarianza, sin matriz de correlación), la combinación de colores

es contrastante, y muy apropiada para la interpretación visual. Los paleocauces y terrazas fluviales del río Medinas son claramente visibles. El cauce activo más llanura de inundación se distinguen fácilmente de las unidades antes citadas. Los abanicos aluviales del río Chirimayo y del arroyo Barrientos son ahora discernibles. El área de montaña contrasta fuertemente con el área de pedemonte y llanura, facilitando la interpretación de la imagen.

## 5. CONCLUSIONES

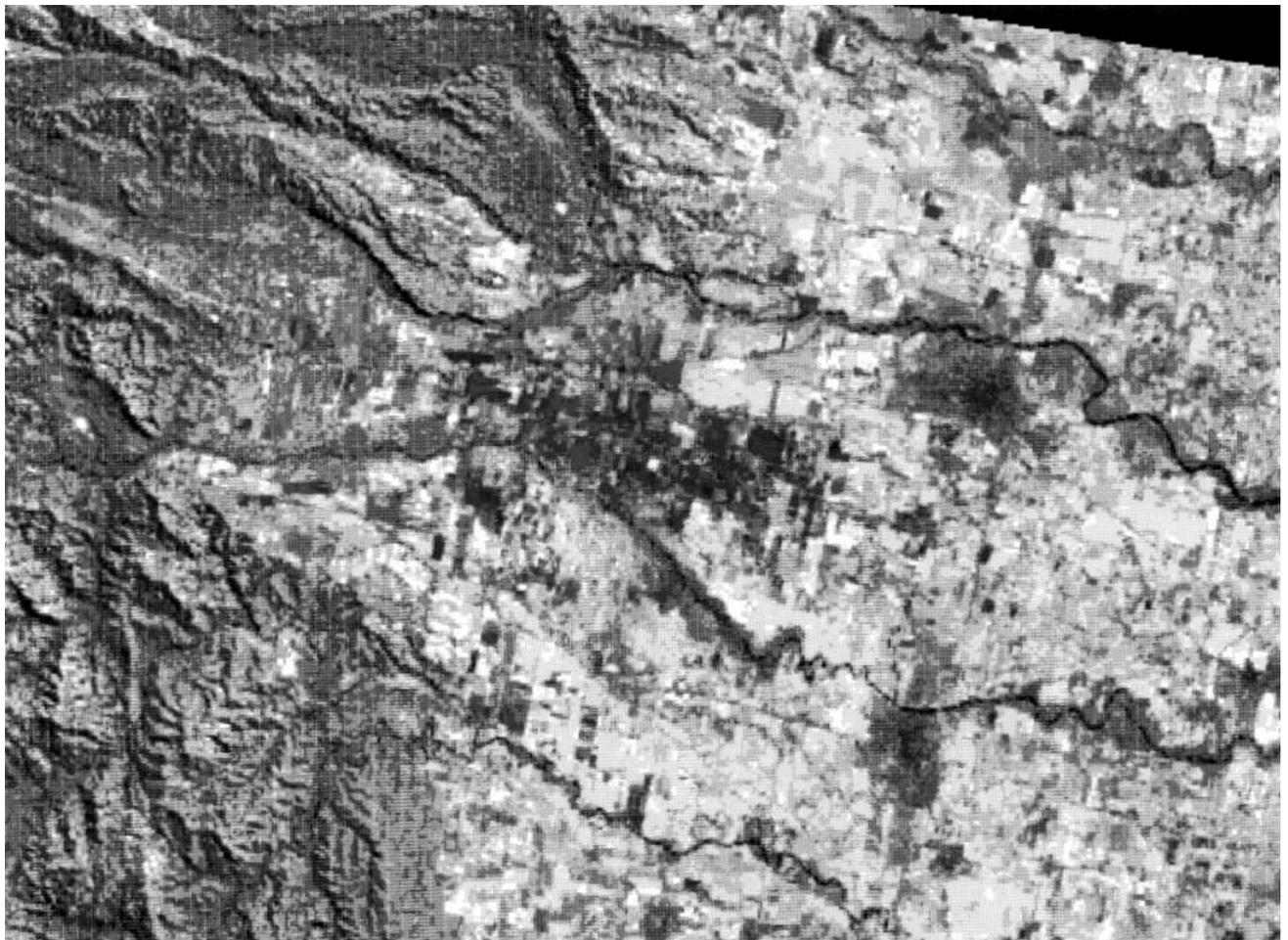
La clasificación multispectral supervisada usando el método Box Classification resultó aceptable (Fig. 4). También dió un buen resultado el método k-Nearest Neighbour. Mientras que el de Maximum Likelihood no fue aceptable.

La clasificación de la imagen con la técnica corte por densidad, aplicada sobre la composición falso color (4,3,5 R,G,B) en escala de grises y con estiramiento lineal múltiple del histograma, resultó muy buena.

El uso de ventanas para aplicar diversas técnicas fue apropiado (Fig. 5).

La técnica del principal component 1 y la composición falso color (PC1, PC2, PC3 R,G,B) resultó excelente (Fig. 5).

**FIGURA 5: PRINCIPAL COMPONENT 1 (PC1, PC2, PC3, RGB) EN CUENCA BAJA DEL RÍO MEDINAS** (Provincia de Tucumán, Argentina). Escala de impresión: 1:190.000. Con cálculo de matriz de varianza/covarianza y matriz de correlación.



## 6. RECOMENDACIONES

Uno de los resultados más útiles de este trabajo es la 'Clasificación multiespectral supervisada de la cuenca del río Medinas'. Esta es una de las cuencas hidrográficas más importantes de la provincia de Tucumán por el tamaño, el caudal y la calidad de las aguas. Para la clasificación se han determinado 'clases de cobertura' y sus 'firmas espectrales'. De cada una de las clases se pueden conocer atributos espaciales (área, altitud, longitud, etc). Esto permite detectar y monitorear cambios en cada una de las clases. Es posible aumentar el número de clases de cobertura, a partir de las que se han determinado aquí, a medida que se conozcan sus firmas espectrales.

## 8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ARC INFO MANUALS, 1995.

Environmental Systems Research Institute.  
USA.

ARCURI, C.B., 1995.

Flood hazard assessment and zonation of the Medinas River catchment (Tucumán, Argentina). Inundation hazard on semi-detailed scale 1:20,000. M.Sc.

*Thesis. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. The Netherlands. 119p., 4 mapas.*

ARCURI, C.B., 1998.

Caracterización espectral de cobertura agua en cuenca del río Medinas (Tucumán, Argentina).

*Breves Contribuciones del Instituto de Estudios Geográficos nro. 10: 5-19. Fac. de Fil. y Letras. UNT. Con referato.*

ILWIS 1.4 USER'S MANUAL, 1991.

The Integrated Land and Water Information System.

*International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). The Netherlands.*

Se recomienda el uso de 'ventanas' para trabajar, por restringir los tipos de cobertura, y los valores de reflectancia correspondientes. Esto permite caracterizarlos y manejarlos mejor.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Al Prof. A. LLanes Navarro (Instituto de Estudios Geográficos, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán) por el hardware y software facilitados para la realización de este trabajo. Al Ing. Agr. Ramón B. Zuccardi por el asesoramiento brindado en temas de uso del suelo y vegetación. Al Ing. J.C. Muzzo y a la Sra. Flavia Allende de Páez de la Torre (Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino, Tucumán, Argentina) por mejorar la apariencia visual de las figuras.



## Enseñanza basada en problemas y juegos operacionales en el aprendizaje de la geología ingenieril

Caló, Jorge E.

### Resumen

*El profesional geólogo es de hecho un solucionador de problemas, tal como cualquier otro profesional. Cuatro son las cualidades que resaltan en todo profesional competente, a saber: el conocimiento febaciente que ha adquirido, las habilidades que posee, el punto de vista que adopta, y su capacidad de superación. De aquí el planteo didáctico que se origina en la enseñanza de la aplicación de los conocimientos geológicos básicos a la solución de los problemas originados por y en el medio ambiente geológico*

*El éxito de un profesional depende, en gran parte, de su habilidad para razonar, motivo por el cual una de las principales finalidades de la formación profesional debería ser el desarrollar en el estudiante la manera correcta de pensar, estimulándolo en su deseo de lograr un claro entendimiento, ayudándole a razonar claramente y mejorando sus facultades inventivas.*

*La enseñanza basada en problemas anima a los estudiantes a tornarse participantes activos de su educación, elaborando sus propias ideas y prestando atención a las consecuencias de esas ideas, expresando sus pensamientos en forma coherente y criticando las presentaciones de sus colegas estudiantes. Este cambio de papel también se aplica al docente, que de simple disertante pasa a ser parte activa de la educación y debe conocer cuándo y cómo intervenir en el proceso.*

*En la enseñanza basada en problemas, éstos hacen de guía a la misma. Es decir, antes de que los estudiantes adquieran algún conocimiento acerca de la aplicación de los conocimientos geológicos básicos, se les plantea una propuesta de una obra de ingeniería en un ambiente geológico determinado. Esta propuesta es formulada de una manera tal que los estudiantes descubran que necesitan aprender algún nuevo conocimiento antes que puedan resolver la misma. Los estudiantes deben plantear el problema y resolverlo. El punto de partida de este proceso solucionador de problemas es una lista de chequeo de lo que se conoce acerca del problema y de lo que haría falta conocer para resolverlo. Como metodología también se recurre a simulaciones y juegos operacionales. Esto crea interés y un modelo mental para encarar la resolución del problema planteado.*

*El programa de la materia contiene problemas cuidadosamente seleccionados y diseñados en base a escenarios modelados, que exigen del alumno la adquisición de conocimientos críticos, competencia en la resolución de los mismos, estrategias de aprendizaje por sí mismo y habilidades en la participación en equipos. El método ensayado reproduce el enfoque sistémico normalmente usado para resolver problemas o enfrentar los desafíos que se presentan en la vida y en la carrera profesional.*

*Los resultados han sido satisfactorios, pudiendo los alumnos cubrir cómodamente el programa en un cuatrimestre lectivo y desarrollar un alto grado de profesionalismo, demostrado por sus nuevas actitudes hacia los conocimientos básicos, el desarrollo de habilidades en la resolución de problemas y un afianzamiento de sus puntos de vista.*

Entregado: 05 de Setiembre de 2001 ■ Aceptado: 28 de Diciembre de 2001

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

e-mail: jecal@criba.edu.ar

### 1. INTRODUCCIÓN

Durante los cuatro últimos cursos lectivos curriculares de la materia Geología Ingenieril, perteneciente a la carrera de Licenciatura en Ciencias Geológicas de la Universidad Nacional del Sur, se viene aplicando, evaluando y perfeccionando una

experiencia didáctica conducente a mejorar la formación del estudiante en el aspecto profesional.

De las diversas definiciones de Geología Ingenieril o Geología Aplicada a la Ingeniería aquella del IAEГ (1992) dice: “La ciencia dedicada a la investigación, estudio y solución de los problemas de la ingeniería y del medio ambiente que pueden surgir como resultado de la interacción entre la geología y los trabajos y actividades del hombre, como así también de la predicción de las amenazas geológicas y del desarrollo de medidas para la prevención o remediación de las mismas y el mejoramiento y mantenimiento de la condición ambiental y de las propiedades de los terrenos”.

Esta definición da las bases para la enseñanza de la misma. En ella vemos que intervienen todos los elementos de la geología enfocados a la solución de los problemas que se le crean al ingeniero al implantar sus obras en la naturaleza, o sea en el medio ambiente. El profesional geólogo que se dedica a esta

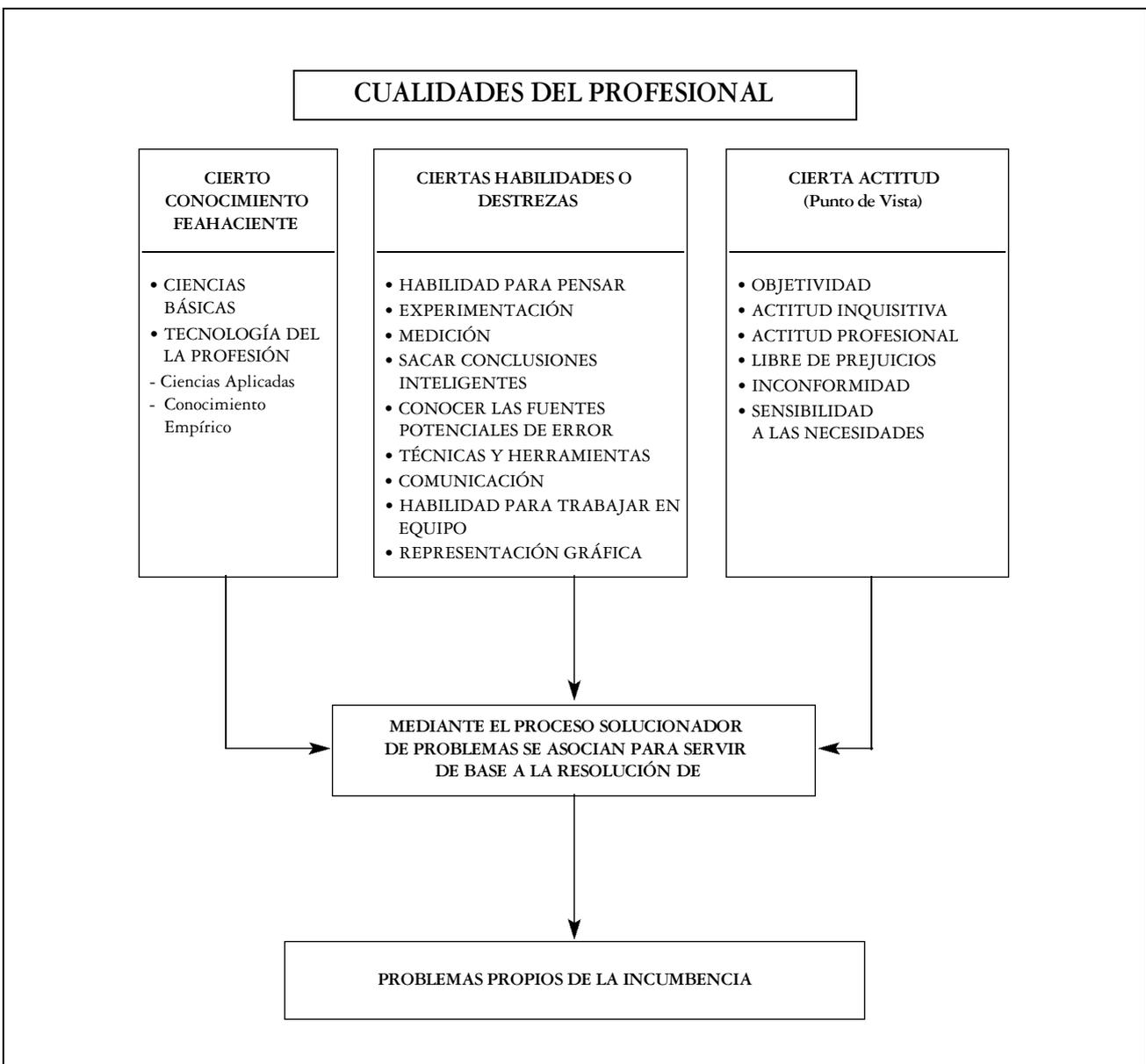
rama del saber geológico es de hecho un solucionador de problemas, tal como cualquier otro profesional. De aquí el planteo didáctico que se origina para los docentes abocados a la enseñanza de esta aplicación de los conocimientos geológicos y del medio ambiente geológico a la solución de los problemas originados por las obras civiles (Caló 2000).

Se abordó entonces una búsqueda de nuevas formas didácticas adaptadas a la formación de profesionales. Para ello se analizó cuales eran los elementos con que debe contar un buen profesional.

## 2. CUALIDADES DE UN PROFESIONAL

Según Krick (1968) tres son las cualidades que resaltan en todo profesional competente, a saber: el conocimiento fehaciente que ha adquirido, las habilidades que posee y el punto de vista que adopta (Fig. 1).

**FIGURA 1: LAS TRES CUALIDADES CON QUE DEBE CONTAR UN PROFESIONAL** para resolver en forma eficiente los problemas propios de su incumbencia (Tomado de Krick, op, cit.)



El conocimiento fehaciente es el conocimiento que el profesional utiliza para la solución de problemas. Como puede apreciarse en los programas de estudio de las diversas ramas del saber, gran parte de la enseñanza formal se refiere a las ciencias básicas. Esto obedece a que, virtualmente, es imposible que el profesional elabore soluciones a problemas de su incumbencia, sin un entendimiento fundamental de los componentes básicos de su especialidad. Únicamente mediante la familiarización con las ciencias básicas es posible este entendimiento, que es la base en que descansa gran parte de la tecnología de las profesiones.

En cuanto a las habilidades del profesional para la aplicación de los señalados conocimientos fehacientes a la resolución de problemas, están las aptitudes para realizar, con eficiencia, la obtención de conclusiones inteligentes, la cooperación con otras personas, la comunicación de sus ideas, las mediciones, las experimentaciones, los cálculos necesarios y la utilización de las técnicas adecuadas disponibles para lograr los objetivos de su trabajo.

También es parte importante del profesional competente su punto de vista con respecto al problema a resolver y se refiere a la objetividad, la actitud inquisitiva, la actitud profesional, estar libre de prejuicios, tener una inconformidad constructiva y una sensibilidad a las necesidades de la sociedad.

El éxito de un profesional depende, en gran parte, de su habilidad para razonar, motivo por el cual una de las principales finalidades de la formación profesional es desarrollar en el estudiante la manera correcta de pensar, estimulándolo en su deseo de lograr un claro entendimiento, ayudándole a razonar claramente y mejorando sus facultades inventivas.

Una facultad, que frecuentemente subestima el estudiante de cualquier carrera, es la habilidad en la comunicación, lo que es un error grave, ya que si aspira a ser un buen profesional, deberá estar capacitado para expresarse clara y concisamente, tanto en forma oral como escrita.

### 3. MÉTODOS DIDÁCTICOS

La disertación del docente tiende a forzar a los estudiantes a un papel de espectador pasivo. En contraste, cuando esos mismos estudiantes participan en forma activa es probable que elaboren sus propias ideas y presten atención a las consecuencias de esas ideas, expresen sus pensamientos en forma coherente y critiquen las presentaciones de sus colegas estudiantes (*Greenstein 1994*).

Planteado así el problema y en el intento de desarrollar las cualidades profesionales de los estudiantes y a la vez transformar el aprendizaje en un proceso activo, se hizo una búsqueda y análisis de métodos didácticos, encontrándose con facetas promisorias al sistema llamado Aprendizaje Basado en Problemas (Problem Based Learning), de la Escuela de Medicina de la Universidad de McMaster, Canadá (*Woods 1996*), y también a la aplicación de la técnica educacional de los juegos de simulación u operacionales (*La Fourcade 1974*).

La técnica de PBL (sus siglas en inglés) fue calificada como una de las opciones educativas más excitantes y poderosas que han aparecido en los últimos 30 años (*Woods 1996*), y puede definirse como un enfoque total a la educación. Su historia comenzó en la Escuela de Medicina de la Universidad de McMaster en la década del 60. Desde entonces se ha introducido y adoptado en escuelas de nivel primario y secundario y también universidades en diversos países. Tal como fue definido por Howard Barrows y Ann Kelson, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Illinois, el PBL es a la Tal como fue definido por

Howard Barrows y Ann Kelson, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Illinois, el aprendizaje basado en problemas se puede concebir simultáneamente como una estrategia curricular o como una técnica didáctica o una metodología de enseñanza (*Maricopa 1999*)

El programa de la materia consiste en problemas cuidadosamente seleccionados y diseñados que exigen del educando la adquisición de: conocimientos que le permitan juzgar sobre cualidades y defectos; competencia en la resolución de problemas; estrategias de aprendizaje por sí mismo; habilidades en la participación en equipos. El proceso reproduce el enfoque sistémico normalmente usado para resolver problemas o enfrentar los desafíos que se presentan en la vida y en la carrera profesional.

Así, por PBL se entiende cualquier método de enseñanza en el cual el problema conduce el aprendizaje. Es decir, antes de que los estudiantes adquieran algún conocimiento sobre un tema se les da un problema. El problema es propuesto de una manera tal que los estudiantes descubran que necesitan aprender algún nuevo conocimiento antes de que puedan resolver el mismo. Se anota por un lado todo lo que se conoce sobre el problema en forma de conocimientos básicos y por otro todos aquellos otros conocimientos que no se tienen y se deben conocer para poder resolver dicho problema (Cuadro 1). Las temáticas de estos últimos conocimientos se deducen a través de un intercambio de ideas en grupo.

Por otra parte, no hay que confundir como método PBL el utilizar un problema para integrar el conocimiento previamente adquirido, puesto que por definición, no se estaría entonces dentro del mencionado método de aprendizaje (*Woods 1996*).

Una gran ventaja del PBL es que plantear el problema antes de aprender tiende a motivar a los estudiantes. Ellos saben por qué están aprendiendo un nuevo conocimiento. También aprender en el contexto de la necesidad de resolver un problema tiende a guardar el conocimiento en patrones de memoria que facilitan su recuerdo más tarde para resolver otros problemas.

Este ambiente de aprendizaje es activo, cooperativo, autoevaluado, proporciona una pronta retroalimentación, permite una oportunidad mejor para considerar las preferencias personales de aprendizaje y es altamente efectivo.

Usar este enfoque requiere que el docente cambie. El cambio no es fácil. Este cambio, en particular, involucra que los docentes cambien su papel de ser el centro de atención y la fuente de todo conocimiento a ser el preparador y facilitador de la adquisición de ese conocimiento. El aprendizaje se torna centrado en el estudiante y no en el docente. Los estudiantes asumen una creciente responsabilidad por su aprendizaje, dándoles más motivaciones y más sentimientos de logro y estableciendo un modelo para que se vuelvan exitosos aprendices de por vida. El docente se convierte en un tutor o instructor. El papel del docente es el de crear el ambiente y supervisar, a cierta distancia, las actividades clave del curso. Debe desplazarse entre los grupos y, bajo invitación, tornarse un miembro temporario de los mismos para facilitar el proceso (*Woods 1996*).

Obviamente existen algunas dificultades con esta forma de instrucción. Se encontró que las discusiones en clase pueden ser desesperantemente lentas y a menudo vagar en direcciones infructuosas. El docente acostumbrado a hablar, tiene que aprender a cómo no hablar. Asimismo a conocer cuándo y cómo intervenir y también a desarrollar algunas habilidades de comunicación interpersonal. Como ciertos temas esenciales pueden simplemente no aparecer en el desarrollo de la temática,

uno debe decidir cuándo y cómo introducirlos. Un inconveniente de este método es que se debe destinar mucho tiempo al trabajo individual con los estudiantes, de manera que es difícil dar el curso para más de 10 a 15 estudiantes por vez. Sin embargo, a pesar de estas desventajas, se han obtenido metas que no pudieron alcanzarse en el curso normal por disertación. Por lo tanto, tiene sentido mezclar nuestro currículum tradicional de disertaciones con la más informal instrucción de forma libre que da el PBL.

Hay otro elemento en el método del PBL que lo hace atractivo. En la investigación tanto científica como profesional hay una cualidad de confusión y de ir a tientas buscando la solución del problema planteado. Esta cualidad está ausente en las perfectas disertaciones que se dan en los cursos clásicos. Tal claridad e inevitabilidad lógica transmitida así en el aula, no son representativas de los medios vacilantes y propensos a errores por los cuales llegamos a ese final en la práctica real. Con el método PBL se logra aproximarse a esa realidad.

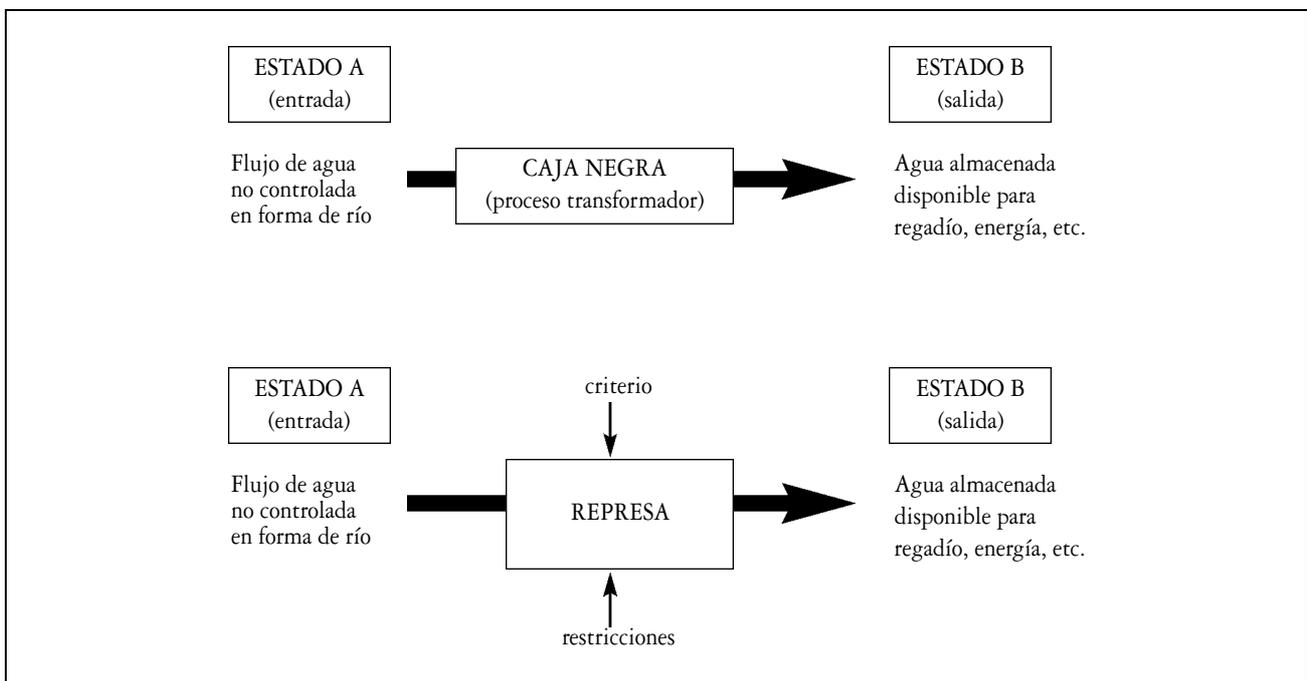
Puesto que la enseñanza basada en problemas comienza con un problema que ha de ser resuelto no se debería emplear el método sin antes evaluar o desarrollar la habilidad de los estudiantes para la resolución de problemas. Es por ello que las primeras clases del curso se dedican a introducir al alumno en este

proceso, a fin de hacerlos competentes en el mismo de modo que puedan poner en juego todos sus conocimientos, artificios o habilidades adquiridas, así como el punto de vista que asuman.

#### El Proceso Solucionador de Problemas

El proceso solucionador de problemas (Caude 1970; Corzo 1973) involucra la definición del problema y la aplicación de los conocimientos y facultad creadora, para así poder concebir distintas soluciones posibles, predecir el comportamiento de las mismas, tomar decisiones, especificar la mejor solución y otra gran variedad de actividades concernientes a la solución de problemas. El proceso solucionador de problemas puede mirarse como un sistema que se asemeja a una caja negra, gris o blanca de acuerdo al conocimiento que se tenga de la manera como transformar los datos (variables) de entrada (estado A), con un criterio de evaluación y restricciones de transformación, en datos de salida (estado B) que representarían la solución o soluciones al problema planteado (Fig. 2). Evidentemente, es de gran importancia la habilidad que se tenga en la ejecución de este proceso, en cualquier campo del conocimiento. La pericia en el proceso solucionador de problemas depende considerablemente de la inventiva del profesional o sea, de su facultad creadora, cosa que no es de extrañar, ya que resolver problemas es básicamente un proceso creador.

**FIGURA 2: SISTEMA SOLUCIONADOR DE PROBLEMAS.** El estado A de algo (entrada) se transforma en estado B (salida) mediante un proceso transformador (caja negra). Cuando se conoce el proceso transformador, la caja se convierte en gris o blanca de acuerdo a la amplitud del conocimiento. El proceso transformador tiene restricciones y a través de un criterio se evalúa su bondad.



Es muy interesante desde el punto de vista de la formación del estudiante otra cualidad que se desarrolla con el PBL. Esta se refiere a la habilidad para trabajar eficientemente en cooperación con otras personas. Si el profesional desea que todo marche con máxima eficiencia, debe establecer un ambiente de trabajo cooperativo entre la muy amplia variedad de personas con muy diferentes niveles de preparación con las que tiene que actuar. La gran complejidad de los problemas profesionales modernos acentúa la importancia de esta habilidad, en virtud de

que cada vez es más frecuente el uso de grupos de diferentes especialistas para la solución de problemas complicados.

La objetividad es otra característica sobresaliente de la actitud de un profesional. En la mayoría de los proyectos el profesional es el foco de multitud de opiniones, torcidas la mayoría de ellas, contradictorias, representando intereses especiales. Además, a menudo se encuentra con multitud de situaciones que no se deben al problema en sí, sino al cliente. Todo este grupo

de tendencias, presiones y tradiciones obligan a que el profesional sea objetivo en sus evaluaciones y al tomar decisiones. De esto resulta fácil apreciar que una de las principales metas del proceso educativo del profesional, consiste en mejorar su habilidad para reconocer y compensar debidamente las opiniones, prejuicios y las emociones de él mismo, así como las de los demás. En el ambiente de estudio del PBL se da esta situación, que permite adquirir la experiencia de ser objetivo, tutorada por el docente.

Uno de los métodos aplicados al entrenamiento de los alumnos, y de hecho también aplicado en la cátedra donde se realiza la experiencia motivo de esta presentación, puede ser la provisión de ejercicios prácticos basados en situaciones de la vida real, en la cual datos del lugar investigado necesitan ser interpretados con relación a proyectos de ingeniería particulares. Así, se le puede entregar a un estudiante una colección adecuada de registros de sondeos, mapas y datos de ensayos y luego pedirle que evalúe estos con relación a una etapa particular del proceso de ingeniería y de la estructura específica. Esta forma de simulación introduce ciertos problemas al ignorar los factores que pueden influenciar la situación de la vida real, esto es el elemento de elección en la ubicación y método de investigación, y las restricciones dadas por el tiempo y el dinero disponibles.

Es así entonces que adquirir ciertas habilidades para organizar estrategias y tomar decisiones inteligentes se convierte en un objetivo de extrema importancia. El profesional suele enfrentarse habitualmente con situaciones ante las cuales deberá seleccionar las alternativas más convenientes sobre la base de un conocimiento más o menos claro de las consecuencias que ello comporta y de los riesgos presumibles. El logro de tales habilidades presupone un aprendizaje previo logrado en situaciones similares a las que se dan en la realidad.

#### 4. JUEGOS OPERACIONALES

Para lograr el objetivo mencionado se recurre a las técnicas de la investigación operativa. Por lo tanto, al pensar en la solución del problema entre manos, en el entorno de un aula, puede visualizarse el proceso como un sistema, adquiriendo así su solución el rango de modelo que representa la realidad. Sin embargo, el modelo es estático. Se recurre entonces a la simulación, que es la manipulación del modelo de modo que de una imagen en movimiento de la realidad. La simulación imita a esta última, respondiendo a reglas de varios tipos. La realidad es mucho más compleja pues interviene el factor humano. En este caso se recurre a los juegos operacionales que son una forma de simulación en la cual tomadores de decisión reales trabajan en un ambiente simulado (*Ackoff y Sasieni 1968*).

Puede introducirse así la técnica educacional de los juegos de simulación u operacionales (*La Fourcade 1974*). Su objetivo de base es facilitar el aprendizaje de hechos, principios, procesos y modos de elegir la alternativa que resuelva inteligentemente una situación.

En resumen y como bien lo expresaron *Price y Knill (1978)*, se necesita introducir en los métodos de entrenamiento del alumno los problemas diarios de un profesional geólogo trabajando en la oficina o en el solar. Para ello es necesario simular una situación en la cual un individuo pueda tener:

- a) elección sobre su enfoque a la investigación del solar;
- b) limitaciones en la financiación disponible;

- c) restricciones en la tasa de adquisición de información;
- d) un tiempo límite para la terminación del proyecto.

Para aproximarse a este enfoque (*Price and Knill 1978*) crearon un área mítica dentro de la cual ubicaron los juegos de simulación propuestos.

#### Área del Proyecto

En nuestro caso y a semejanza de lo propuesto por *Price y Knill (1978)* se creó un área mítica con una topografía y una geología determinadas (Fig. 3), a fin de poder desarrollar las simulaciones dentro de la misma. El área se supone ubicada en un clima subtropical húmedo. Por esta razón puede considerarse la existencia de meteorización. El área está formada por un meandro en herradura profundamente inciso que bordea una morro constituido por dos colinas dispuestas de NNW a SSE separadas por un paso. Las diferencias de cotas entre el valle y las colinas rondan los 700 m. Regionalmente la geología corresponde a rocas sedimentarias estratificadas compuestas por arcillas y calizas y un yeso discordante en el extremo NW del área. La disposición de los sedimentos se ve complicada estructuralmente por una falla en tijera, que hace que los estratos tengan buzamientos opuestos a ambos lados de la misma.

Si bien podrían haberse tomado áreas reales con ejemplos reales, éstas presentan inconvenientes tales como la mucha o poca complejidad tanto de las áreas como de los proyectos, tornándose poco flexibles para los pasos iniciales en la comprensión de los principios básicos de la geología aplicada a la ingeniería.

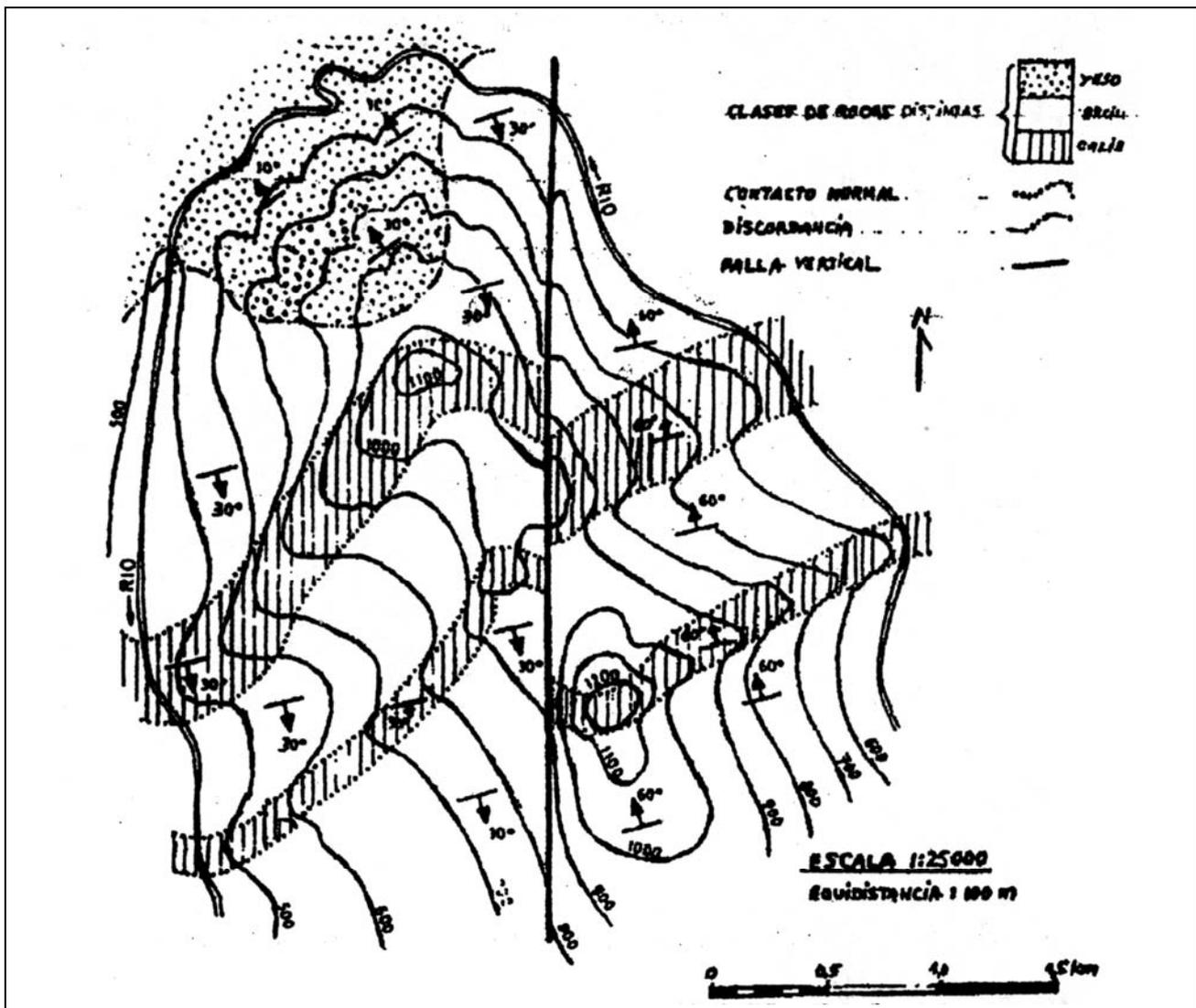
#### Programa de Simulaciones y Juegos Operacionales

Las simulaciones o juegos operativos desarrolladas durante el curso se originan a partir de ubicar una represa y llevar el agua embalsada hasta una casa de máquinas a fin de generar energía eléctrica. La casa de máquinas está ubicada aguas abajo del otro lado de las colinas a fin de ganar altura en el salto de agua. Esto lleva a realizar canales y un túnel para pasar el agua al otro lado de las colinas. También se deberá realizar vías de comunicación dentro del área (un camino y un puente sobre el curso de agua, aparte del formado por el dique). Asimismo, se investiga la instalación de un electroducto para transportar la electricidad generada por la usina hidroeléctrica.

La disponibilidad de un mapa topográfico y de un mapa geológico general, suministran un fondo de conocimiento sobre el cual comenzar a trabajar. La disponibilidad de información del subsuelo se basa en datos tanto de sondeos como geofísicos, a un costo unitario.

El alumno tiene completa libertad para la ubicación de sondeos o perfilajes geofísicos, que pueden ser comprados en unidades de 5 o de 10 m según la simulación en juego y a diferentes costos según la metodología a utilizar. Una vez seleccionadas la ubicación y profundidad, tanto de los sondeos como de los perfilajes, la cátedra le suministra la información geológica correspondiente. Así compone una imagen tridimensional del solar. Una variante es conformar distintos grupos que compiten entre sí por un presupuesto, que es independientemente informado a la cátedra. Esta suministra la información geológica de acuerdo al proyecto de exploración. Luego se hace una exposición de cada uno de los proyectos, con los resultados obtenidos y se descubre el presupuesto presentado. Así se comparan las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

**FIGURA 3: MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA DE KALNIN-GOL.** Mapa mítico de un área con topografía, hidrología, litología y estructura geológica.



## 5. PROPOSICIONES PARA EL FUTURO

Es intención de seguir desarrollando estas simulaciones sistemáticamente. Además, se está diseñando un área mítica más compleja, con un espectro de condiciones geológicas más amplio a fin de dar más diversidad de aplicaciones y contar así con más juegos operacionales posibles dentro de un control didáctico.

## 6. CONCLUSIONES

Si bien la experiencia en la aplicación de la metodología del aprendizaje basado en problemas es corta (cuatro cursos consecutivos) se constató que:

1. Los estudiantes al no estar prestando atención pasivamente a la disertación del docente, se involucran activamente en las actividades de aprendizaje;
2. Los estudiantes se ayudan uno al otro trabajando cooperativamente para aprender juntos.
3. No todos los estudiantes aprenden de la misma manera. Cada uno tiene un estilo preferido. Las actividades de aprendizaje en este sistema permiten tomar en cuenta las preferencias de aprendizaje particulares de los estudiantes.
4. El método permite, a través de muchos tipos diferentes de eventos en clase y fuera de la misma, una rica interacción docente-estudiante.
5. Ya sea a través una evaluación por parte del docente o de sus pares o una autoevaluación, los estudiantes tienen una pronta realimentación acerca de su actuación.

Además, los resultados han sido satisfactorios, debido a que por el volumen de conocimientos a enseñar, y la índole especial de la materia, que es la aplicación de todos los conocimientos geológicos básicos adquiridos durante el cursado del ciclo básico de la carrera a la resolución de los problemas planteados por la geología a la construcción, operación y mantenimiento de obras de ingeniería, los alumnos han podido cubrir cómodamente el programa en un cuatrimestre lectivo con la carga horaria estatutaria y han desarrollado un alto grado de profesionalismo, demostrado por sus nuevas actitudes hacia los conocimientos básicos, el desarrollo de habilidades en la resolución de problemas y un afianzamiento de sus puntos de vista. También se tornan competentes en el autoaprendizaje y en la participación en equipos de trabajo. Quedan todavía temas a perfeccionar para cumplir las metas propuestas por el sistema.

## 7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ACKOFF, R.L., Y M.W SASIENI, 1968.  
Fundamentals of Operations Research.  
*John Wiley and Sons, 455 pp. Nueva York.*
- CALÓ, J.E., 2000.  
Experiencias de la enseñanza de la geología aplicada mediante el método de aprendizaje basado en problemas.  
*Actas de las 2das Jornadas de Innovación Pedagógica. Universidad Nacional del Sur. 9 al 11 de agosto, Bahía Blanca.*
- CAUDE, R., 1970.  
Cómo Analizar un Problema.  
*Ibérico-Europea de Ediciones, 94 pp. Madrid.*
- CORZO, M.A., (1973).  
Introducción a la Ingeniería de Proyectos.  
*Limusa, 226 pp. México.*
- GREENSTEIN, G., 1994.  
Teaching Science by Seminar.  
*Physics Today, 47(5): 69-70.*
- IAEG, 1992.  
Estatuto de la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería.  
*Aprobado en el Congreso de Kyoto (Japón). International Association of Engineering Geology,*
- KREGER, C., 1998.  
Modules Preparation Checklist.  
*Wheeling Jesuit University/NASA, Classroom of the Future. <http://www.cotf.edu>*
- KRICK, E.V., 1968.  
Introducción a la Ingeniería y al Proyecto en la Ingeniería.  
*Limusa-Wiley, 236 pp. México.*
- LA FOURCADE, 1974.  
Planeamiento, conducción y evaluación en la enseñanza superior.  
*Kapelusz, 285 pp. Buenos Aires.*
- MARICOPA, 1999.  
Barrows H., y A. Kelson. PBL: An Overview. A Project of the Maricopa Center for Learning & Instruction.  
*En: Maricopa Community Colleges, <http://www.mcli.dist.maricopa.edu/pbl/info.html>*
- PRICE, D.G Y J.L. KNILL, 1978.  
Teaching games in engineering geology.  
*3rd International Congress International Association of Engineering Geology, Madrid.*
- WOODS, D. R., 1996.  
Problem-based Learning: helping your students gain the most from PBL.  
*Instructor's Guide for Problem-based Learning: how to gain the most from PBL. <http://www.mcli.dist.maricopa.edu/pbl/info.html>*



## Alteraciones sufridas por los agregados utilizados en hormigones sometidos a temperaturas de incendio

Charreau, Geraldine - Luna, Fabio

### Resumen

*El efecto del fuego en las estructuras de hormigón es un problema complejo y parte de esa complejidad se debe a que, en el hormigón, que es un material compuesto, los distintos componentes no reaccionan de la misma forma ante la acción de las altas temperaturas.*

*Dado el volumen mayoritario que representan los agregados en el volumen del hormigón, su comportamiento incide directamente en las características del material compuesto.*

*Se presentan los resultados obtenidos en estudios realizados sobre agregados gruesos y finos antes y después de su exposición a la acción de distintos tiempos de fuego normalizado, así como estudios realizados sobre probetas de hormigón convencional elaboradas con dichos agregados y sometidas a los mismos tiempos de exposición, comparando las alteraciones sufridas por los agregados sueltos e incluidos en la masa del hormigón.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La exposición de las estructuras de hormigón a altas temperaturas provoca una degradación de la estructura del material que puede alcanzar niveles muy significativos.

El efecto del fuego en las estructuras de hormigón es un problema complejo y parte de esta complejidad se debe a que, en el hormigón, que es un material compuesto, los distintos componentes no reaccionan de la misma forma ante la acción de las temperaturas elevadas.

El trabajo se centra en el efecto de las altas temperaturas sobre los agregados utilizados en el hormigón. Dado el volumen mayoritario que representan los mismos dentro del hormigón, su comportamiento incide directamente en las características del material compuesto. Se identificarán y cuantificarán las alteraciones producidas en los agregados para que, en base al estudio de los mismos, se pueda inferir o complementar la evaluación del daño sufrido por una estructura de hormigón sometida a un incendio.

El grado de alteración que se puede producir en el hormigón y sus componentes va a depender principalmente del nivel de temperatura alcanzado, del tiempo de exposición y de la composición del hormigón.

Para iniciar estos estudios es necesario modelar un fuego real, ya que cada incendio es un proceso diferente de otro, donde intervienen numerosas variables, como el tipo y la disposición espacial de los materiales combustibles, la ventilación, las posibles barreras o compartimentaciones que puedan existir, el carácter y la disposición de los medios contra incendios o la rapidez y eficacia de los servicios de bomberos.

Por lo tanto, las evaluaciones o comprobaciones de seguridad de una estructura de hormigón o de elementos componentes de la misma en caso de incendio, se deben realizar sobre modelos muy simplificados con respecto a la situación teórica real, siendo no por eso, de menor importancia las conclusiones que se puedan sacar, a la hora de realizar evaluaciones sobre estructuras dañadas en siniestros reales. El fuego normalizado que se considera para estos estudios es el establecido en la Norma ISO 834. En la misma se dan, la curva de evolución de la temperatura en función del tiempo y las condiciones de presión del ambiente interior del horno. Las condiciones simuladas representan condiciones de intensa gravedad del incendio.

Entregado: 13 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 04 de Octubre de 2001

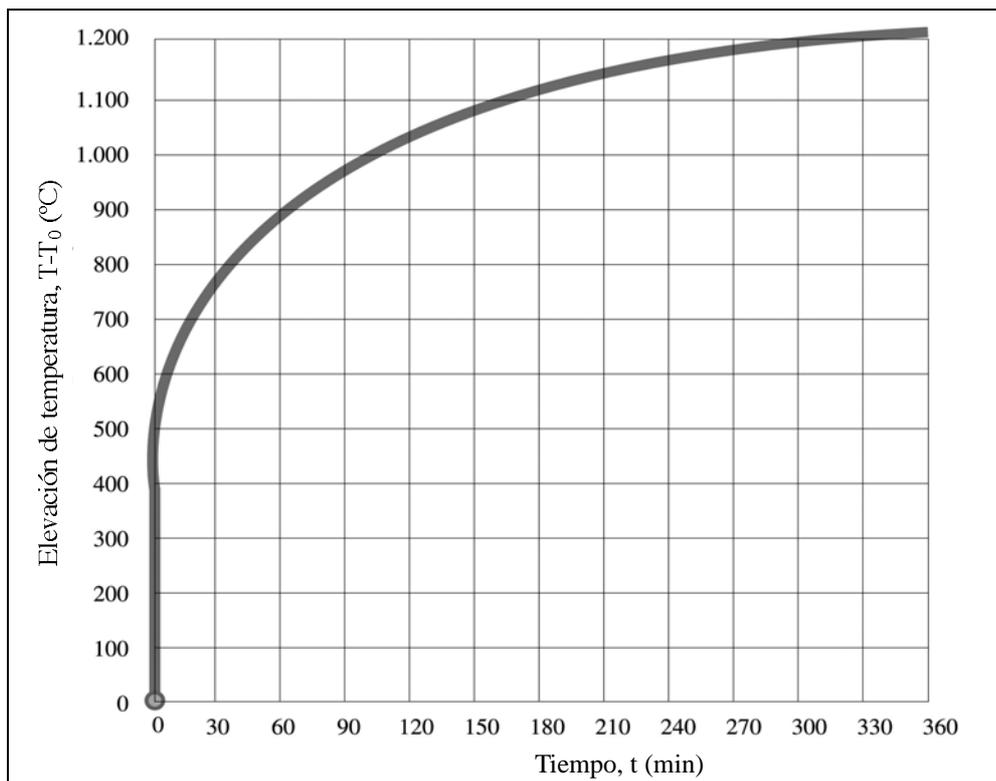
Centro de Investigación y Desarrollo en Construcciones  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) - Argentina

e-mail: geral@inti.gov.ar  
fluna@inti.gov.ar

### VISTA DEL INTERIOR DEL HORNO DE SIMULACIÓN



### CURVA TEMPERATURA-TIEMPO ISO 834



Se presentan los resultados obtenidos en estudios realizados sobre agregados gruesos y finos antes y después de exponerlos a la acción de distintos tiempos de fuego normalizado.

## 2. ESTUDIOS REALIZADOS

Se presentarán una serie de análisis, estudios y ensayos sobre los diferentes tipos de agregados comentados en forma comparativa. Esta comparación será, entre los agregados sueltos y contenidos en la masa del hormigón, a temperatura ambiente y a diferentes tiempos de exposición al fuego normalizado.

Para posibilitar la realización de estos ensayos se colocaron en el interior del horno 3 montículos con los diferentes agregados, así como una serie de 3 probetas de hormigón.

Los ensayos seleccionados para los agregados en este trabajo fueron: caracterización petrográfica mediante microscopía, difracción de rayos X, microscopía electrónica, peso unitario seco y suelto, absorción de agua y determinación comparativa del color por medio de la tabla de Munsell.

### 2.1. Tipología de los agregados y del hormigón evaluados

#### 2.1.1 Agregados

Se evaluaron 3 tipos de agregados: una arena de granulometría fina, silícea, proveniente de depósitos fluviales del río Paraná; una arena de granulometría gruesa, silícea, proveniente de depósitos fluviales del río Uruguay y una piedra partida granítica (representativa de la utilizada en la Provincia de Buenos Aires).

Estas arenas, son consideradas agregados naturales, ya que provienen del desgaste NATURAL de rocas graníticas preexistentes del Matto Grosso en Brasil. El 80 al 95% de su composición mineralógica es SiO<sub>2</sub> (Cuarzo); la mayor parte del feldespato y la mica fueron desintegrados por el proceso de meteorización y el transporte fluvial, no obstante de ello siempre aparecen en

su composición junto al cuarzo, el ópalo, la calcedonia, los feldespatos, micas y óxidos. Este tipo de agregados se caracteriza por sus formas redondeadas y su textura lisa. Generalmente se los emplea tal cual como se los extrae, en algunos casos sólo se les realiza un lavado previo a la comercialización.

En lo que se refiere a la piedra partida, el tipo de piedra partida utilizada en este trabajo, proviene de rocas graníticas con leve metamorfismo de la zona de Olavarría en la Provincia de Buenos Aires.

El agregado toma el nombre de piedra partida, ya que provienen de la trituración de rocas preexistentes. Estos agregados suelen tener formas poliédricas y textura rugosa. Como composición fundamental tiene Cuarzo, Feldespato y Mica.

La arena fina analizada posee un módulo de finura de 1,78 y la arena gruesa de 2,58 (Reglamento CIRSOC 252). La piedra partida posee un tamaño máximo de 19 mm y un módulo de finura de 6,9.

#### 2.1.2 Hormigón

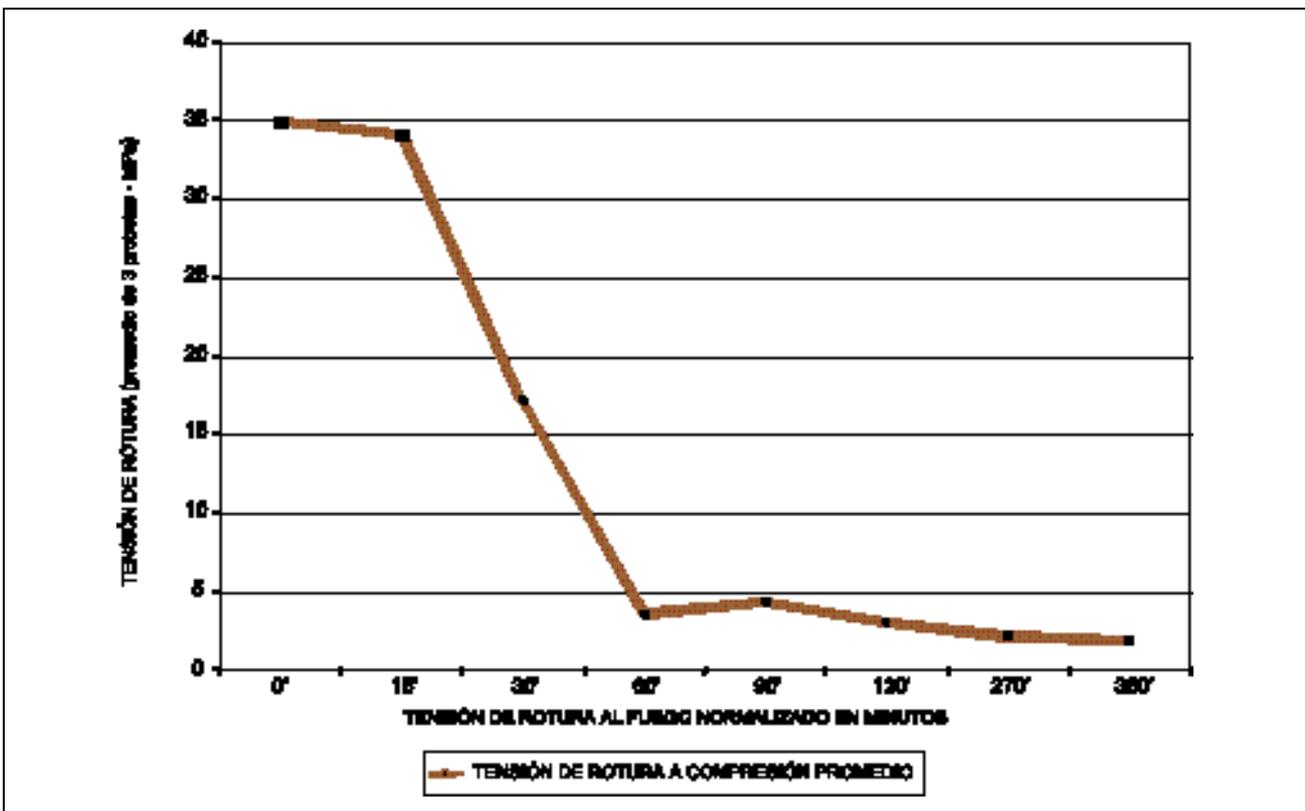
Se moldearon probetas cilíndricas (150 x 300 mm) de hormigón convencional (razón agua/cemento 0.50) elaborado con cemento Portland normal y los agregados estudiados (tamaño máximo de los agregados 19 mm).

Se obtuvo una mezcla de consistencia plástica y resistencia la compresión del orden de 35MPa.

Todas las probetas fueron curadas en cámara húmeda (HR: 100%) durante los 28 primeros días y luego se mantuvieron en el ambiente del laboratorio hasta el momento del ensayo.

Una vez expuestas a las condiciones de ensayo, las probetas fueron sometidas a un enfriamiento lento en el interior del horno con la boca del mismo destapada.

Las probetas se evaluaron en series de 3, y una vez sometidas a los distintos tiempos de fuego normalizado, se les realizaron estudios de resistencia a la compresión.



### 3 RESULTADOS OBTENIDOS

#### 3.1 Caracterización petrográfica: Según Norma IRAM 1649

Esta caracterización se realizó con las arenas y también con la piedra partida suelta y contenida dentro de la masa del hormigón a temperatura ambiente y a los distintos tiempos de exposición del fuego normalizado.

##### 3.1.1 Arenas

Como se mencionó anteriormente las arenas estudiadas responden a un mismo tipo petrográfico, en general presentan la siguiente distribución en porcentaje de composición, sobre el retenido del tamiz IRAM N°100:

Especie mineral	Porcentaje (%)
Cuarzo	85,8
Feldespatos minerales máficos	4,9
Ópalo	0,0
Calcedonia	1,1
Máficos	0,7

Se analizaron las dos muestras de arena, en tres intervalos de tiempo, a temperatura ambiente, a 270 y a 360 minutos.

##### 3.1.2 Piedra Partida

Para realizar este estudio se realizaron cortes delgados de muestras sueltas y contenidas dentro de la masa de hormigón, las muestras sueltas abarcaron distintos intervalos de tiempo de exposición: temperatura ambiente, 15, 30, 90, 120, 270 y 360 minutos; las muestras dentro de la masa abarcaron los tiempos de: 15, 30, 90, 120 y 360 minutos.

Se realizó una descripción detallada macro y microscópica del agregado a temperatura ambiente:

Las partículas que componen la piedra partida son muy homogéneas, coherentes y masivas; presentan un color grisáceo. Su composición corresponde a una roca granítica con algunas evidencias de metamorfismo.

El estudio microscópico revela una textura granular mediana orientada y presenta la siguiente mineralogía:

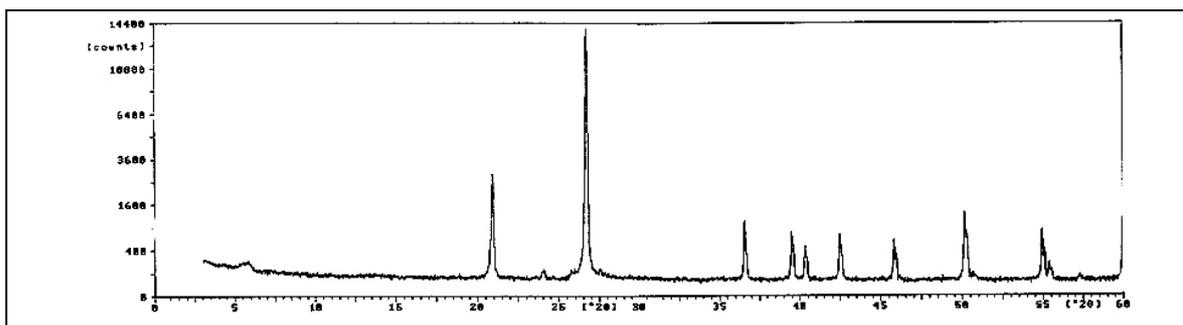
- Cuarzo (40%): en cristales de tamaño variable debido a trituración. Presenta extinción en mortero. Mediante el estudio de barra de mortero (método acelerado) el agregado se clasifica inocuo a la reacción álcali - agregado.
- Feldespato potásico (30%): Microclino y Ortosa con alteración arcillosa, en cristales con bordes triturados e intercrecimiento gráfico con Cuarzo.
- Plagioclasa (15%): Tipo Oligoclasa, macla característica, alteración similar al Feldespato.
- Biotita (15%): Biotita y escaso anfíbol agrupados en bandas junto con óxidos de Hierro y Titanita. Presenta alteración clorítica.

Los agregados sometidos a los diferentes tiempos de exposición, van presentando a medida que se aumenta la temperatura:

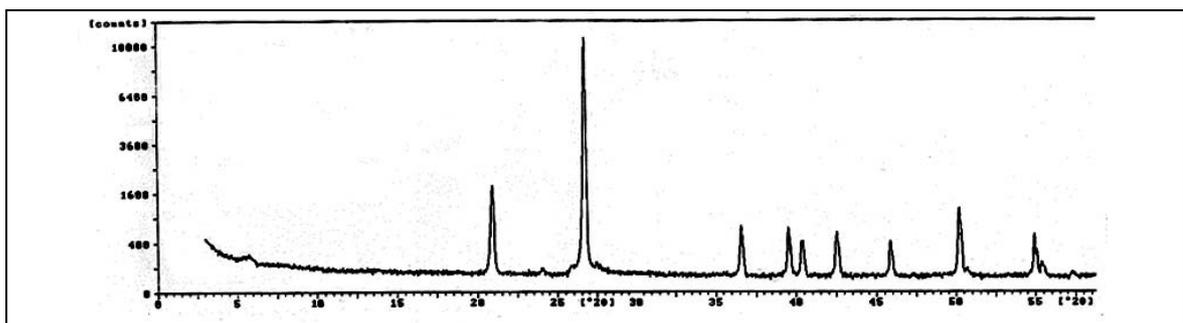
- Variación de la coloración desde colores grisáceos hasta blancuzcos, pasando por rosados
- Semejanza en la textura (disposición de los minerales)
- Mayor grado de fracturamiento y rotura
- Menor resistencia y dureza
- Modificación mineralógica

Como complemento a la caracterización petrográfica, se realizaron estudios de difracción de rayos X y de microscopía electrónica.

#### ARENA FINA - TEMPERATURA AMBIENTE



#### ARENA FINA A 270 MINUTOS



### 3.2 Difracción de rayos X

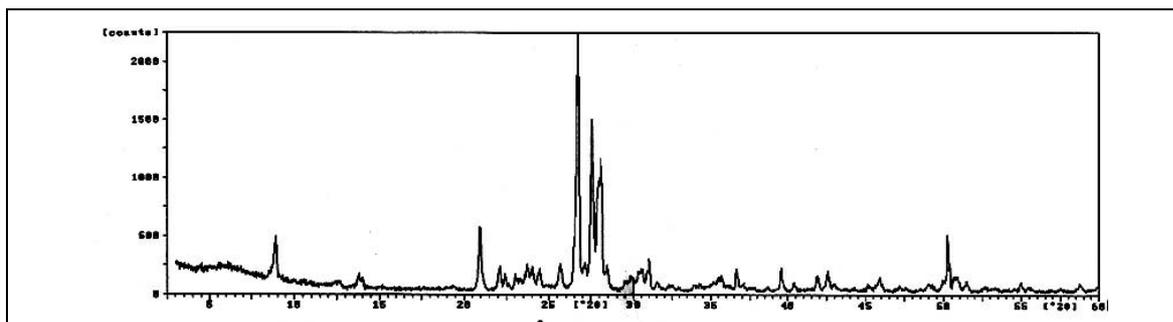
Las muestras de arena fina y de piedra partida fueron molidas a tamaño pasa Tamiz IRAM N°325, y analizadas en equipo de difracción de rayos X.

Respecto a la muestra de arena se hizo un estudio comparativo entre la muestra a temperatura ambiente y a 270 minutos de exposición, los resultados indican que la composición mineralógica principal de las muestras se mantienen invariable frente a los rayos X.

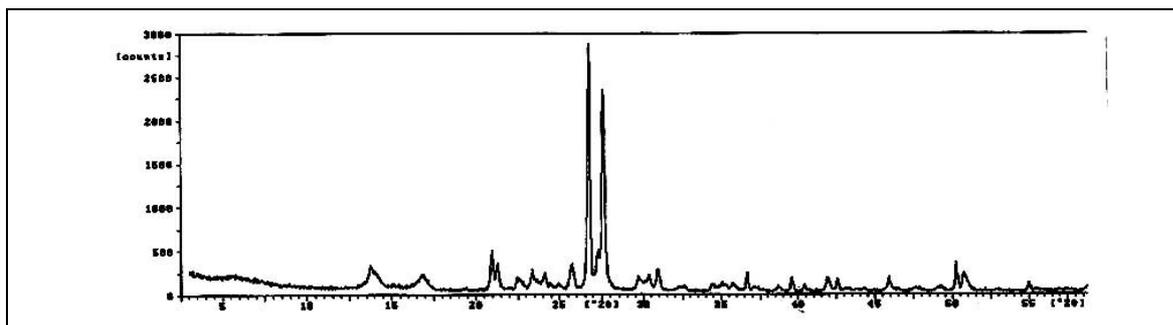
En cuanto a la piedra partida, se aprecia una diferencia de composición entre la muestra expuesta a 270 minutos y a temperatura ambiente que se debe fundamentalmente a la presencia o no de minerales de mica (Biotita) y plagioclasas (Oligoclasa) en los espectros correspondientes. En el caso de la muestra a 270 minutos, los picos correspondientes a estos minerales desaparecen, mientras que en la muestra a temperatura ambiente los picos de estos minerales se observan con toda claridad.

Los minerales principales, el Cuarzo y los Feldespatos (Microclino y Ortosa) aparecen invariables, en las dos muestras (a 270 minutos de exposición y temperatura ambiente).

#### PIEDRA PARTIDA A TEMPERATURA AMBIENTE



#### PIEDRA PARTIDA A 270 MINUTOS DE EXPOSICIÓN

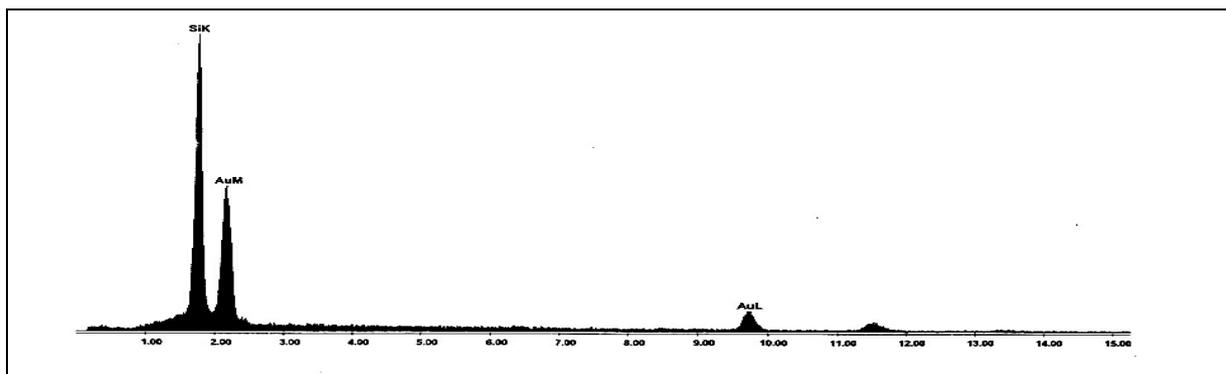


### 3.3 Microscopía electrónica

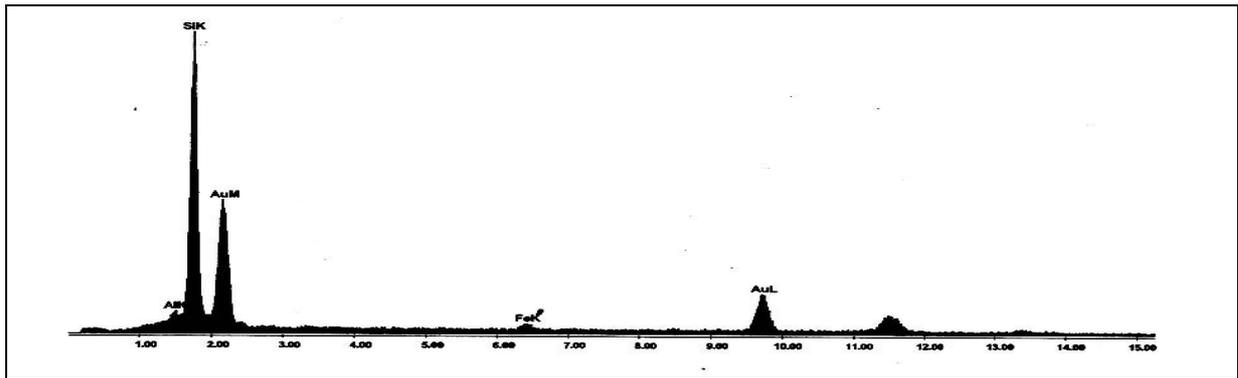
Fueron observadas y analizadas las muestras de arena fina, a temperatura ambiente y a 270 minutos de exposición a fuego normalizado en forma comparativa.

En los espectros comparativos se observa, en la muestra a temperatura ambiente la presencia de Si (silicio) como elemento principal; en la a 270 minutos se observa además de silicio, la presencia de Fe (hierro) y trazas de Al (aluminio).

#### ESPECTRO DE MUESTRA A TEMPERATURA AMBIENTE



**ESPECTRO DE MUESTRA A 270 MINUTOS DE EXPOSICIÓN**

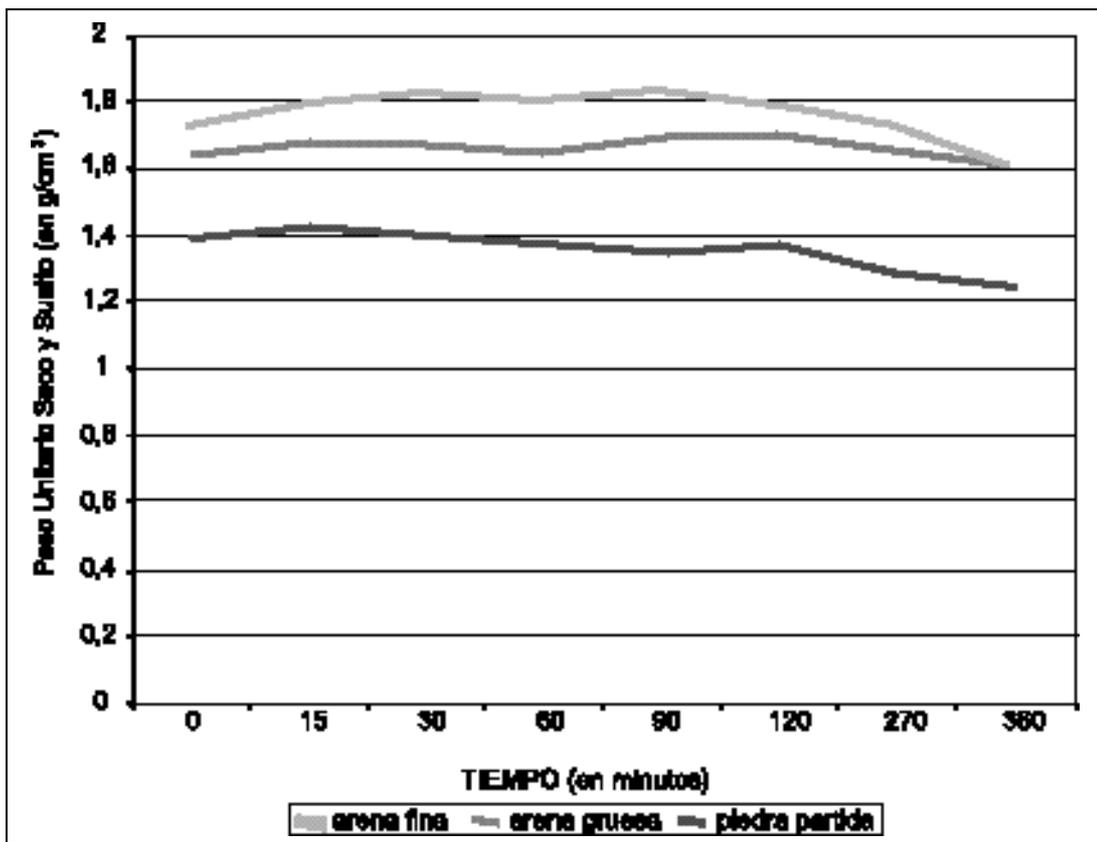


**3.4 Peso Unitario Seco y Suelto - Densidad a granel: Según Norma IRAM 1548**

El valor del Peso Unitario, es la masa de la unidad de volumen de material a granel, en este caso en condiciones suelta y seca. El peso unitario se ve afectado por varios factores; unos intrínsecos (peso específico, granulometría, forma y textura superficial), dependen de las características propias del agregado a ensayar otros extrínsecos dependen del método de ensayo (forma y dimensiones del recipiente, formas de compactación y

humedad de agregado). En este trabajo, las diferencias de Peso Unitarios se verán influenciadas por factores intrínsecos, ya que se ha utilizado el mismo recipiente de medida, condiciones secas, estado suelto y la misma forma de ensayo para las arenas y la piedra partida.

A continuación, se observa el gráfico donde se comparan los valores obtenidos de pesos unitarios para los tres tipos de agregados sometidos a distintos tiempos de exposición del fuego normalizado.

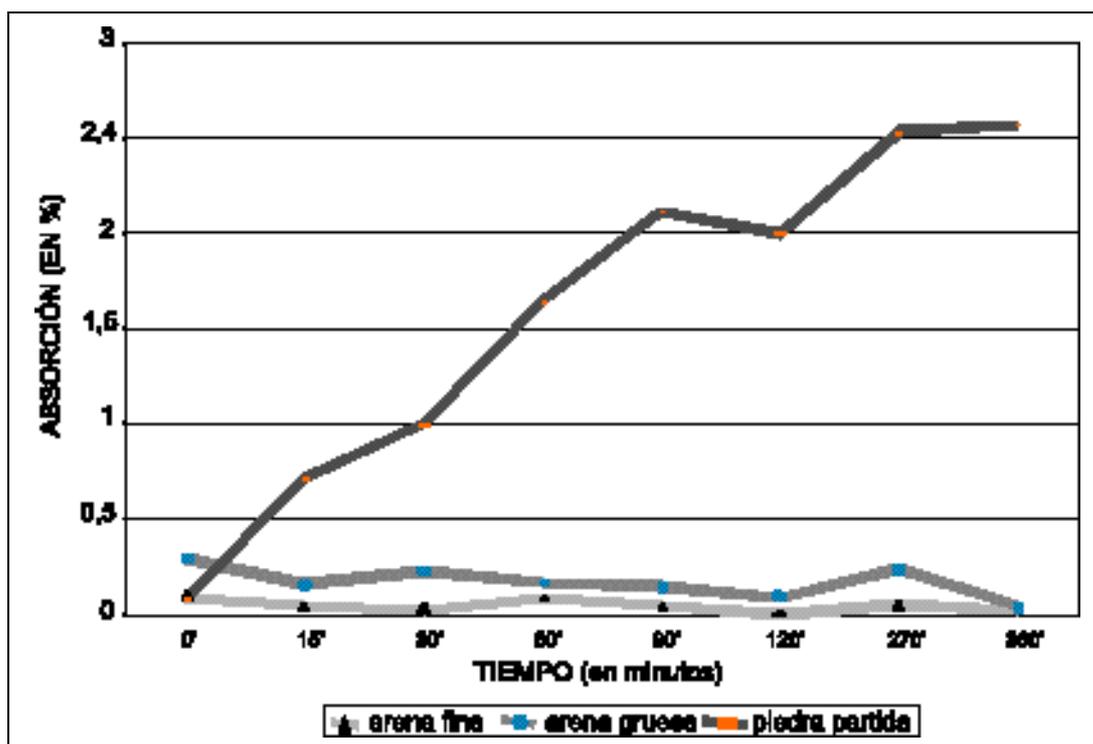


**3.5 Absorción: Según Norma IRAM 1520 y 1533**

La absorción de agua es una medida indirecta de la permeabilidad de un agregado, que a su vez puede relacionarse con otras características físicas tales como su resistencia mecánica, estabilidad y potencial de durabilidad. Las relaciones son imprecisas, aunque por lo general, los agregados menos absorbentes

tienden a ser más resistentes a las fuerzas mecánicas y a la alteración meteórica.

A continuación, se observa el gráfico donde se comparan los valores obtenidos de absorción para los tres tipos de agregados sometidos a distintos tiempos de exposición del fuego normalizado.



### 3.6 Color

La intensidad del color del hormigón es un factor importante para estimar la temperatura máxima alcanzada durante un

incendio. Se evaluó la coloración de las arenas mediante la tabla de comparación de Munsell.

Tiempo de exposición (minutos)	Código de Color	Denominación
0	10 YR 7/2	Marrón muy pálido
15	5 YR 7/4	Rosado
30	5 YR 6/4	Marrón rojizo claro
60	5 YR 6/6	Amarillo rojizo
90	5 YR 6/6	Amarillo rojizo
120	2.5 YR 6/6	Rojo claro
270	2.5 YR 5/6	Rojo
360	10 R 4/6	Rojo

## 4. CONCLUSIONES

Los agregados pétreos estudiados en este trabajo, son los más representativos de las obras civiles de la Ciudad de Buenos Aires.

En el resto de Argentina, existe una amplia diversidad de materiales naturales; cada uno de ellos, poseen características físicas, mecánicas y químicas particulares y por lo tanto una aplicación en la construcción específica.

Como se comprueba en los estudios realizados sobre los materiales sueltos, el comportamiento de las arenas es muy diferente de la piedra partida. Estas diferencias se observan en propiedades que en una primera instancia pueden considerarse

de menor importancia como es la variación del color, hasta variaciones en propiedades más determinantes, como pueden ser los cambios en la resistencia, durabilidad y alterabilidad de los agregados.

- En cuanto al estudio petrográfico podemos concluir que: en lo que se refiere a las arenas, las mismas no experimentan cambios mineralógicos respecto a su composición original con el aumento de la temperatura, esto se confirma en los estudios de Difracción de rayos X y análisis con microsonda. En lo que se refiere a la piedra partida, la textura de la misma no experimenta con el aumento de temperatura una modificación significativa en la disposición y en el tamaño de los minerales. El grado de fracturamiento y la

rotura se incrementan notablemente con el aumento de la temperatura, los cristales mantienen sus formas originales pero se van fisurando intensamente. Se observa que las micas (Biotitas), a partir de los 90 minutos de exposición se van transformando con el aumento de temperatura en óxidos de hierro, acompañando en los bordes con síntomas de fusión (Se aprecia en la microfotografía con adecuado aumento). Los Feldespatos (Microclino y Ortosa) al igual que el Cuarzo presentan sólo alteración física, como fracturación y fisuración. Comparando petrográficamente, las muestras de piedra partida suelta y piedra partida dentro de la masa del hormigón, expuestas a diferentes tiempos de exposición, no presentan diferencias notables en la evaluación petrográfica.

- En cuanto al color, la diferencia más notable entre las arenas a temperatura ambiente y las expuestas al fuego normalizado, es el cambio de coloración (Ver 3.6) atribuible a la liberación de óxidos de hierro (ver microscopía electrónica).  
Los agregados estudiados cambian de color con la temperatura. En las arenas se observa una coloración más rojiza a medida que aumenta el tiempo de exposición (temperatura); en la piedra partida, por el contrario, la coloración se hace más clara, pasando de color grisáceo a blancuzco. El cambio de color es permanente (irreversible).
- La variación entre los pesos unitarios iniciales de las arenas (gruesa y fina), que se observa en el gráfico del punto 3.4, se debe principalmente a la variación granulométrica,

aunque también se ve afectado por la forma y textura superficial de los agregados. La variación de los pesos unitarios con la temperatura es mínima. En cuanto a la piedra partida, el peso unitario inicial es menor que el de las arenas por factores como: granulometría, peso específico, forma y textura superficial. En este caso es evidente el descenso del peso unitario con la temperatura.

- En cuanto a la absorción, las arenas experimentan una muy pequeña variación en las distintas etapas de calentamiento. No ocurre lo mismo con el agregado grueso (piedra partida) en el que se observa una gran diferencia entre el agregado natural y el sometido a los distintos tiempos de exposición. En este caso se observa un aumento de absorción a medida que el tiempo de exposición al que es sometido el agregado aumenta. La variación de absorción está directamente vinculada al grado de fisuración que va experimentando el agregado.
- En cuanto a la resistencia a la compresión del hormigón, se observa del gráfico del punto 2.1.2 la brusca caída en los valores que se obtiene al aumentar el tiempo y la temperatura de exposición de las probetas, alcanzando una pérdida del 50% a los 30 minutos de exposición y llegando a un 5% de la resistencia inicial a los 360 minutos de exposición. En cuanto a la resistencia de los agregados, si bien no se efectuaron estudios normalizados al respecto, se hace evidente la disminución de la resistencia de los agregados a partir de los 30 minutos de exposición, los cuales se fracturan manualmente con facilidad.

## 5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

### ARIDOS.

ARIDOS PUB. ESPECIAL N°9.  
1994. *The Geological Society. Londres. 435 pp.*

### CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN FRENTE AL FUEGO.

Revista N°23 INTEMAC.  
1996. *España. 43 pp.*

### MANUAL DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.

National Fire Protection Association.  
1998. *editorial MAPFRE. 2219pp*

### NORMAS IRAM

(resistencia al fuego - caracterización de agregados)

### THE EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES ON CONCRETE AND CONCRETE STRUCTURES.

FIP/3/1. *J. Irving*



## Estabilización de suelos con tanino

Di Rado, Héctor R. I - Fabre, Viviana E. - Miño, Federico D.

### Resumen

*El objetivo de este trabajo es encontrar un adecuado tratamiento del suelo natural de sendas y caminos interiores de predios privados dedicados a la explotación agropecuaria. Para ello se eligió conformar una resina compuesta por tanino y formol en distintas proporciones, que se aplica luego al suelo en diferentes cantidades para elegir la más conveniente. Se seleccionaron dos tipos de suelos arcillosos de distinta naturaleza: uno inorgánico (A) y otro orgánico (B). También dos tipos de formol: uno analítico (I) y otro no analítico (II), para estudiar la eficiencia de la resina resultante al mezclarse con tanino. Los resultados obtenidos indican notables mejoras en el comportamiento mecánico e hidráulico del suelo natural y en sus características físicas, sobre todo en el que presenta abundante contenido de materia orgánica. Las mejoras alcanzadas en los ensayos de laboratorio, transferidas al campo, permitirán cumplir los objetivos propuestos eligiendo el estabilizante adecuado.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Los suelos de la región nordeste de la República Argentina, típicamente arcillosos, al ser usados como medio de comunicación sin un tratamiento adecuado, generan serias dificultades de movilidad en las zonas dedicadas a la explotación agropecuaria, especialmente cuando la humedad alcanza valores elevados a raíz, por ejemplo, de niveles importantes de precipitación pluvial. Surge entonces la necesidad de dar solución a los productores agropecuarios con respecto al servicio permanente de transitabilidad por sendas y caminos interiores de sus establecimientos, por medio de un método de mejoramiento del suelo natural de sencilla aplicación y mantenimiento posterior. El mejorado del suelo, tranqueras adentro, podrá ser atendido fácilmente pues puede controlarse adecuadamente el tránsito por el propio interesado. Por otra parte, de alcanzarse resultados exitosos, se habrá encontrado una nueva aplicación a un producto industrializado en la región antes citada: el extracto de quebracho colorado (tanino).

Se conoce con el nombre de taninos a un grupo de sustancias de origen vegetal, que se hayan presentes en la corteza, frutos y troncos de numerosas plantas (Franco, 1981). Existen dos tipos de taninos de grado comercial, obtenidos del árbol de Quebracho Colorado. (*Schinopsis balansae*):

- a) El extracto natural, llamado también común, ordinario o soluble en agua caliente.
- b) El extracto sulfitado, llamado también bisulfitado o soluble en agua fría.

La combinación de tanino de quebracho con el formol, por tratarse de la reacción entre un compuesto de base polifenólico (tanino) con un aldehído (formol), conduce a la obtención de una resina sintética.

Hasta el presente no se ha encontrado publicación alguna relacionada con el tema en estudio. Solamente alguna información verbal, sin confirmar, de haberse intentado en Rusia el tratamiento de suelos con tanino desconociéndose, por lo tanto, los objetivos y los resultados finales de dicho tratamiento. En cambio, y por haber sido testigo ocular uno de los autores del presente trabajo, pudo observarse, hace varios años, que en el lugar de descarga a un río de la zona de los residuos del proceso de industrialización del tanino efectuado por la Empresa Unitán SAICA (Puerto Tirol - Provincia de Chaco), una fuerte pendiente, casi vertical, de la ribera permanecía estable a pesar del tipo de suelo que la constituía, en franco contraste con la conformación natural de las zonas adyacentes. Esto permitió

Entregado: 03 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 14 de Setiembre de 2001

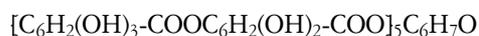
I. Universidad Nacional del Nordeste (U.N.N.E.)  
Facultad de Ingeniería - Departamento de Estabilidad  
Laboratorio de Suelos  
Av. Las Heras 727 - Telfax 03722-425064  
3500 Resistencia, Argentina.  
e-mail: hdirado@ing.unne.edu.ar

suponer, en aquel momento, que el suelo había variado sus parámetros de resistencia después de entrar en contacto con los componentes de los citados residuos. El fuerte tono rojizo del tanino que mostraba la ribera hizo presumir una activa participación de este material en la mencionada estabilidad. Además, y a raíz de una visita realizada a la Empresa Indunor SA (La Escondida, Provincia de Chaco) con motivo del estudio referido a la estabilización de suelos con furfural (*Di Rado y Fabre, 1996*), se obtuvo información, por parte de la Sección Química de la fábrica, de haber logrado una reacción mecánica favorable del suelo donde distribuían el sobrante de una mezcla con tanino que ocupaban en el laboratorio, transformando la superficie de suelo natural en otra apta para estacionamiento de vehículos pesados en períodos lluviosos.

## 2. MATERIALES

### Tanino

Los trabajos se ejecutaron utilizando extracto de quebracho colorado. El tanino lleva la fórmula general:



que es una pentadigaloilglucosa. De esta forma puede decirse que el tanino de quebracho se comporta químicamente como una sustancia de carácter aromático, de muy compleja composición, en la que predominan los grupos fenólicos polihídricos condensados, o polifenoles unidos por cadenas alifáticas cortas. (*Conant y Blatt, 1989*).

Para la presente investigación se usó tanino provisto por la Empresa Unitán SAICA bajo la nominación Superior ATO (en adelante Sato), elaborado en sus instalaciones de Puerto Tirol - Provincia de Chaco. Sus propiedades son:

Aspecto	: polvo fino color marrón
Humedad	: 7,9%
Densidad aparente	: 0,5813 gr./cm <sup>3</sup>
Densidad compactada	: 0,7813 gr./cm <sup>3</sup>
pH	: 10,92

Es inerte; puede ser almacenado casi indefinidamente en estado de polvo. Es más activo con el formol en soluciones ligeramente alcalinas. No presenta riesgos para la salud por inhalación, contacto con la piel o ingestión (*Panshin et al, 1959*). No requiere precauciones especiales pero se recomienda el uso de máscaras antipolvo en el momento de descargar el producto de las bolsas. No es inflamable pero sí combustible en condiciones similares a la madera.

### Aldehído

Se eligió el formol como reactivo. Es una solución acuosa de aldehído fórmico o formaldehído de las siguientes características (*Conant y Blatt, 1989*):

Tipo I (analítico)
Formol 40%
Formaldehyde 40 w.p.
Densidad: 1.097
P.M. 30.03
Tipo II (no analítico)
Formol 40%

Combinados con el tanino se produce una resina del tipo fenol formaldehído.

### Suelo natural

Como estaba previsto realizar una experiencia en Puerto Tirol, se obtuvieron muestras superficiales del futuro lugar de trabajo sobre las que se realizaron ensayos con el propósito de conocer con exactitud las propiedades del suelo en estado natural (*Mitchell y Klainer, 1987*). Éste presenta las siguientes características:

#### Primer muestreo (muestra A)

Límite líquido	: 42.6
Límite plástico	: 18.8
Índice plástico	: 23.8
Porcentaje pasa tamiz 200	: 91%
Clasificación SUCS	: CL
Clasificación HRB	: A-7-6(22)

#### Segundo muestreo (muestra B)

Límite líquido	: 47.7
Límite plástico	: 34.0
Índice plástico	: 13.7
Porcentaje pasa tamiz 200	: 91%
Contenido de materia orgánica:	15%
Clasificación SUCS	: OL
Clasificación HRB	: A-7-5(16)

Como puede apreciarse de las características físicas de ambas muestras, es de destacar el importante contenido de materia orgánica de la muestra B. La investigación se realizó utilizando los dos tipos de suelos para apreciar la diferencia, si la hubiere, del comportamiento del mejorado debido a la presencia del material orgánico. Se procedió de esta manera porque, por tratarse de horizontes superficiales del suelo a mejorar, son muchas las probabilidades de encontrarse con suelos orgánicos.

## 3. MÉTODOS

Elegidos los materiales, el paso siguiente consistió en definir las resinas a utilizar, para lo cual se seleccionan distintas proporciones de tanino y de formol en función de sus pesos moleculares:

$$1 \text{ mol de tanino (T)} = 1.079 \text{ N (en unidades SI)}$$

$$1 \text{ mol de formol (F)} = 0.294 \text{ N}$$

Como el material (Sato) provisto por Unitán contiene 70% de tanino, para alcanzar 1 mol de tanino serán necesarios  $1.079 \text{ N} / 0.7 = 1.541 \text{ N}$  de Sato. Se prepararon así las resinas cuya composición detallada se indica en la Tabla 1, donde las columnas expresan la participación de cada componente en función de su peso molecular (mol), de su masa (en Newton) y de su porcentaje interviniente. De acuerdo con este porcentaje, el contenido de tanino para cada resina es variable según la siguiente secuencia: R4 > R3 > R2 > R1 > R5 > R6 > R7

TABLA 1: COMPOSICIÓN DE LAS RESINAS

Resina	Componentes					
	Tanino (T) (mol)	Formol (F) (mol)	Sato (S) (N)	For.(F) (N)	Sato (S) (%)	For. (F) (%)
R1	1 T	+ 1 F	1.541	+ 0.294	84.0	+ 16.0
R2	2 T	+ 1 F	3.082	+ 0.294	91.3	+ 8.7
R3	3 T	+ 1 F	4.624	+ 0.294	94.0	+ 6.0
R4	4 T	+ 1 F	6.165	+ 0.294	95.4	+ 4.6
R5	1 T	+ 2 F	1.541	+ 0.588	72.4	+ 27.6
R6	1 T	+ 3 F	1.541	+ 0.883	63.6	+ 36.4
R7	1 T	+ 4 F	1.541	+ 1.177	56.7	+ 43.3

Cada resina se incorporó al suelo natural en las siguientes proporciones en peso de suelo seco: 5%, 10%, 15%, 20%, denominándose estabilizado al grupo genérico EiRj donde i varía entre 5% y 20% y j entre 1 y 7. Se definieron así 28 estabilizados. Para cada uno de ellos se prepararon 6 probetas en el molde Harvard aplicando una energía de compactación obtenida de la conformación de 5 capas con 50 aplicaciones de la barra por capa. Se eligió este ensayo por ser el más representativo del trabajo de campo realizado en suelos finos arcillosos (Di Rado y Solari, 1997). Como interesaba además conocer la influencia de los días de curado en la resistencia, se establecieron grupos para ensayar luego de transcurridos distintos períodos de tiempo a partir de la fecha de moldeo. En total se confeccionaron 250 probetas que fueron ensayadas respetando un riguroso plan de tareas, cuidando la conservación de la humedad de moldeo de cada grupo durante la etapa de curado. Esta humedad se corresponde, aproximadamente, con la humedad óptima lograda en el ensayo de compactación Harvard aplicando la misma energía antes citada.

Durante la primera etapa de la investigación se preparó la mezcla de Sato + Formol + Agua (ésta según necesidad) y se incorporó al suelo de acuerdo a la proporción elegida. Trabajar de esta manera significa atender constantemente a la variable tiempo, debido a que la resina comienza a reaccionar cuando sus componentes entran en contacto. Ello se puso de manifiesto en la primera experiencia de campo. Por tal motivo se cambió el método de trabajo por el siguiente:

- Se agregó al suelo la cantidad calculada de Sato según la EiRj elegida.
- Se mezcló íntimamente el suelo natural + Sato. En este paso suele ser útil observar la coloración del mezclado hasta lograr una tonalidad pareja.
- Se preparó formol en la cantidad necesaria de acuerdo a la EiRj elegida. Si fuera necesario se adiciona agua para alcanzar la humedad adecuada, definida previamente mediante un ensayo de compactación según el método de Harvard.
- Se volvió a mezclar íntimamente hasta conseguir visualizar una distribución homogénea de la humedad. Con un método rápido de cálculo de contenido de agua de la mezcla como, por ejemplo, el uso del horno microondas, se puede ajustar la misma según necesidad (Norma A.S.T.M. D4643-93).

A continuación se confeccionaron las probetas de ensayo y se guardaron en cámaras cerradas para que cumplan su período de curado sin variar su humedad. Una vez cumplido el período de estacionamiento se ensayaron a la compresión simple, obteniéndose una familia de puntos lo suficientemente numerosos como para trazar una curva cuadrática que mejor represente a toda la familia. En esta curva queda definida la máxima resistencia alcanzada y su correspondiente deformación.

Todas las muestras de suelo natural y tratado fueron clasificadas según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y según la norma A.S.T.M. D 3282-93.

FIGURA 1: SUELO NATURAL (muestra A)

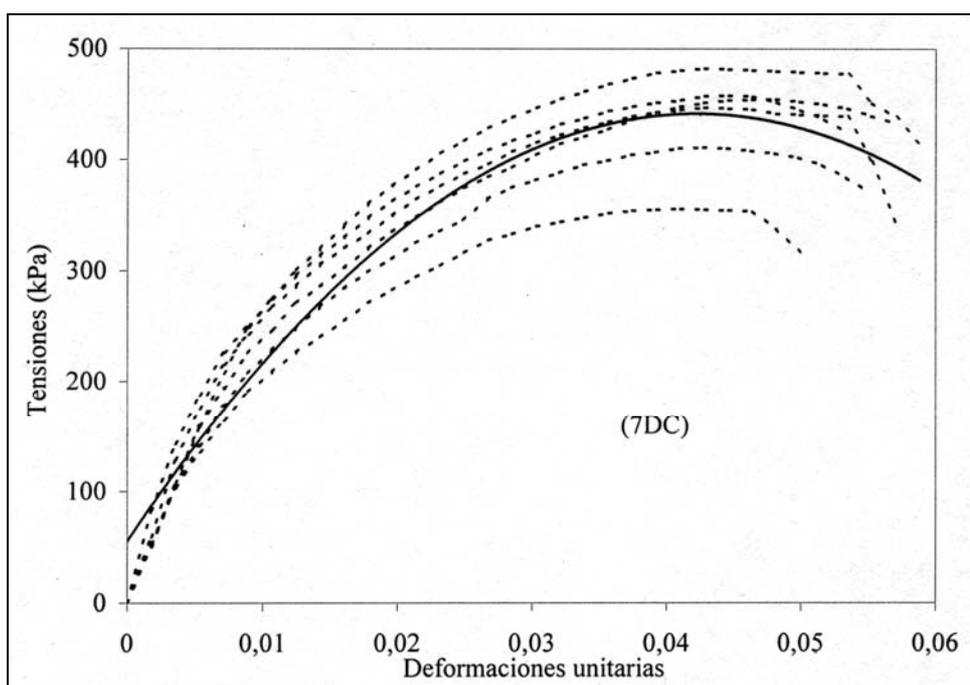
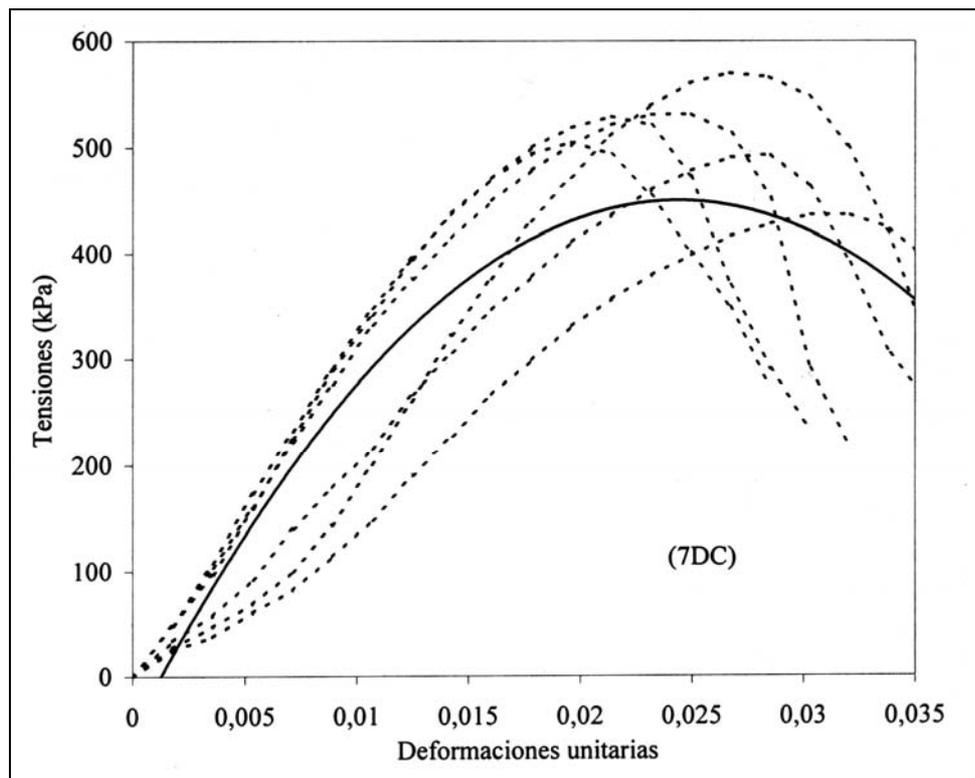


FIGURA 2: SUELO NATURAL (muestra B)



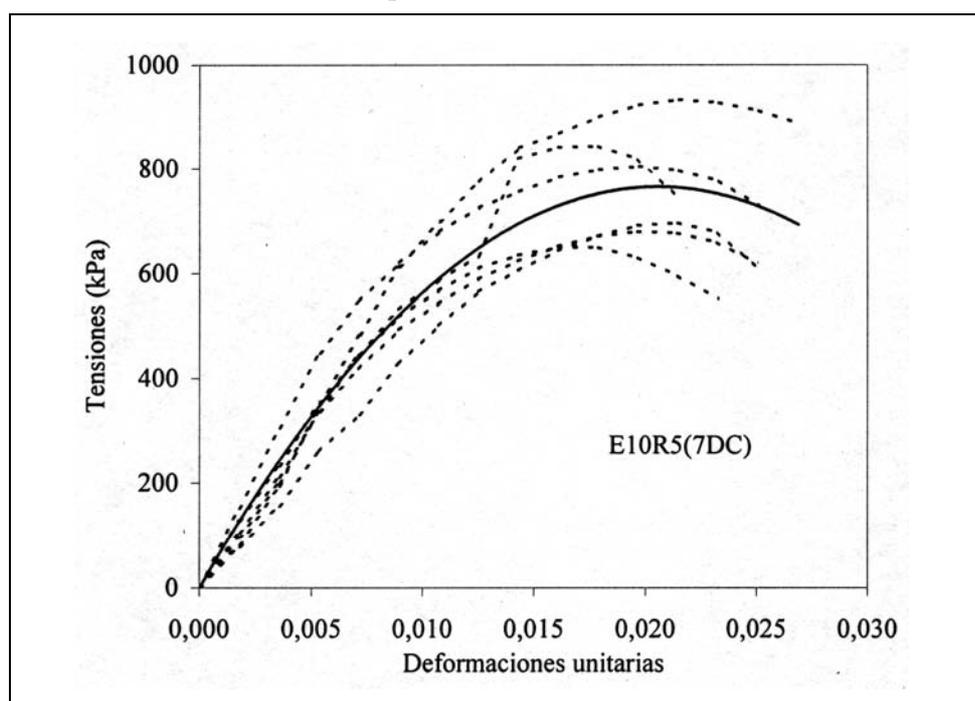
#### 4. RESULTADOS

Con las dos muestras (A y B) de suelo natural se prepararon series de probetas que fueron sometidas a la compresión simple. Las resistencias y deformaciones logradas han sido representadas en las Fgs. 1 y 2.

##### a) Primer tratamiento

Se realizó usando la muestra A y el formol Tipo I preparando, en total, 250 probetas. Como ejemplo de los resultados alcanzados se han graficado en Fig. 3 los valores correspondientes para uno de los estabilizados elegidos (E10R5) con 7 días de curado (7 DC). En dicha Fig. 3 aparece la familia de puntos lograda y la curva cuadrática que la representa.

FIGURA 3: SUELO TRATADO (muestra A + formol Tipo I)



De la misma forma se procedió con todos los estabilizadores programados y todos los resultados hallados fueron resumidos en la Tabla 2 tomando un promedio de los valores de rotura para cada grupo de 6 probetas ensayadas con un mismo período de curado, a los fines de poder establecer una comparación de resultados en el gráfico mostrado en la Fig. 4

**TABLA 2: COMPRESIÓN SIMPLE PROMEDIO SUELO NATURAL Y EIRj (7 DC)**

Resina	Estabilizante		Tensiones (kPa)
	Tipo	Valor	
R1	Suelo Natural	0	441
	E5	5	863
	E10	10	1089
	E15	15	1589
	E20	20	1746
R2	Suelo Natural	0	441
	E5	5	922
	E10	10	1118
	E15	15	1118
	E20	20	1108
R3	Suelo Natural	0	441
	E5	5	863
	E10	10	696
	E15	15	736
	E20	20	853
R4	Suelo Natural	0	441
	E5	5	716
	E10	10	814
	E15	15	824
	E20	20	716
R5	Suelo Natural	0	441
	E5	5	569
	E10	10	765
	E15	15	1059
	E20	20	1118
R6	Suelo Natural	0	441
	E5	5	530
	E10	10	814
	E15	15	1255
	E20	20	1314
R7	Suelo Natural	0	441
	E5	5	539
	E10	10	834
	E15	15	1236
	E20	20	1628

#### b) Segundo tratamiento

Se utilizó la misma muestra A de suelo y el formol Tipo II, no analítico. Solamente se trabajó con las resinas R5, R6 y R7 incorporadas al suelo en 10% y 15%, preparando grupos de 6 probetas para ser ensayadas a 7, 14, 21, y 28 días de curado. En total fueron confeccionadas 144 probetas. En la Tabla 3 se muestran los resultados promedio para cada grupo y período de curado. Con estos valores se construyó el gráfico de la Fig. 5, donde se puede apreciar la influencia del curado en la resistencia máxima.

**TABLA 3: SUELO TRATADO (muestra A + formol Tipo II)**

Estabilizado	Curado días	Deformación $\epsilon$	Tensiones (kPa)
E10R5	7	0.018	618
	14	0.017	775
	21	0.016	696
	28	0.016	686
E10R6	7	0.019	843
	14	0.017	814
	21	0.022	941
	28	0.021	1471
E10R7	7	0.017	912
	14	0.021	1344
	21	0.023	1442
	28	0.020	1393
E15R5	7	0.017	490
	14	0.014	736
	21	0.018	873
	28	0.022	1040
E15R6	7	0.018	794
	14	0.025	1147
	21	0.023	1108
	28	0.024	1255
E15R7	7	0.016	569
	14	0.018	451
	21	0.026	1020
	28	0.025	1147
Suelo Natural	7	0.041	441

#### c) Tercer tratamiento

Se procedió de la misma forma que en el segundo tratamiento pero utilizando la muestra B de suelo natural y el formol Tipo I. Los resultados se muestran en la Tabla 4 y una representación gráfica de la misma se indica en la Fig. 6.

También se hicieron ensayos de identificación y clasificación del material resultante del suelo natural tratado, tanto para la muestra A como para la muestra B, para varios tipos de estabilizados preparados. Como ejemplo se citan los valores de Tabla 5.

FIGURA 4: SUELO NATURAL Y TRATADO (muestra a + formol Tipo I)

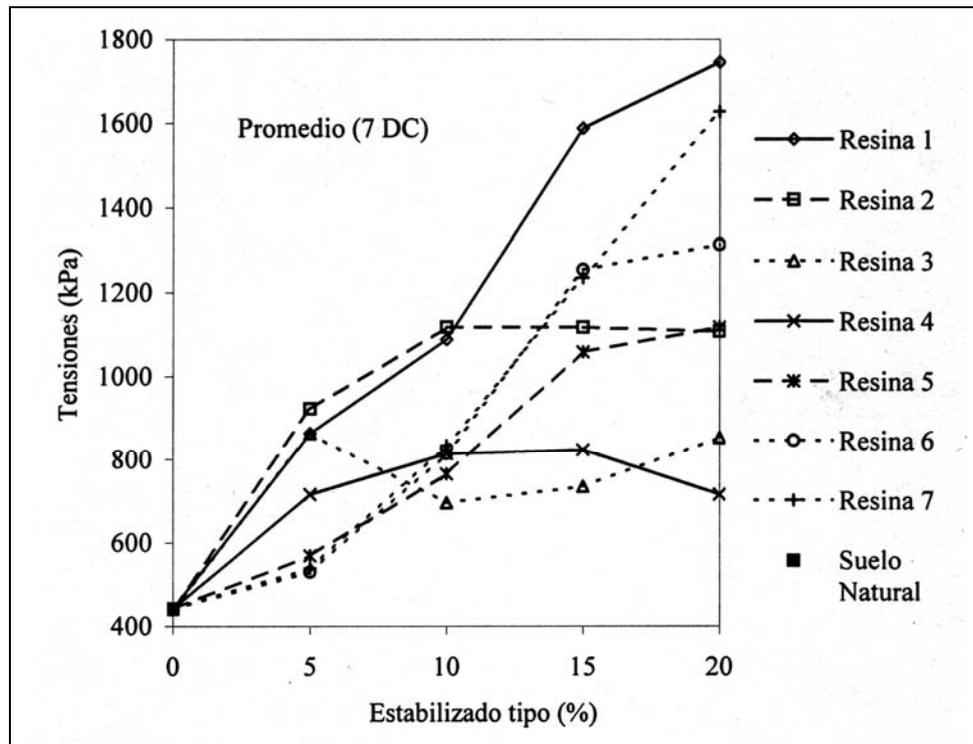


FIGURA 5: SUELO TRATADO (muestra A + formol Tipo II)

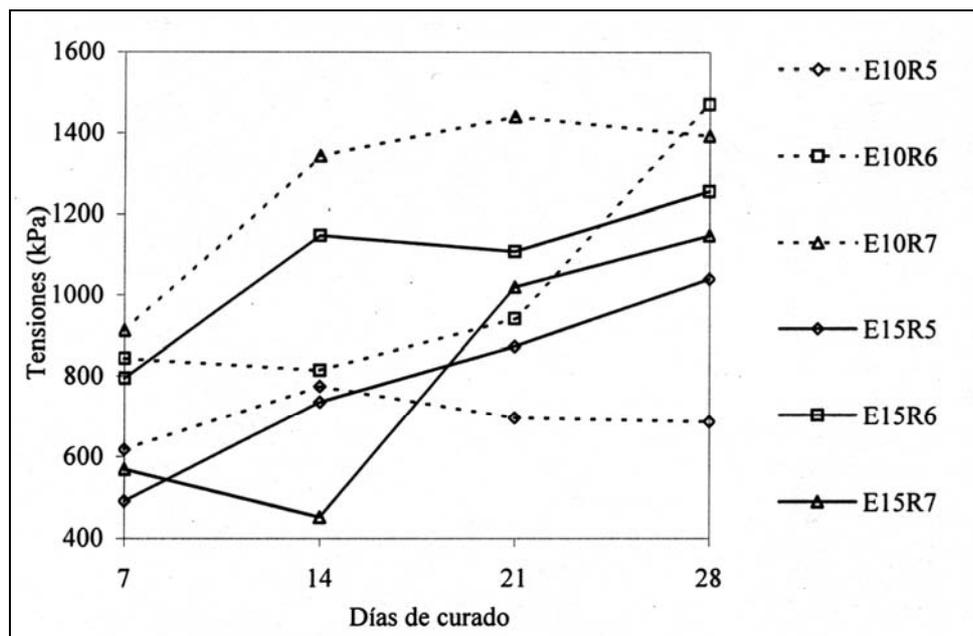


FIGURA 6: SUELO TRATADO (muestra B + formol Tipo I)

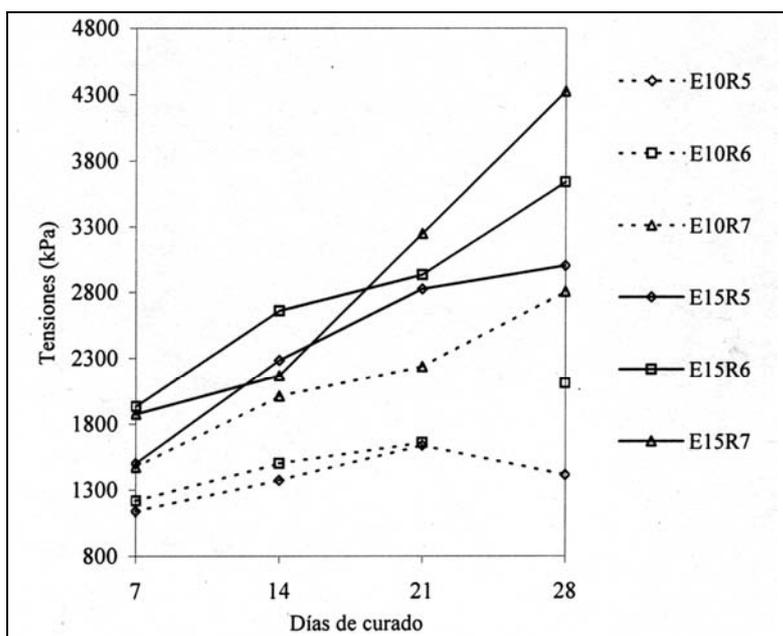


TABLA 4: SUELO TRATADO (muestra B + formol Tipo I)

Estabilizado	Curado días	Deformación $\epsilon$	Tensiones (kPa)
E10R5	7	0.019	1138
	14	0.022	1373
	21	0.020	1638
	28	0.021	1412
E10R6	7	0.020	1216
	14	0.020	1500
	21	0.020	1657
	28	0.019	2109
E10R7	7	0.020	1471
	14	0.021	2010
	21	0.021	2236
	28	0.022	2805
E15R5	7	0.018	1500
	14	0.022	2285
	21	0.027	2824
	28	0.025	3001
E15R6	7	0.022	1932
	14	0.022	2658
	21	0.026	2932
	28	0.024	3638
E15R7	7	0.023	1873
	14	0.023	2167
	21	0.023	3246
	28	0.023	4325
Suelo Natural	7	0.022	461

TABLA 5: PARÁMETROS DE PLASTICIDAD

Estabilizado	Muestra A + formol Tipo I		Estabilizado	Muestra B + formol Tipo I	
	LL (%)	IP (%)		LL (%)	IP (%)
E10R2	24.8	7.1	E10R5	-	NP
E10R3	19.6	3.4	E10R6	-	NP
E10R4	20.2	2.7	E10R7	-	NP

### 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la Fig. 1 y en la Fig. 2 se destacan los resultados de resistencia y deformación correspondientes a cada una de las muestras de suelo natural. Al compararlos con los resultados hallados para las muestras tratadas se nota, en general, un importante aumento en la resistencia y una acentuada disminución en la deformación de rotura, tal como puede apreciarse en la gráfica de la Fig. 3 para E10R5. En la Tabla 2 y en la Fig. 4 se destaca, claramente, la participación que cada resina y su diferente porcentaje de incorporación tiene en el comportamiento de la mezcla con el suelo natural, cuyo valor propio corresponde a la incorporación 0% de estabilizado. En dicha Fig. 4 se nota, en general, la mejor respuesta mecánica del suelo cuando es tratado con mayor incorporación de estabilizado. Esta condición queda netamente reflejada con el uso de las resinas R1, R5, R6 y R7. De este grupo, las tres últimas citadas son las más económicas del conjunto total programado, pues en ellas interviene en menor proporción el componente de mayor costo (Sato), tal como puede apreciarse en la Tabla 1. En el comercio, la relación costoSato/formol está en el orden de 3 veces. Por tal razón se prestó atención al comportamiento de las resinas R5, R6 y R7, las

cuales mostraron una ganancia regularmente creciente en la resistencia de la mezcla a medida que aumentaba su porcentaje de incorporación. Respecto de este último se tomó la decisión de estudiar la respuesta del tratamiento cuando las resinas (R5, R6 y R7) eran agregadas en porcentajes de 10% y 15%, por considerar que entre estos dos valores fue más notoria y sostenida la pendiente de crecimiento de la resistencia (Fig. 4) y con el objeto de no encarecer mayormente las mejoras buscadas. Además, cuando se prepararon las probetas a ensayar, se notó una mejor trabajabilidad de la mezcla para las citadas resinas.

En la Tabla 3 y en la Fig. 5 los valores obtenidos muestran una clara diferencia con los de Tabla 2 y Fig. 4 respectivamente, como consecuencia de haber cambiado el uso del formol Tipo I por el formol Tipo II para la misma muestra de suelo (muestra A). Las resistencias alcanzadas son significativamente menores, además de mostrar una dispersión ilógica entre E10 y E15 para una misma resina. Como el método de ensayo utilizado ha sido el mismo, la diferencia de comportamiento apreciada debe encontrarse en el cambio del uso del tipo de formol.

Observando los resultados de la Tabla 4 y el gráfico de la Fig. 6 se nota un gran aumento de la resistencia del suelo tratado y, en general, una secuencia lógica de ganancia de la misma cuando aumenta el porcentaje de incorporación de las resinas y el mayor número de los días de curado. Es de destacar que para la muestra B de suelo los valores resistentes usando el formol Tipo I fueron, en algunas mezclas, del orden de 3 veces superiores a cuando se utilizó el formol Tipo II para la muestra A de suelo (Figs. 6 y 5, respectivamente), que no tiene materia orgánica incorporada. Fue realizada una prueba de inmersión en agua, durante varios meses, de una serie de probetas preparadas con la muestra A de suelo natural y otra con la misma muestra tratada con resinas. Sin lograr resultados cuantitativos se pudo establecer, cualitativamente, un comportamiento muy distinto de ambas series. Una, la de suelo natural, mostró severos signos de desmoronamiento. Otra, la de suelo tratado, permaneció indiferente a la acción del agua, manteniendo firme su conformación inicial. En la actualidad se está diseñando y construyendo un dispositivo especial que permita lograr resultados cuantitativos sobre la permeabilidad.

Finalmente si se comparan los resultados hallados para el valor de los límites de consistencia del suelo natural y tratado (Tabla 5) se aprecian importantes cambios en los parámetros de plasticidad. Los valores logrados para el límite de contracción fueron bastante dispares pero con una tendencia a ser más elevados para el suelo mejorado.

## 8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CONANT, J. B. Y BLATT, A. H.,

Química de los compuestos orgánicos.

Ed. Aguilar S. A. De Ediciones, pp 490 - 491, Madrid (1989)

DI RADO, H. R. Y FABRE, V. E.,

Estabilización química de suelos mediante el complejo anilina - furfural.

Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Secretaría General de Ciencia y Técnica. U.N.N.E. Tomo IV p.p. 165 - 168. Argentina (1996)

DI RADO, H. R. Y SOLARI, R. E.,

Método de amasado en la compactación de suelos finos del N.E. Argentino. Comparación con métodos dinámicos.

Encuentro de Geotécnicos Argentinos. Sociedad Argentina de Mecánica de Suelos. I.4. Argentina (1997)

FRANCO, R.L.,

Estudio, desarrollo y formulación de un producto preservante de maderas a partir de materias primas regionales.

Instituto de Ecología, Recursos Naturales y Tecnología y Subsecretaría de Industrias del Ministerio de Economía. Provincia del Chaco. Argentina (1981)

## 6. CONCLUSIONES

- Se ha logrado mejorar el comportamiento mecánico e hidráulico del suelo natural mediante el agregado de distintos tipos de resinas conformadas con diferentes proporciones de tanino y formol.
- El tanino utilizado ha sido siempre del mismo origen (Extracto de Quebracho Colorado); en cambio se probaron dos tipos de formol (tratamientos a) y b)) de distinta calidad que proveyeron diferentes resultados, lo cual destaca la importancia de la elección del formol adecuado para la generación de la resina.
- Son muy alentadores los resultados logrados con el suelo que posee abundante contenido de materia orgánica (muestra B). Este material mostró elevados valores de resistencia, lo que permite suponer que la materia orgánica contribuyó favorablemente en la formación de la resina aglutinante. Esta cualidad puede colocar al producto objeto de la presente investigación en un orden de prioridad respecto de otros usados con el mismo fin y que muestran neta incompatibilidad con la materia orgánica contenida en el suelo.
- El suelo tratado con resina logra una notable ganancia en la impermeabilidad, manteniendo firme su estabilidad cuando es sometido a la acción del agua durante un prolongado período de inmersión de varios meses.
- Se pone en evidencia el fenómeno de intercambio de cationes (Pardo, 1955), con la consecuencia de lograr cambiar radicalmente las constantes físicas del suelo hasta, en algunos casos, anular por completo su plasticidad.
- Por último se concluye que, atendiendo a condiciones técnico-económicas, siempre será necesario, para definir el porcentaje de estabilizado y la dosificación de la resina, recurrir a adecuados ensayos de laboratorio a ejecutar sobre cada tipo de suelo cuyo comportamiento mecánico e hidráulico se desee mejorar.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Geólogo Adolfo Valerio Gustin y al Químico Industrial Roberto Luis Franco, por su interés en la investigación y disposición de colaboración, así como al Sr. Juan E. Ferreyra, a cargo de ensayos y confección de planillas y gráficos.

- MITCHELL, J. K. Y KLAINER, E.,  
Chemical Stabilization of Landslides.  
*Research Report UCB - ITS - RR - 87 - 16. Institute of Transportation Studies. University of California. Berkely. U.S.A. (1987)*
- PANSHIN, A. J.; HARRAR, E. S.; BAKER, W. J. Y PROCTOR, P. B.,  
Taninos (clasificación de los taninos, aplicaciones, extracción de tanino).  
*Productos forestales, beneficio y aprovechamiento. p.p. 520 - 530. Salvat. Barcelona (1959)*
- PARDO, L. L.,  
Usos del extracto de quebracho (intercambiadores de cationes; perforaciones petrolíferas; producción de ácidos stífnico y oxálico; plásticos; preservación de maderas; lacas; insecticidas; teñidos de redes y espineles).  
*Boletín Argentino Forestal 13 (130): 15 (1955)*



# Problemáticas ambientales del sistema periurbano de la ciudad de Punta Alta

## Suroeste Bonaerense

Espejo, Natalia - Solis, Graciela

### Resumen

*El trabajo se propone profundizar el estudio sobre la relación existente entre las diversas formas de apropiación del espacio por parte de la sociedad y la emergencia de conflictos ambientales. El área de estudio corresponde al sistema periurbano de la ciudad de Punta Alta, la cual constituye un área vulnerable, donde se acentúan los conflictos socioeconómicos y ecológicos que conducen a la degradación del medio ambiente.*

*La fragilidad de los componentes del ambiente es la característica dominante en el área de estudio y en tal sentido puede afirmarse que es el resultado de condiciones climáticas y geomorfológicas correspondientes a la escala regional -suroeste bonaerense- que sólo permiten el desarrollo de ecosistemas cuyo principal atributo radica en el alto grado de adaptabilidad y especialización a condiciones ecológicas cada vez más limitantes.*

*Teniendo en cuenta que tanto la comunidad científica como la política suelen concentrar sus esfuerzos en la resolución de problemas urbanos propiamente dichos, se advierte que, en el caso de áreas periurbanas donde existe espacio para una planificación ambientalmente sustentable, la cartografía temática puede resultar de gran ayuda en el proceso de toma de decisiones tendientes a un desarrollo armónico desde el punto de vista de los principios ambientales.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El área de estudio corresponde al *sistema periurbano de la ciudad de Punta Alta*, la cual constituye un área vulnerable, donde se acentúan los conflictos socioeconómicos y ecológicos que conducen a la degradación del medio ambiente, resultado de la relación existente entre las diversas formas de apropiación del espacio por parte de la sociedad y la emergencia de conflictos ambientales.

El punto de partida del trabajo, consiste en la definición del sector periurbano, zona dinámica, compleja y de fricción permanente, con intercambios muy activos influenciados fuertemente por la ciudad, provocando un flujo totalmente

asimétrico de materia y energía. Por otra parte, desde el punto de vista ecológico, es un espacio donde se producen discontinuidades de servicios urbanos y rurales, cuyos efectos se traducen en la aparición de conflictos ambientales.

Asimismo, la fragilidad de los componentes del ambiente es la característica dominante en el área de estudio y en tal sentido puede afirmarse que es la manifestación de condiciones climáticas y geomorfológicas correspondientes a la escala regional -suroeste bonaerense- que sólo permiten el desarrollo de ecosistemas cuyo principal atributo radica en el alto grado de adaptabilidad y especialización a caracteres ecológicos cada vez más limitantes.

Teniendo en cuenta que tanto la comunidad científica como la política suelen concentrar sus esfuerzos en la resolución de problemas urbanos propiamente dichos, se advierte que, en el caso de áreas periurbanas donde existe espacio para una planificación ambientalmente sustentable, la cartografía temática

Entregado: 13 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 23 de Octubre de 2001

Dpto. de Geografía. Universidad Nacional del Sur.  
San Juan y 12 de Octubre. 4° Piso. Bahía Blanca.

e-mail: nespejo@uns.edu.ar

puede resultar de gran ayuda en el proceso de toma de decisiones tendientes a un desarrollo armónico desde el punto de vista de los principios ambientales.

En relación con lo expresado, se plantean los objetivos específicos del trabajo:

- Definir el espacio periurbano de la ciudad de Punta Alta, como sector que recibe los impactos del crecimiento urbano.
- Detectar problemas ambientales emergentes de los diferentes usos del suelo.
- Confeccionar la cartografía que represente los problemas con toda su magnitud.

## 2. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Las hipótesis de trabajo a tener en cuenta:

- H. 1: El sistema periurbano de la ciudad de Punta Alta presenta un alto grado de degradación en los sectores de Villa del Mar y Villa Arias.
- H. 2: Las excavaciones para la extracción de arenas han generado microrelieves alterando los ecosistemas originarios.
- H. 3: Distintas áreas del espacio periurbano se constituyen en depósitos de residuos sólidos urbanos que contribuyen a deteriorar el medio ambiente.

La metodología y técnicas que se utilizaron para contrastarlas son:

- La recopilación de información a través de la búsqueda y análisis de material bibliográfico.
- La interpretación de documentación cartográfica, datos estadísticos y de relevamientos en el terreno.
- La delimitación del espacio periurbano y detección de problemáticas ambientales.
- La aplicación de Programas de Diseño Asistidos por Computadora para la elaboración de cartografía automatizada.

## 3. MARCO TEÓRICO

Definir el espacio periurbano y analizar la degradación ambiental de una ciudad requiere desarrollar el marco teórico-conceptual que sustenta la investigación.

El sistema periurbano "es un espacio donde se acumulan discontinuidades de servicios urbanos y rurales, así como materiales de difícil y lenta digestión y dilución biológica." Morello (1996) Es una zona de fricción permanente, con intercambios muy activos que se encuentran regidos por la ciudad, lo que provoca un flujo totalmente asimétrico de materia y energía. Es un espacio muy dinámico y complejo, que tiene todas las características de una interfase ecológica y de una frontera socioproductiva.

Se trata de una interfase porque allí disminuyen varios servicios del sistema urbano, como los de agua potable, electricidad, desagües pluviales, pavimento, recolección de basura, cloacas; y también se atenúan los "servicios ecológicos" que provee el medio rural, como la capacidad de absorber dióxido de carbono, de fijar energía solar en forma de energía química y transformarla en alimentos, de descomponer materia orgánica, reciclar nutrientes, regular el agua, absorber, retener y distribuir flujos pluviales de corta duración y formar suelo.

Hay que destacar que la condición ecológica más importante del espacio periurbano consiste en que éste, se carga continuamente de productos del metabolismo de la ciudad como chatarra, efluentes, contaminantes, basura, escombros y residuos sólidos industriales, produciéndose un desequilibrio entre los aportes y la capacidad natural de resolución de los mismos. Esta situación genera deterioro, degradación del subsistema natural y espacios con altos costos de recuperación, para la consecución de sus funciones específicas.

El sistema periurbano también se comporta como una *frontera socioeconómica* presentando características que son compartidas en todo el espacio, el cual se ocupa y se apropia, transformando el ambiente natural en un sistema con fuertes alteraciones.

Existe una demanda constante de control del medio físico por la sociedad, expresada en impermeabilizaciones sobredimensionadas del suelo, rectificación de cauces, rediseño de redes hidrográficas y construcción de defensas.

Por otro lado, el proceso de urbanización produce una nueva riqueza económica, fundamentalmente con el fenómeno de especulación, generado por el valor de la tierra, pero a un costo ambiental enorme, ya que desaparecen funciones ecológicas imprescindibles como reciclado de nutrientes, retención, redistribución del agua, recarga de acuíferos y absorción de contaminantes, entre otros.

También comienzan a surgir actividades propias de áreas marginales, como desarmaderos de automóviles, faenamiento de vacunos en mataderos clandestinos, actividad hortícola precaria, usos ilegales de tierra pública y privada para la producción de ladrillo, extracción de rocas calcáreas (tosca), extracción de suelo orgánico, mantillo, rollos de césped gramíneo natural para cubrir plazas y jardines, como también la deposición de residuos a cielo abierto.

Otra característica es la aparición de grupos sociales que poseen sus propios códigos y en los cuales la violencia es un instrumento frecuente para la solución de conflictos; hay confusión legal en cuanto a la tenencia de la tierra, las condiciones sanitarias son precarias; y, por entrar en disfuncionalidad con el metabolismo industrial o por costos crecientes de control y vigilancia contra el robo, desaparecen algunas actividades productivas, como la horticultura de campo abierto.

En todo sistema periurbano se produce, asimismo, un rediseño ecogeográfico del paisaje, es decir que aparecen nuevas *estructuras biofísicas*, denominadas neorelieves y neoeosistemas.

Los *neorelieves* se generan por excavaciones, rellenos y disposición de residuos. Esta estructura emerge tanto, por las excavaciones para extracción de carbonatos (tosqueras), ladrilleras y tierras para rellenos viales, como por la acumulación de materiales en sectores deprimidos.

Los *neoeosistemas* se forman a partir de formaciones vegetales degradadas que son invadidas por especies oportunistas de gran competitividad.

Otros conceptos relacionados con el tema son medio ambiente, degradación y vulnerabilidad.

El *medio ambiente* es el entorno vital, es decir "el conjunto de factores físico-naturales, estéticos, culturales, sociales y económicos que interactúan con el individuo y con la comunidad en la que vive." *Conesa Fdez-Vitora (1997)* Este concepto implica directamente a los grupos humanos porque es la fuente de recursos que abastece de materias primas y energía que necesitan para desarrollarse.

La utilización de los recursos naturales, guiada sólo por las distintas pautas socioculturales que rigen a los grupos humanos en cada momento histórico, sin considerar su ritmo de renovación, se traduce en *conflictos o problemas ambientales*. Cuando los mismos se presentan en una red de problemas interdependientes, expresados y sustentados por información, constituyen *problemáticas ambientales*.

Los conflictos ambientales, en tanto son respuestas de un sistema complejo y dinámico como es el ambiente y se manifiestan en el espacio geográfico, son susceptibles de ser analizados a partir del componente paisaje. El mismo es una fuente de información para detectar y evaluar conflictos de origen natural, de interacción y antrópicos. *Fernández (1994)*, los cuales permitan orientar el planteo de pautas de gestión.

La *vulnerabilidad ambiental* es "el grado de susceptibilidad que tiene el medio a ser deteriorado ante la incidencia de determinadas actuaciones." *Conesa Fdez-Vítora (1997)*

También es importante definir el tamaño y las funciones de la ciudad, de los cuales dependen directamente los problemas que presenta el sector periurbano. Así distintos autores proponen clasificaciones con criterios diferentes, según el número de habitantes o las actividades que en ellas se realizan y de la combinación de ambos.

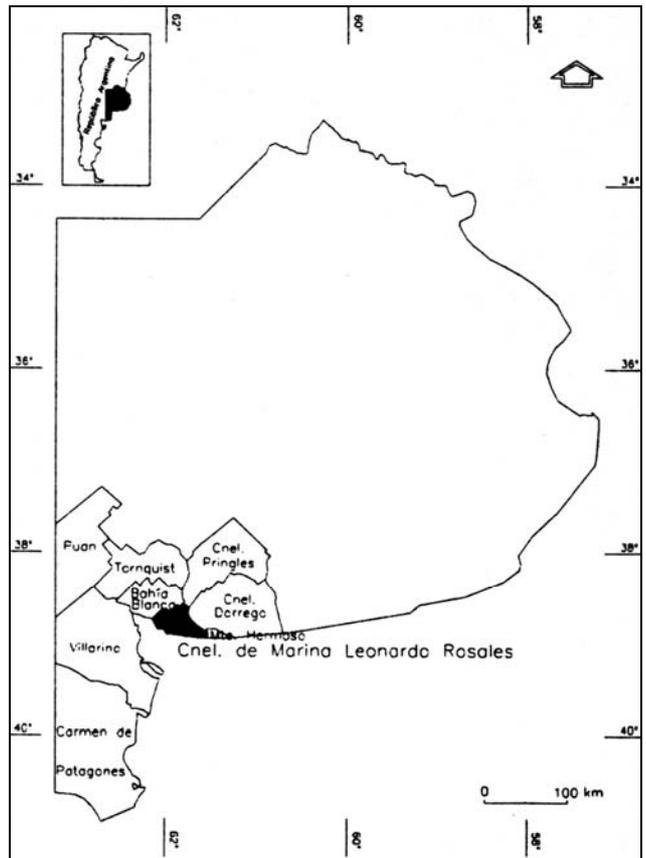
En el contexto de esta investigación, desde el punto de vista cuantitativo se define a Punta Alta, como una ciudad intermedia por poseer una población que oscila entre 20.000 y 200.000 habitantes (59.543 habitantes según el Censo Nacional de 1991). Cualitativamente, constituye un centro de enlace para núcleos subsidiarios dentro de su área de influencia, nunca superior a un radio de 150 kilómetros. *Randle (1992)*

Con relación al criterio cualitativo este autor expresa: "*Por ciudad media se entiende no a toda aglomeración urbana con una población determinada por medidas precisas, sino a toda ciudad de un peso demográfico apreciable en relación con la población de una región y que ejerce sobre ella funciones diversificadas de servicio de su entorno.*"

**4. LA CIUDAD DE PUNTA ALTA**

Localizada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, República Argentina, constituye la ciudad cabecera del Partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales, ocupando una superficie de 1.312 km<sup>2</sup>. (Fig. 1)

**FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DEL PARTIDO DE CORONEL ROSALES SUROESTE PCIA. DE BUENOS AIRES**



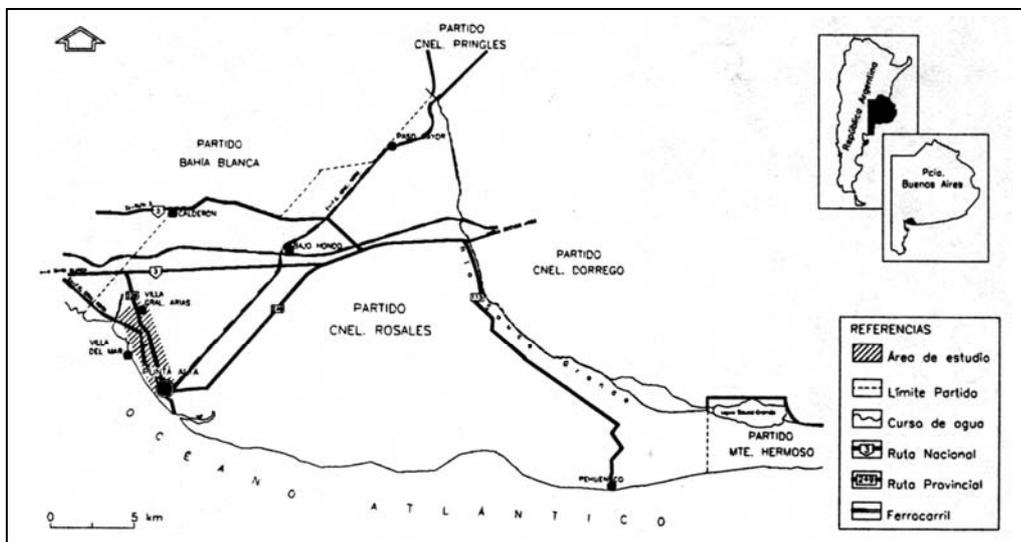
Fuente: Elaboración a partir Atlas Pcia, de Buenos Aires, 1999. Año de elaboración 2001.

Espacialmente presenta un crecimiento hacia la ciudad de Bahía Blanca, en forma paralela a la ruta provincial N° 229, hacia el sector norte. (Fig. 2)

Punta Alta cumple funciones de servicios, por lo tanto los materiales que el sistema periurbano debe metabolizar, básicamente, son residuos domiciliarios y los provenientes de la actividad comercial.

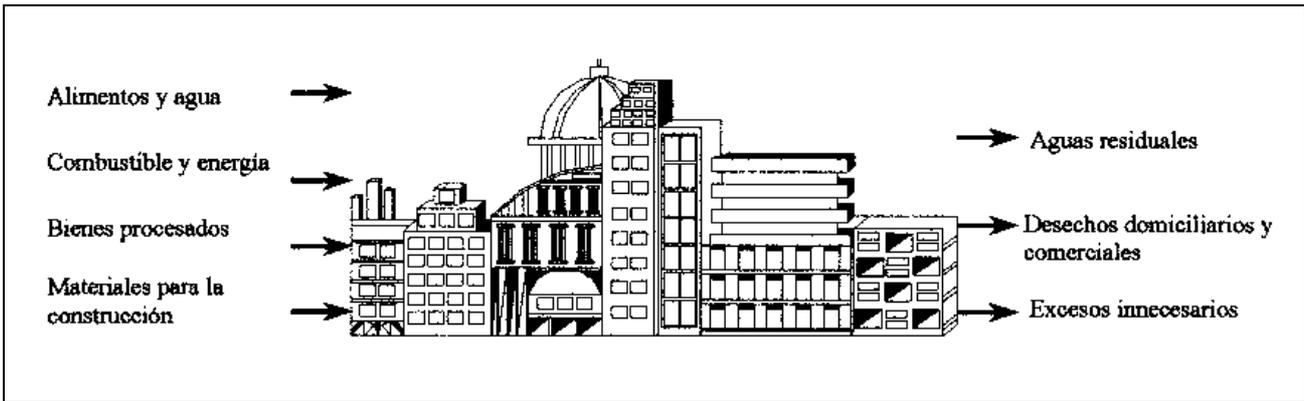
Es conveniente hacer referencia a dos conceptos a nivel ciudad: el metabolismo lineal y el circular.

**FIGURA 2: LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. PARTIDO DE CORONEL ROSALES**



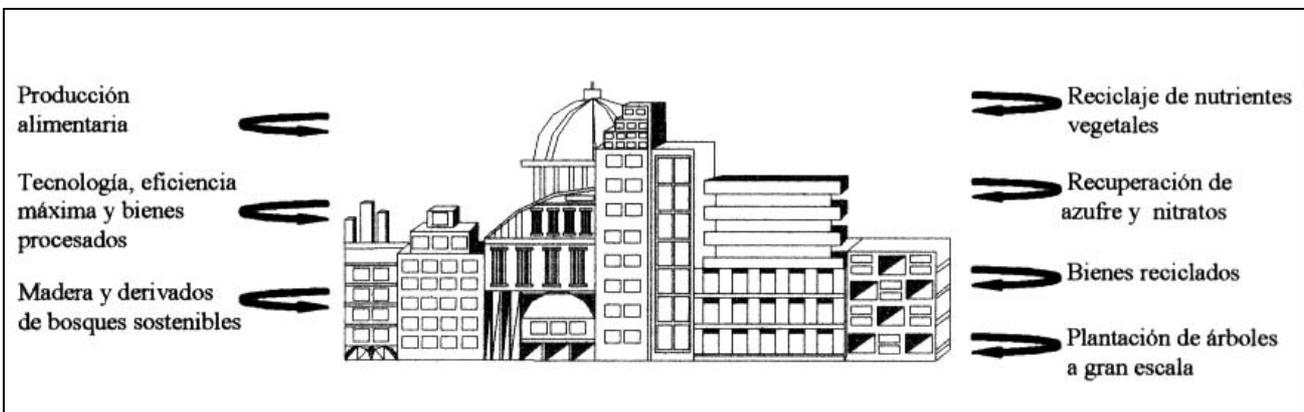
Fuente: Elaboración a partir Atlas Pcia, de Buenos Aires, 1999. Año de elaboración 2000.

FIGURA 3: METABOLISMO LINEAL



Fuente: Adaptado de Girardet, H., 1992. Ciudades. Alternativas para una vida urbana sostenible.

FIGURA 4: METABOLISMO CIRCULAR



Fuente: Adaptado de Girardet, H., 1992. Ciudades. Alternativas para una vida urbana sostenible.

*“Una ciudad de metabolismo lineal toma lo que necesita de una zona extensa sin pensar en las consecuencias, deshaciéndose de los restos.” Girardet (1992)*

Se considera que no existe correlación entre lo que entra y lo que sale del sistema, ya que nunca se reponen los nutrientes extraídos de la tierra. Por ejemplo: se extraen, combinan y procesan materias primas en bienes de consumo, dando lugar a basura que la naturaleza no puede reabsorber. (Fig. 3)

En cambio *“en una ciudad con metabolismo circular, todo lo que sale se puede reutilizar en el sistema de producción, afectando a un entorno mucho menor.” Girardet (1992)* Por ejemplo el reciclaje de los desechos domiciliarios forma parte integral del funcionamiento de la ciudad. (Fig. 4)

Considerando este punto de vista Punta Alta es una ciudad de metabolismo lineal porque los alimentos, el agua, el combustible, la energía, los bienes procesados y los materiales para la construcción producen aguas residuales, desechos domiciliarios y comerciales y excesos innecesarios.

Los residuos son definidos por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) como *“aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado un valor económico en el contexto en que son producidas.”* Este término comprende todo material sólido, líquido o gaseoso

producido por cualquier actividad humana y que está destinada al abandono.

Específicamente los residuos sólidos urbanos son los que se producen en las concentraciones urbanas por la actividad de sus habitantes. Estos pueden ser clasificados en varios tipos según el origen o la composición: domiciliarios, voluminosos particulares, comerciales o de servicios, restos de la actividad diaria e industriales.

En función de esta clasificación, se puede decir que en la ciudad de Punta Alta, en su mayoría, se descargan residuos producidos por la actividad urbana (domiciliarios), los generados en establecimientos públicos, en los talleres de la Base Naval Puerto Belgrano, los resultantes de la poda y barrido de calles y los originados por obras públicas y privadas. Con respecto a la composición, se estima que un 80 % de la basura está integrada por residuos orgánicos y el 20 % restante estaría compuesta por material reciclable como papeles, cartones, vidrios, metales y plásticos. *García Muñoz (1997)*

Si bien resulta difícil evaluar la cantidad de residuos que se genera en un determinado espacio geográfico, ya que los totales dependen de varios factores, entre los cuales uno de los más importantes es el tamaño de la población, en el caso de Punta Alta se estima que se origina entre 0,6 y 1 kg de desperdicios diarios por persona.

También es importante caracterizar el medio natural donde se asienta la ciudad. De acuerdo con la clasificación propuesta en el Diagnóstico Ambiental de la provincia de Buenos Aires (1997), el partido de Coronel Rosales junto con los de Tornquist, Saavedra y Puán, integran el Sistema de Paisajes denominado Vertiente Austral de Ventania, la que constituye una planicie ondulada desarrollada hacia el sur-suroeste del Sistema de Ventania, extendiéndose por el sur-sureste hasta la costa atlántica. La pendiente se orienta en sentido norte-sur, con una altura promedio de 20 metros sobre el nivel del mar.

Desde el punto de vista geomorfológico, se caracteriza por la presencia de acumulaciones medanosas en el área del partido, que constituyen una extensa franja de ancho variable de muy escasa cobertura vegetal, cuyo origen se vincula a la acción del viento y a la proximidad del mar, formando cordones de dunas poco elevados, que se fueron agregando y vinculando entre sí.

De acuerdo con la denominación utilizada por el Atlas de Suelos de la República Argentina, en INTA (1986), la zona de estudio está cubierta con suelos pertenecientes al subgrupo Ustifluventes ácuicos, los cuales se encuentran dentro del orden de los Entisoles. Se tratan de suelos mal drenados, anegables y con un desarrollo incipiente de los horizontes genéticos, diferenciándose solamente por el color.

Específicamente la zona que rodea a Villa General Arias presenta, por desarrollarse en el salitral, una característica especial desde el punto de vista físico. Se trata de una zona costera baja cuya altura no supera los 10 mts, que se originó a partir de sedimentos con un elevado contenido de sales solubles depositados durante las ingresiones marinas del Cuaternario, lo que dio como resultado la formación de suelos salinos.

Dentro del salitral se encuentran sectores cubiertos por vegetación halófila, es decir, plantas que acumulan en sus órganos grandes cantidades de sales sin que resulten perjudicadas por éstas. Las sales, generalmente, son cloruro de sodio (NaCl), sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y sales orgánicas de sodio. Entre las especies más comunes que conforman estas asociaciones halófilas (unidades florísticas desarrolladas en suelos salinos) se encuentran: *Salicornia ambigua* (jume), *Atriplex undulatum* (zampa crespá), *Suaeda patagónica* y *Suaeda Divaricata* (jume). En general, todas estas especies son herbáceas y arbustivas mostrando una coloración rojiza de sus órganos cuando la concentración salina es muy elevada. *Petagna de Del Río* (1992)

También hay que destacar que a lo largo de la costa y en Villa Arias existe vegetación introducida, constituida fundamentalmente por tamariscos (árboles o arbustos del género *Tamarix*, que se adaptan muy bien a suelos arenosos y salitrosos), los cuales se utilizan como barrera de fijación de la arena y de contención del viento.

Desde el punto de vista climático, Punta Alta se halla situada en la zona de clima templado de transición, entre el cálido y húmedo del este de la provincia de Buenos Aires y el frío y seco que predomina en la Patagonia. La temperatura media anual es de 15,3° C, oscilando entre 23,4° C en el mes de enero y 7,9° C en el mes de julio. La amplitud térmica media anual es de 15,5° C. El promedio anual de precipitaciones es de 541,1 mm, el cual no refleja el alto índice de variabilidad mensual de las mismas.

Los vientos, en general son moderados, aunque en primavera y verano se han medido velocidades que sobrepasan los 60 km/h, con ráfagas de hasta 80 y 100 km/h; siendo los meses más calmos abril, mayo y junio. La dirección predominante es

del cuadrante norte y noroeste. Hay que destacar la notable influencia que la dirección de los vientos dominantes ejerce sobre la temperatura, elevando o disminuyendo sus registros, según se trate de vientos del norte y noroeste, o del sur y suroeste, respectivamente.

Cabe destacar que en la zona de estudio no existen cauces hídricos permanentes, obteniendo el agua de consumo desde el Dique Paso de las Piedras. *Brándolo et al* (1994)

## 5. DELIMITACIÓN DEL SISTEMA PERIURBANO PUNTALTENSE

Definir el sistema periurbano entre límites bien determinados resulta una tarea sumamente difícil, si se considera que es una franja de transición y por lo tanto dinámica. Los límites cambian permanentemente, al igual que los sistemas que organizan el espacio. Es necesario tener presente, que estos definen el dominio de un territorio, el cual depende en gran medida del grado de ocupación y organización del espacio que lo contiene.

Para ello resulta propicio destacar este sector de la ciudad, el sistema periurbano, en el cual se manifiestan y compiten distintos usos del suelo, urbanos y rurales, donde se acumulan sin orden, materiales de difícil descomposición, que por su tamaño y tipo permanecen largo tiempo.

Al considerar al espacio periurbano como una interfase ecológica se deben tener en cuenta las siguientes características:

- los "servicios ecológicos" que provee el medio rural, como: recarga de acuíferos, reciclado de nutrientes, absorción y retención de agua en el suelo, proceso fotosintético, control biológico de plagas, filtro climático, absorción y descomposición de contaminantes.
- los servicios del sistema urbano como los de electricidad, de agua potable, de gas, de desagües cloacales y calles pavimentadas.
- la presencia de depósitos de residuos sólidos urbanos clandestinos o no autorizados.
- el rediseño ecogeográfico del paisaje, apareciendo nuevas estructuras biofísicas. Las mismas son generadas por excavaciones, rellenos y disposición de residuos, extracción de tierras, ladrilleras, entre otras.

Por otra parte, si se lo define como frontera socioeconómica, resulta importante considerar:

- la ocupación del suelo, entendiendo como tal la manera en que los grupos humanos han tomado posesión del territorio. Se refiere a la distribución de los habitantes, y para ello se establecen dos categorías: hábitat continuo (+ 75 % de ocupación) y hábitat discontinuo (- 75 % de ocupación).
- el uso del suelo, es decir, el modo en que la sociedad emplea y explota el espacio geográfico, los que pueden ser residencial, industrial, agrícola, comercial y con actividades ilegales.
- el crecimiento urbano, muy relacionado con el concepto anterior, que comprende dos procesos interrelacionados: el demográfico y el espacial o expansión urbana. A este último se lo identifica por medio del desarrollo de los conjuntos de viviendas.

Sobre la base de estos conceptos teóricos y mediante el trabajo en el terreno se determinó la franja periurbana de la ciudad de Punta Alta que circunscribe al núcleo urbano central consolidado. La misma tiene forma irregular, siendo más estrecha

hacia el este y sureste, bordeando los barrios de Ciudad Atlántida y Villa Mora; y se agranda hacia el norte y noreste, limitando el Barrio Norte hasta el área donde se localizaba el ex basural municipal en la ruta N° 229. Hay que destacar que este último sector incluye pequeñas zonas residenciales, como Villa del Mar y Villa Gral. Arias que presentan un hábitat continuo. (Fig. 5)

Asimismo, se pueden definir un sistema periurbano de mayor amplitud que abarca todo el espacio descrito y otra zona más restringida, denominada periurbano propiamente dicho. La delimitación entre uno y otro, se realiza a partir de la presencia de una extensa área natural de salitral, que separa Villa Arias del núcleo urbano central consolidado y el periurbano estricto que lo rodea. Sin embargo, la mencionada localidad, por

sus características funcionales, forma parte del sistema periurbano amplio.

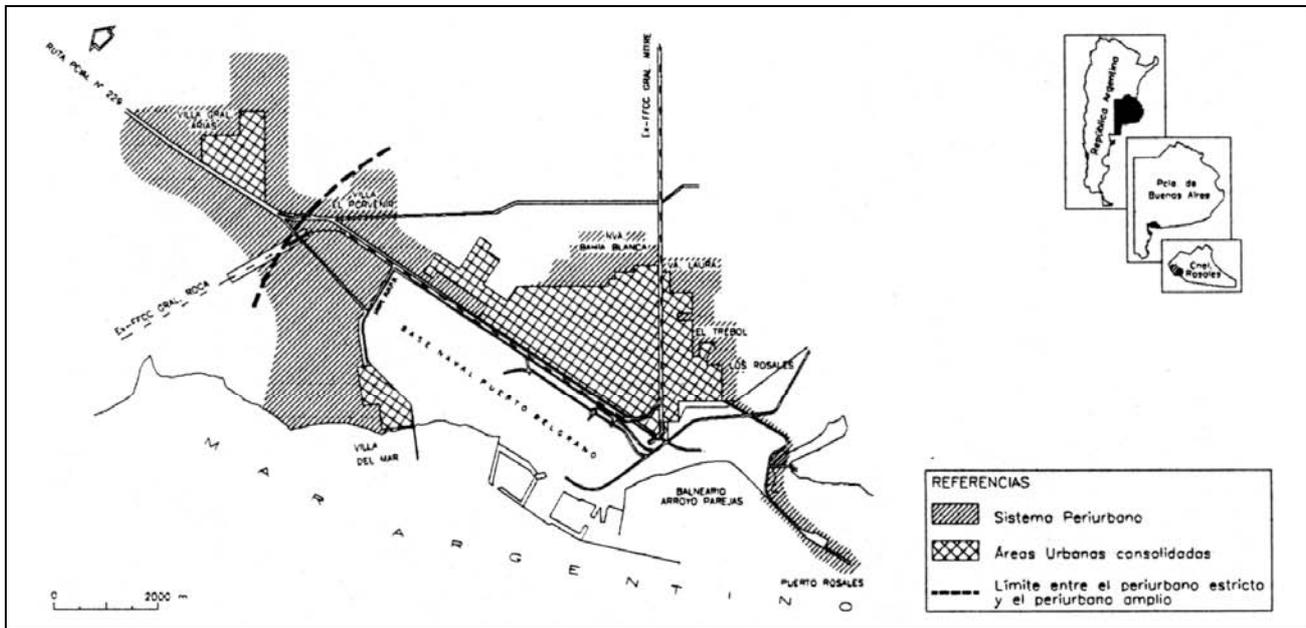
Hacia el oeste de la ciudad se encuentra la Base Naval Puerto Belgrano, la cual, si bien es parte constituyente del sistema periurbano, no fue estudiada en el presente trabajo.

Con la finalidad de realizar un análisis más profundo se definieron dos sectores que presentan características propias: el este-sureste y el del norte-noreste. (Fig. 6)

### 5.1. Sector este-sureste

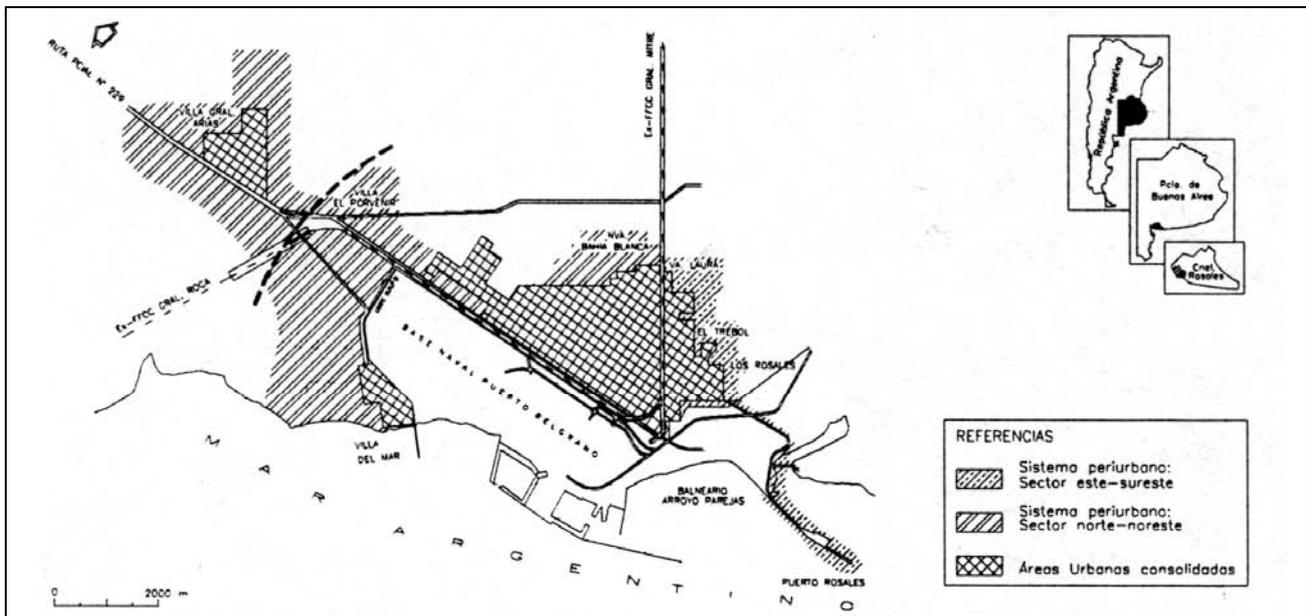
Está delimitado por Puerto Rosales y el Balneario Municipal Arroyo Parejas hasta la calle Mar del Plata en el barrio de Villa Laura. Abarca parte de los barrios de El Trébol,

**FIGURA 5: SISTEMA PERIURBANO DE LA CIUDAD DE PUNTA ALTA**



Fuente: Elaboración a partir de la observación en el terreno. Año 2000.

**FIGURA 6. SECTORES DEL SISTEMA PERIURBANO DE LA CIUDAD DE PUNTA ALTA**



Fuente: Elaboración a partir de la observación en el terreno. Año 2000.

Los Rosales y Villa Laura. Se encuentra atravesado por la ruta N° 249 que empalma con la ruta nacional N° 3 Norte.

Si se lo analiza como una frontera socioeconómica, una característica a tener en cuenta es la ocupación del suelo, la cual en general, se ha realizado de manera espontánea, ya que las viviendas son diferentes en cuanto al tipo de material utilizado en la construcción, superficie que abarcan y estilo de la construcción. Existen casas que pertenecen a familias con un buen poder adquisitivo, como así también, otras a medio construir o fabricadas con chapas, maderas y diversos elementos en desuso. Hay que destacar que muchas de ellas se encuentran intercaladas con espacios vacantes o abandonados o lotes que son utilizados para la recreación de los niños (canchas de fútbol).

Como ésta es un área de transición entre el espacio urbano y rural, uno de los problemas de los habitantes del periurbano es la presencia de una gran cantidad de animales sueltos. En el mismo, la fauna autóctona ha sido reemplazada por la doméstica (perros, gatos, caballos). Ello trae situaciones desagradables como la entrada de los animales a los patios de las viviendas y dificultades en la circulación de peatones y vehículos por las distintas calles. Una encuesta realizada a alumnos de las escuelas y a sus padres presenta como principal preocupación este problema.

Las actividades humanas son variadas, entre las que se destacan: hornos de ladrillos, desarmaderos de autos, criaderos de aves de corral y extracción de arenas para la construcción. También hay que mencionar la presencia del Corralón Municipal.

Los hornos de ladrillos son de pequeño tamaño y para realizar el trabajo de elaboración del producto final utilizan animales (caballos) y mano de obra de mediana edad. También hay algunos que han dejado de funcionar alterando, lógicamente el paisaje natural, sobre todo el recurso suelo, deteriorando su horizonte edáfico superior.

Los desarmaderos de autos funcionan en distintas casas de familia, ya que sus habitantes son los que llevan a cabo la tarea y su existencia representa la concentración de una gran cantidad de elementos en desuso.

Si bien en décadas pasadas la actividad de los criaderos de aves de corral era más intensa, hoy en día, sólo persisten dos que poseen cierta producción, destinada para el consumo local.

Como se expresó anteriormente, este es un sector que ha crecido en menor medida, si se lo compara con el del norte-noreste, ya que por tratarse de tierras bajas y anegadizas, resulta difícil la extensión de los servicios públicos. Sin embargo, cuenta con los principales: electricidad, agua corriente y gas natural. En cambio, no posee red de desagües cloacales, ni sus calles se encuentran pavimentadas, aunque algunas de ellas poseen cordón cuneta.

Otra particularidad a destacar, desde el concepto de interfase ecológica, es la aparición de basurales espontáneos y clandestinos, los cuales generalmente, se encuentran localizados en terrenos vacantes, bajos y anegables o en aquellos lugares donde hay desarmaderos de autos. En cuanto a la composición de la basura, se observó una gran heterogeneidad, como residuos orgánicos, papeles, cartones, materiales de construcción (caños, ladrillos, bloques), botellas, ropa y restos de artículos del hogar. Esto da lugar al denominado "cirujeo", constituyéndose en una actividad económica para los habitantes de escasos recursos, a costa de riesgos para su salud.

La presencia de éstos depósitos actúan sobre la calidad de vida de la población, debido a la proliferación de vectores como insectos y roedores que son transmisores de enfermedades, a pesar que la Municipalidad del partido de Coronel de Marina

Leonardo Rosales brinda el servicio de recolección de residuos, los días domingos, martes y jueves.

Además, desde el punto de vista de la problemática ambiental, los basurales alteran la calidad del suelo, contaminan las aguas superficiales y subterráneas, dificultan la recarga de acuíferos y alteran el aire por las emanaciones provenientes de la descomposición y quema de los residuos. También existe una transformación del paisaje natural y rechazo de esos lugares por parte de los habitantes.

En los bordes del camino hacia la playa, se extraen arenas para la construcción. Se puede decir que esta actividad extractiva genera un *neorelieve o geoforma antropizada*, ya que ésta se produce a partir de la acción del humano transformando completamente el medio natural, donde crece la vegetación y se utilizan como depósitos de residuos.

En el área de Puerto Rosales y el Balneario Municipal Arroyo Pareja, la actividad turística y portuaria, generan cambios traducidos en una dinámica espacial significativa. En dicho sector se encuentra la empresa Oiltanking que cuenta con la monoboya Punta Ancla, destinada al embarque y descarga de petróleo. El impacto negativo que produce esta actividad en el medio físico, ha quedado manifestado en los dos derrames de hidrocarburos, el último ocurrido el 16 de febrero de 1998, con 43 mts<sup>3</sup> de petróleo crudo. Inevitablemente todo ello degrada el ambiente, contaminando los recursos hídricos y el suelo, produciendo a la vez la ruptura del equilibrio ecológico, sobre la vegetación y la avifauna existente.

Por otro lado, con el propósito de brindar un mejor servicio a los turistas, en el Balneario Municipal se han realizado diversas intervenciones en el medio ambiente, como la colocación de piedras a lo largo de la línea de costa, la construcción de entradas de hormigón hacia el mar y la introducción de especies vegetales exóticas para la formación de cortinas de viento. Obviamente todo este paisaje costero se ha modificado con el objetivo de obtener un mayor rédito económico, sin considerar el embellecimiento del paisaje, la vulnerabilidad del medio y el ordenamiento espacial.

Por las características que presenta el sector, éste no es el mejor dotado para satisfacer los servicios ecológicos a la ciudad.

Como síntesis, los elementos que la ciudad aporta al área periurbana son:

- fauna doméstica
- red de luz eléctrica, agua potable y gas natural
- recolección de residuos
- calles con cordón cuneta
- depósitos de residuos sólidos urbanos clandestinos

Y los que aporta el medio rural son:

- espacios vacantes
- fauna del campo
- criaderos de aves de corral
- hornos de ladrillos

## 5.2. Sector norte-noreste

Este es el área adyacente a la ruta N° 229, que se la puede delimitar aproximadamente, desde las calles Catamarca, Jujuy, Puerto Madryn, Paso, Río Dulce, Buchardo, Río Juramento, Roca e Italia hasta el predio correspondiente al ex basural municipal y la línea de costa. Este sector se caracteriza por un crecimiento espontáneo, abarcando parte del barrio Nueva Bahía Blanca,

y en su totalidad los de Villa del Mar, Villa El Porvenir y Villa Gral. Arias.

Hay que destacar que toda esta zona recibe la influencia de la actividad proveniente de los barrios planificados, construidos a partir de la década de los años ochenta a lo largo de la calle Paso, específicamente los Albatros.

Las causas que condujeron a su construcción fueron: la disponibilidad de extensas superficies de terrenos vacantes, el valor económico de las mismas y la facilidad para la extensión de los servicios públicos.

Junto a estos barrios planificados se han extendido los servicios públicos (luz, eléctrica, agua potable, desagües cloacales) favoreciendo en las cercanías los asentamientos de tipo espontáneo, de ocupación individual, seleccionada según preferencias y poder adquisitivo.

El uso del suelo que prevalece es el urbano residencial, pero también existe una pequeña industria metalúrgica, desarmaderos de autos, talleres mecánicos, el cementerio de la Base Naval Puerto Belgrano, el aeroclub, espacios verdes y centros recreativos.

A lo largo de la ruta N° 229 y sobre suelos de uso rural se localizan un grupo de viviendas denominado Villa El Porvenir y dos pequeños núcleos urbanos bien definidos, Villa del Mar y Villa Arias.

Villa El Porvenir, es un conjunto de casas alineadas que ha surgido de manera espontánea. Allí el uso del suelo es residencial y reciben únicamente el servicio público de luz eléctrica.

Villa del Mar se localiza sobre el frente costero surgiendo básicamente como un pequeño centro turístico. Cuenta con los servicios públicos de luz eléctrica y de agua potable. En general, el uso del suelo es residencial, con casas-quintas o de fin de semana de buena construcción, las cuales son ocupadas durante el verano. También existen otras viviendas que se han construido de manera espontánea, algunas de las cuales se han dedicado al comercio de diferentes artículos, pero los que predominan son aquellos que se dedican a la venta de pescado y artículos para la pesca. Con el objetivo de la recreación se localizan el Club Náutico Punta Alta y una pileta municipal.

La región costera, también ha sido modificada con el objetivo de ofrecer mejores instalaciones a los eventuales turistas construyéndose obras de infraestructura para tal fin. También se plantaron nuevas especies vegetales sobre todo tamariscos y eucaliptos, ya sea para sombra o para cortinas de viento.

Villa Arias se localiza aproximadamente a ocho kilómetros de la ciudad de Punta Alta, separada por el salitral, que constituye un área improductiva desde el punto de vista económico y vacante desde el de la ocupación. Sin embargo, la villa depende de la ciudad en forma comercial, administrativa y educativa, por lo tanto fue incluida dentro del periurbano amplio.

Está conformada por un sector totalmente ocupado, que corresponde al barrio del Banco Hipotecario Nacional, cuyas casas fueron entregadas a partir de la década del setenta. Otro sector comprende las viviendas construidas de manera espontánea, con pileta y amplios espacios verdes y vegetación variada; y una última sección, que es la de las quintas, formada por manzanas no compactas con baldíos intermedios.

A pesar de estar rodeado por el salitral, Villa General Arias es un sector dedicado fundamentalmente, a la actividad hortícola y a la producción avícola (cría de gansos y de codornices). Esta villa se desarrolla a mayor altitud que el entorno inmediato, lo cual se debe a que se halla asentada sobre una formación

geomorfológica más elevada, que permitió la formación de suelos debido a la pendiente favorable, a una mejor percolación y al aporte de material orgánico.

La villa cuenta con los servicios públicos de luz eléctrica, gas natural, agua corriente, y recolección de residuos domiciliarios. Además, alrededor de su plaza se sitúan las principales dependencias públicas como ser la delegación policial y municipal, la sociedad de fomento, la escuela, el jardín de infantes y la capilla parroquial.

Entre las actividades económicas que se realizan en la actualidad, hay que destacar los hornos de ladrillos, una pequeña industria de productos para embutidos y los criaderos de aves de corral.

El primer emprendimiento utiliza como materias primas: semillas de girasol, viruta y barro. Estos son fabricados en forma manual, por empleados que residen en el lugar. Si bien la producción no es igual a la de años anteriores, ésta se comercializa a particulares de la zona y de Punta Alta. Hay que destacar que esta actividad degrada totalmente lo que es el horizonte edáfico superior; además se está utilizando la vegetación del lugar como combustible, alterando los bosques del lugar, tanto naturales como introducidos.

En el sector de las quintas se encuentra un establecimiento de transformación de subproductos ganaderos. Se trata de una planta procesadora de carne de animales para embutidos. Utiliza mano de obra local y abastece a las ciudades de Punta Alta y Bahía Blanca. Si bien está alejada del área ocupada permanentemente, el problema que se presenta son las emanaciones que provoca como resultado de este procesamiento.

Con respecto a los criaderos de aves, en la actualidad la actividad no es tan intensa como en años anteriores. Ha quedado la infraestructura de aquellos que han sido abandonados, mientras otros continúan dedicándose a la producción de huevos y aves. Esta tarea generalmente está a cargo de personas especializadas que son quienes controlan su alimento y cría de acuerdo con normas establecidas por el asesoramiento del técnico correspondiente.

Si bien se distinguieron tres sectores ocupados por la población, cabe aclarar que en la actualidad, el crecimiento espacial y poblacional es lento. Inclusive se ha podido observar que varias de las viviendas se encuentran desocupadas y abandonadas, una causa de ello es la distancia que existe hasta el núcleo urbano comercial.

Un elemento que se destaca en el área de la villa es la vegetación introducida, constituida fundamentalmente por tamariscos, los cuales se utilizan como barrera de protección contra el viento. La misma también sirve como combustible para la ladrillera o para uso doméstico. Esto provoca un deterioro de la vegetación y en consecuencia el proceso fotosintético disminuye.

A lo largo de la ruta N° 229, cercano a este pequeño núcleo urbano, existen sectores que se inundan en períodos de precipitación abundante, los cuales aparecen cubiertos por una capa blanquecina de sal durante épocas de sequía; y otros más bajos próximos al litoral que están permanentemente anegados. Esto provoca la concentración de insectos como moscas y mosquitos que afecta ante todo a la población de la villa. Cabe aclarar que para construir dicha ruta se debió rellenar un área del salitral, lo cual produjo el efecto de un microrelieve positivo en llanura, impidiendo el libre drenaje superficial hacia el estuario.

La red férrea que se desplaza en forma paralela a la ruta es otro elemento que modifica la fisonomía del paisaje porque por tratarse de una zona baja e inundable se debió elevar el terreno

a través de terraplenes y puentes. Esta corresponde al ex Ferrocarril Roca que vinculaba las estaciones Bahía Blanca Sud en el partido homónimo y Puerto Belgrano en el de Coronel Rosales.

Otra alteración en el paisaje es el que se observa en el predio donde estaba localizado el ex basural municipal, de aproximadamente 15 has, ubicado entre la costa y la ruta 229, en inmediaciones de Villa General Arias. Este sector se encuentra degradado por una inadecuada intervención humana, al no tener en cuenta la fragilidad de las condiciones naturales. Las características edafológicas del suelo, fundamentalmente una permeabilidad de 10-4 cm/seg, muy próxima a la superficie (10 cm.), indica que se trata de un suelo limo-arcilloso inadecuado para un relleno sanitario sin impermeabilización previa, como el que funcionaba en el mismo. Además, la napa freática posee un alto tenor salino y se encuentra a los 0,60 mts de profundidad, lo cual no la hace apta para consumo y para riego.

En el sector noreste, correspondiente al barrio Nueva Bahía Blanca, la diferenciación entre los espacios urbano y rural es más notoria que en el norte. El primero ha sido ocupado de manera espontánea por habitantes que poseen diferentes condiciones socioeconómicas con viviendas muy bien constituidas, como así también pequeñas construcciones fabricadas con chapas y elementos en desuso. Cuenta con luz eléctrica y agua potable pero no posee red de gas, desagües cloacales y pavimento.

Entre los problemas que posee la población residente se pueden mencionar el merodeo de animales sueltos (caballos y perros), los basurales espontáneos y la falta de un buen servicio de las redes públicas.

Teniendo en cuenta que en todo el sector norte-noreste el avance del proceso de urbanización es mayor y es considerado como uno de los espacios más aptos para la expansión urbana, hay que advertir a la población sobre el valor ambiental del mismo. Potencialmente es el área mejor dotada para satisfacer los servicios ecológicos a la ciudad.

Sintetizando, los elementos que aporta la ciudad al sistema periurbano son:

- actividades comerciales
- industrias
- espacios recreativos
- red de luz eléctrica, agua potable, gas natural y desagües cloacales
- recolección de residuos
- depósitos de residuos sólidos urbanos ilegales

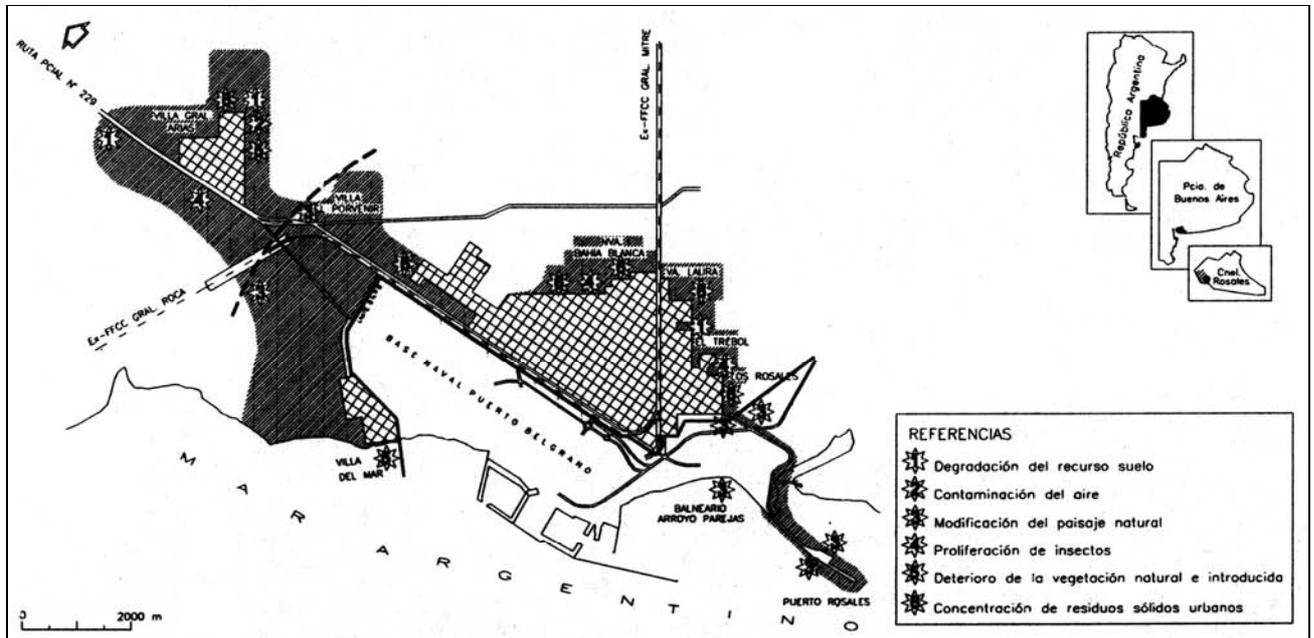
Y los que provee el área rural son:

- espacios vacantes
- quintas
- criaderos de aves de corral
- fauna rural
- vegetación natural

### 5.3 Detección de problemas ambientales

Una vez definido y caracterizado el espacio periurbano puntaltense, resulta factible puntualizar los posibles problemas ambientales que afectan a los dos sectores establecidos. (Fig. 7)

**FIGURA 7: PROBLEMAS AMBIENTALES DEL SISTEMA PERIURBANO DE LA CIUDAD DE PUNTA ALTA**



Fuente: Elaboración a partir de la observación en el terreno. Año 2000.

- En el sector este-sureste se pueden determinar los siguientes:
- *Degradación del recurso suelo* producida por la actividad de los hornos de ladrillos.
  - *Contaminación del aire* al dispersarse el polvillo que genera el horno de ladrillos durante los días de viento, afectando a la población circundante.
  - *Alteración del paisaje* debido a las extracciones de arenas para la construcción. Esto genera un neorelieve (cavas)

- propicio para la concentración de residuos sólidos urbanos. Este problema también se presenta en la zona del balneario Arroyo Pareja.
- *Proliferación de insectos* en tierras bajas y anegadizas que pueden afectar a la población.
- *Concentración de residuos sólidos urbanos* por la presencia de basurales clandestinos, los cuales atentan contra la salud de la población periférica.

Y en el sector norte-noreste, se pueden definir otros conflictos:

- *Degradación del recurso suelo* provocada por la actividad del horno de ladrillos localizado en Villa Arias y en el predio donde funcionaba el ex basural municipal.
- *Deterioro de la vegetación natural e introducida* por ser utilizada como combustible.
- *Modificación del paisaje natural* en el balneario de Villa del Mar, mediante la introducción de vegetación y la construcción de casas de fin de semana.
- *Proliferación de insectos* en sectores inundables a lo largo de la ruta N° 229 en la zona del salitral. Se produjo un cambio en la topografía del lugar al tener que rellenar el terreno, impidiendo el natural drenaje de las aguas pluviales y zonas pantanosas.
- *Concentración de residuos sólidos urbanos* por la presencia de basurales clandestinos, los cuales constituyen focos de concentración de roedores y otros animales.

## 6. CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta los objetivos específicos del estudio, cabe afirmar que el sistema periurbano de la ciudad de Punta

Alta es un espacio dinámico y complejo, en el cual se acentúan los conflictos socioeconómicos y ecológicos, los cuales inducen a la degradación del medio ambiente.

Se detectaron diversos problemas ambientales, los cuales, son provocados en su mayoría, por una inadecuada intervención de los grupos humanos, sin tener en cuenta las características naturales y de vulnerabilidad del medio físico, comprobando de esta manera las hipótesis de trabajo planteadas.

Para revertir y mejorar esta situación hay que destacar el rol que deben desempeñar los distintos actores sociales, como las autoridades municipales, sociedades de fomento, políticos, empresarios y la población en general. Con especial énfasis en el sector norte-noreste, espacio mejor dotado para satisfacer los servicios ecológicos de la ciudad. Además hay que tener presente que las problemáticas que se generan en este área inciden directamente en la ciudad propiamente dicha.

Por último resulta viable resaltar que la recuperación y ordenamiento de la franja periurbana, es responsabilidad de la población, por ser ésta quien desencadena, de una manera u otra, la alteración del ambiente natural.

## 7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BRÓNDOLO, M. Y OTROS, 1994.

Geografía de Bahía Blanca.

Ediciones Encestando, 197 pp. Bahía Blanca.

CONESA FDEZ-VÍTORA, V., 1997.

Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental.

Ediciones Mundi-Prensa, 412 pp. Madrid.

FERNÁNDEZ, R., 1994.

Teoría de la gestión ambiental del desarrollo urbano.

Volumen 1. *Maestría en Gestión ambiental del Desarrollo Urbano (GADU). Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño.*

Universidad Nacional de Mar del Plata. Programa Editorial del Centro de Investigaciones Ambientales, 100 pp. Mar del Plata.

GARCÍA MUÑOZ, C., 1997.

Gestión de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Punta Alta.

Secretaría General de Ciencia y Tecnología. U.N.S., 30 pp. Bahía Blanca. Inédito.

GIRARDET, H., 1992.

Ciudades. Alternativas para una vida urbana sostenible.

Atlas Gaia. Celeste Ediciones, 220 pp. Madrid.

INTA, 1986.

Atlas de Suelos de la República Argentina.

Provincia de Buenos Aires. Buenos Aires.

MORELLO, J., 1996.

Funciones del sistema periurbano: el caso de Buenos Aires.

*Maestría en Gestión ambiental del Desarrollo Urbano (GADU). Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Mar del Plata. Programa Editorial del Centro de Investigaciones Ambientales, 36 pp. Mar del Plata.*

PETAGNA, A. M. DE DEL RÍO, 1992.

Biogeografía. Distribución de los vegetales en el espacio geográfico.

Colección Geográfica. Editorial Ceyne, 127 pp. Buenos Aires.

RANDLE, P., 1992.

Ciudades intermedias.

Fundación Banco de Boston, pp. 144. Buenos Aires.

VEGA, M., 1997.

Diagnóstico ambiental de la provincia de Buenos Aires. Tomo II.

*Descripción de los sistemas ambientales (de Tandilia, de Ventania y de la Vertiente Austral de Ventania). Ediciones Banco Provincia, 300 pp. Buenos Aires.*



# Análisis de la vulnerabilidad del acuífero aluvial del Valle de Tulum a la contaminación por agentes de origen antrópico

## Correlación con la evolución temporal de parámetros químicos

Fiore, Juan Manuel <sup>1-2-5-6</sup> - Castro, Adolfo <sup>3-5-6</sup> - Medici, María E. <sup>4-6</sup> - Gimenez, Myriam <sup>7-8</sup> - Suero, Eduardo <sup>7-8</sup>  
Gonzalez Ranea, Hugo <sup>1-3-5-6</sup> - Turcuman, María Hortencia <sup>4-5-6</sup>

### 1. INTRODUCCIÓN

La creciente urbanización de las ciudades ha ido comprometiendo la disponibilidad y la calidad de las aguas subterráneas. La Hidrogeología Urbana es la rama de la Hidrología Subterránea que toma en consideración aquellas variables del ciclo hidrológico introducidas por la actividad antrópica derivada de dicho crecimiento.

El acuífero del Valle de Tulum es recargado fundamentalmente por el río San Juan en su sector Norte, donde sus características de no confinamiento y su litología compuesta de materiales de muy alta conductividad hidráulica, hacen suponer a priori una considerable vulnerabilidad ante los agentes contaminantes. La explotación de aridos y la disposición no controlada de residuos en la zona de recarga son otros factores que afectan directamente a la calidad del recurso subterráneo.

La presente comunicación tiene como objetivos señalar los resultados de los análisis de Vulnerabilidad efectuados,

reseñar la metodología utilizada en la aplicación de los sistemas y proponer una correlación con la evolución temporal de algunas variables geoquímicas.

### 2. OBJETIVOS Y SÍNTESIS METODOLÓGICA

Las actividades aquí descriptas forman parte de un Proyecto de Investigación en ejecución, que tiene como objetivo principal efectuar un seguimiento de parámetros hidrogeoquímicos indicadores de contaminación de origen antrópico. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Caracterización de la vulnerabilidad usando métodos recomendados por la EPA
- Caracterización de parámetros hidráulicos en el área de recarga (revisión de datos de ensayos de bombeo)
- Caracterización de parámetros hidráulicos mediante el uso de trazadores
- Caracterización de la calidad del agua de recarga
- Relevamiento de pozos, columna litológica y caudales explotados (actualización de datos)
- Determinación de las características químicas y microbiológicas de las aguas subterráneas en el área de estudio
- Seguimiento de la evolución temporal de los parámetros

Para el logro de los objetivos se propuso la metodología usual de un estudio hidrogeológico:

- Investigación bibliográfica
- Inventario de pozos
- Ejecución de sondeos eléctricos verticales y calicatas eléctricas

Entregado: 30 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 28 de Setiembre de 2001

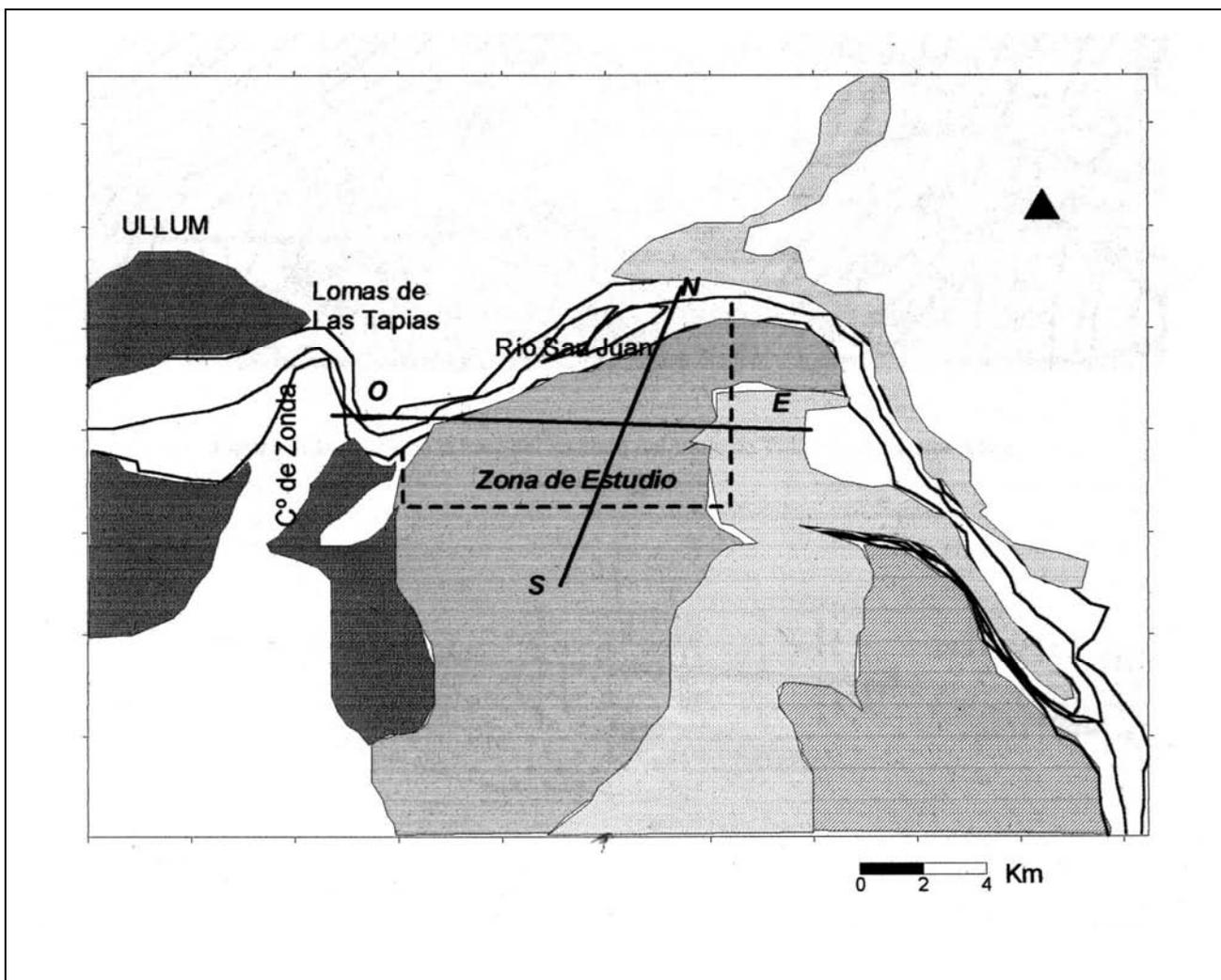
1. Profesor Titular de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
2. Director del Instituto de Materiales y Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
3. Docente Cátedra Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.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

- Selección de pozos para el monitoreo permanente
- Control de niveles piezométricos y toma de muestras con periodicidad trimestral
- Determinación en laboratorio y en campaña (mediante el uso de kits) de Cloruros, Sulfatos, Sulfuros, Sales totales, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, Nitratos, Nitritos, DBO, DQO y bacterias coliformes en aguas de explotación y en zona de recarga
- Elaboración de mapas de las variables determinadas aplicando metodologías geoestadísticas

### 3. MODELO CONCEPTUAL DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

La revisión de datos históricos y actuales, merced sobre todo a la colaboración desinteresada prestada por el Instituto Nacional del Agua, ha permitido establecer una síntesis del funcionamiento hidrogeológico del acuífero en el sector estudiado (Figura 1.) Esta síntesis es ambiciosa en tanto pretende abarcar con alto grado de detalle un área relativamente pequeña, por lo cual errores de apreciación que serían tolerables en un modelo regional, pueden ser groseros en un modelo como el que nos ocupa. Se ha intentado salvar esta dificultad, inherente a la naturaleza del proyecto, con una minuciosa labor de investigación de los antecedentes disponibles.

FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA ZONA Y LOCALIZACIÓN DE PERFILES



#### 3.1. Síntesis geológica

El sector de interés (Figura 1) abarca principalmente al departamento Chimbas, aunque afecta el Norte del departamento Capital y un pequeño sector del Oeste del departamento Santa Lucía. Geológicamente se sitúa en el antiguo cono aluvial del río San Juan. Tanto en superficie como en subsuelo, el terreno está conformado por sedimentos aluviales de granulometría

variada, bochas, gravas, arena, con escasa participación de sedimentos finos, los cuales aparecen en el borde Sudeste del área de interés, conformando una débil cubierta superficial y algunas intercalaciones esporádicas. La base en que se apoyan estos sedimentos corresponden a terrenos de edad terciaria, que afloran en la margen izquierda del río, en las denominadas Lomas de las Tapias. Este basamento impermeable profundiza de Oeste a Este, entre 30 m a 300 m (Figuras 2 y 3)

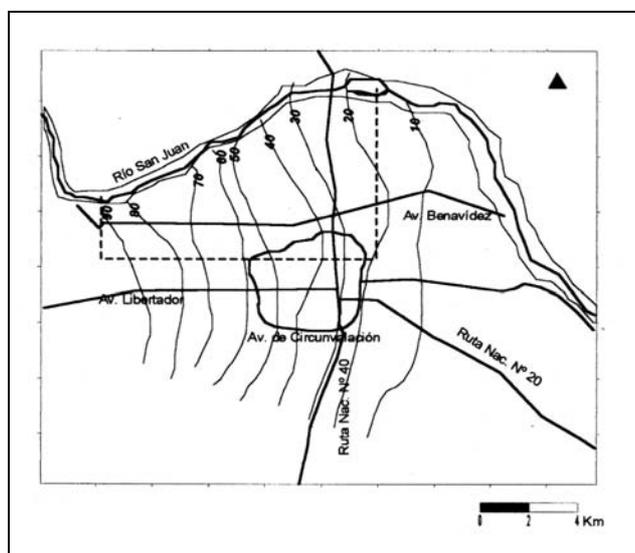


### 3.2. Estimación de Parámetros

Los valores de transmisividad (T), permeabilidad vertical ( $k_v$ ) y coeficiente de almacenamiento (S) se han tomado del análisis de unos diez ensayos de bombeo distribuidos en la zona, todos ellos realizados por el CRAS. De acuerdo a esto, se tiene como aproximación que, para la mayor parte de la zona, T varía entre 1.000 m<sup>2</sup>/día y 24.000 m<sup>2</sup>/día. Este rango se explica si se tiene en cuenta la variación de espesor saturado entre 40 y 300 m. La permeabilidad vertical se ha estimado en 4,0E-2 m/día (alrededor de 1,0E-3 cm/s.)

Las estimaciones de la recarga neta obtenida de los antecedentes son siempre globales, es decir, referidas a la totalidad de la cuenca, y adolecen de ambigüedad. Sin embargo es aceptado por varios investigadores (Navarro, A., Wetten, C.) que la mayor parte de la recarga se produce en el ápice del cono aluvial del Río San Juan (Figura 1), situado en la desembocadura de la quebrada de Ullum, a lo que hay que agregar los retornos por riego. La recarga neta oscilaría entre los 500 hm<sup>3</sup>/año y los 290 hm<sup>3</sup>/año en épocas ricas y pobres en precipitación

**FIGURA 4. CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DEL AGUA PARA UN AÑO DE NIVELES BAJOS**



### 3.4. Síntesis del conocimiento hidrogeológico del sistema

- Lo expuesto sucintamente hasta aquí ha permitido consolidar ciertas hipótesis de partida, tales como la alta velocidad de respuesta y la importante susceptibilidad de infiltración en el subálveo del río.
- Ha quedado definido el carácter influente del río en la zona de interés.
- Las historias de niveles se han acotado permitiendo establecer el detalle de subzonas que sirven de base al estudio de vulnerabilidad.
- Se ha completado la inicialmente escasa información disponible con datos actualizados de parámetros hidráulicos, niveles, e información química e isotópica.

## 4. VULNERABILIDAD

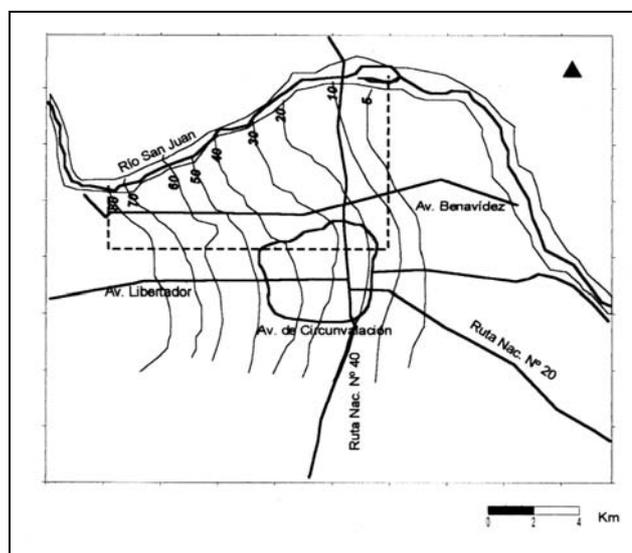
Para la elaboración de los mapas de vulnerabilidad se han usado los sistemas DIOS y DRASTIC (CRIPTAS). Se ha gestionado y conseguido la documentación completa del sistema DRASTIC por parte de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, lo que ha permitido contrastar la

respectivamente. El análisis del estudio isotópico (García et al., CRAS, 1987) permite afirmar que el agua contenida en el acuífero libre tiene como origen la precipitación nival. Es de suma importancia destacar para los objetivos del Proyecto que se han realizado experiencias de recarga artificial en el acuífero libre, determinándose que es posible recargar unos 360 m<sup>3</sup>/h por hectárea (Wetten, 1999.) Para los efectos del cálculo de vulnerabilidad, se ha calculado una recarga media neta de 80 mm en un año.

### 3.3. Niveles piezométricos

A fin de ilustrar la configuración de la piezometría se incluyen las curvas de igual profundidad del agua subterránea para dos años correspondientes a niveles altos y bajos. Esto es ilustrativo de la alta velocidad de respuesta del sistema ante variaciones en la recarga y en la explotación, factor altamente sugestivo en cuanto a la estimación del transporte de sustancias disueltas desde su inyección hasta su incorporación al acuífero, tanto más cuando se conocen los resultados ya mencionados de recarga artificial en las adyacencias del río.

**FIGURA 5: CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DEL AGUA PARA UN AÑO DE NIVELES ALTOS.**



aplicación del sistema con la metodología utilizada por la mencionada agencia.

El sistema DIOS (Foster, 1987; Castro et al, 1998) debe su nombre al acrónimo de "Distancia al agua - Ocurrencia de agua - Sustrato litológico", factores que configuran el grado de vulnerabilidad que se otorga a las zonas en que se divide el área de interés.

El sistema DRASTIC (Aller et al, 1987; Pettyjohn et al, 1991) también es un acrónimo de "Depth to water - Recharge - Acuífero media - Soil media - Topography - Impact of vadose zone - (hydraulic) Conductivity". Estos factores condicionan la subdivisión del área, y su valor numérico afectado de un peso permiten obtener una cifra (índice DRASTIC) que constituye una evaluación relativa del potencial de contaminación.

El objetivo de ambos sistemas es generar un parámetro globalizador de diferentes variables que influyen a la vulnerabilidad. En tal sentido, es evidente que el índice DRASTIC es más completo puesto que engloba más variables. Ambos sistemas son independientes de la naturaleza del contaminante, puesto que las propiedades del mismo no son tenidas en cuenta en los índices.

FIGURA 6: MAPA DE VULNERABILIDAD DE DETALLE, APLICANDO EL SISTEMA DRASTIC

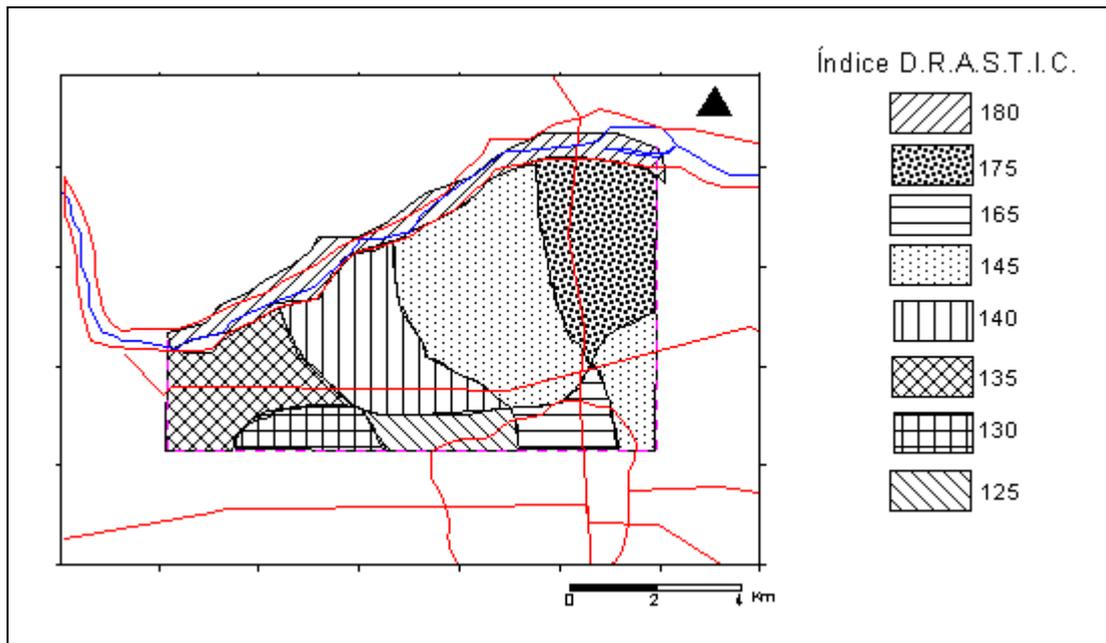
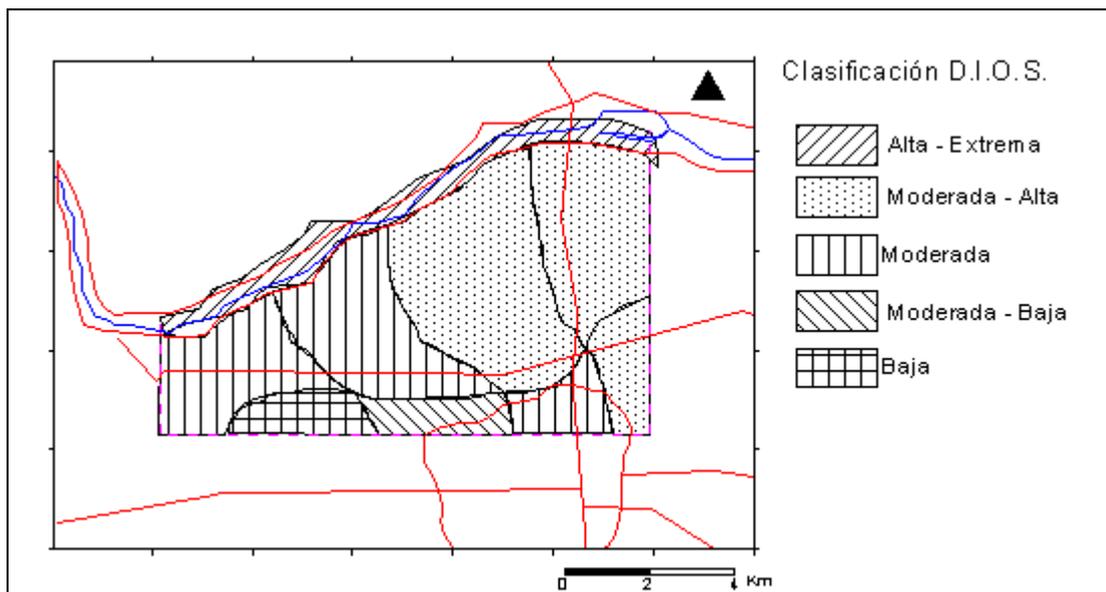


FIGURA 7: MAPA DE VULNERABILIDAD DE DETALLE, APLICANDO EL SISTEMA DIOS



La subdivisión en zonas está condicionada por la variación espacial de los factores implicados en el cálculo, por las restricciones dimensionales impuestas por los métodos y fundamentalmente por el grado de conocimiento que se tiene de cada parámetro; es decir que el desigual grado de aproximación con que se conocen los parámetros intervinientes en el índice, ocasiona que en ciertos casos prime un factor sobre el otro en el criterio de subdivisión del área. Por ejemplo, un factor que se conoce con certeza es la piezometría y su periodicidad, por lo cual la subdivisión está fuertemente condicionada por la profundidad al agua y además se han elaborado mapas para épocas de niveles altos y bajos.

## 5. RELEVAMIENTO DE POZOS

En la Figura 7 (INA, 1997) se observa la distribución de pozos existentes en la zona de interés. Se conoce la existencia de

explotaciones no declaradas en la zona, pero este problema no es tan grave en este sector del acuífero. Ateniéndonos a los pozos declarados y que son periódicamente controlados por el Instituto Nacional del Agua, han sido elegidos para el monitoreo los que se reseñan en la citada figura. La distribución de pozos elegidos responde a:

- Distribución uniforme, de manera de cubrir el área cercana al río, los límites de la zona de interés y la zona central.
- Conocimiento de perfil del pozo y tramos ranurados (datos proporcionados por el INA).
- Existencia de ensayos de bombeo y productividad.
- Facilidad de acceso y otorgamiento de permisos.
- Selección de una cantidad viable atendiendo a los límites de los fondos disponibles.

**TABLA I: CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DRASTIC PARA LAS DIFERENTES SUBZONAS EN ÉPOCAS DE NIVELES BAJOS Y ALTOS**

ZONA I				Valor		Peso
Característica	Datos		Aguas Bajas	Aguas Altas		
	Conductividad Hidráulica	80 m/día	80 m/día	8	8	3
Recarga Neta	80mm	80mm	3	3	4	
Impacto Zona no Saturada	grava arena	grava arena	8	8	5	
Profundidad Agua						
Ribera del Río	1	0m	0m	10	10	5
	2	90 - 70m	70 - 50m	1	1	5
	3	70 - 50m	50 - 30m	1	2	5
	4	50 - 30m	30 - 10m	2	3	5
	5	30 - 20m	10 - 0m	3	9	5
Topografía (%)	0.7		10	10	1	
Roca Acuífera	grava arena		8	8	3	
Tipo de Suelo	GP		10	10	2	
Indice D.R.A.S.T.I.C.		Zona I 1=		180	180	
		Zona I 2=		135	135	
		Zona I 3=		135	140	
		Zona I 4 =		140	145	
		Zona I 5=		145	175	
ZONA II				Valor		Peso
Característica	Datos		Aguas Bajas	Aguas Altas		
	Conductividad Hidráulica	80 m/día	80 m/día	8	8	3
Recarga Neta	80mm	80mm	3	3	4	
Impacto Zona no Saturada	SM-SC	SM-SC	6	6	5	
Profundidad Agua						
Ribera del Río	1	50 - 30m	50 - 30m	2	2	5
	2	30 - 20m	30 - 10m	3	5	5
	3	-	10 - 0m		9	5
Topografía (%)	0.7		10	10	1	
Roca Acuífera	grava arena		8	8	3	
Tipo de Suelo	SM-SC		10	10	2	
Indice D.R.A.S.T.I.C.		Zona II 1=		130	130	
		Zona II 2=		135	145	
		Zona II 3=			165	
ZONA III				Valor		Peso
Característica	Datos		Aguas Bajas	Aguas Altas		
	Conductividad Hidráulica	80 m/día	80 m/día	8	8	3
Recarga Neta	80mm	80mm	3	3	4	
Impacto Zona no Saturada	SM-SC	SM-SC	6	6	5	
Profundidad Agua						
	1	90 - 70m	70 - 50m	1	1	5
	2	70 - 50m		1		5
Topografía (%)	0.7		10	10	1	
Roca Acuífera	grava arena		8	8	3	
Tipo de Suelo	SM-SC		10	10	2	
Indice D.R.A.S.T.I.C.		Zona III 1=		125	125	
		Zona III 2=		125		

**TABLA II: CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DIOS PARA LAS DIFERENTES SUBZONAS EN ÉPOCAS DE NIVELES BAJOS Y ALTOS**

ZONA I					
Característica	Aguas Bajas		Aguas Altas		
Parámetros					
No Confinado					1
Arenas y Gravas					0.7
Distancia al Agua					
Ribera del Río	1	0m	0m	1	1
	2	90 - 70m	70 - 50m	0.5	0.5
	3	70 - 50m	50 - 30m	0.5	0.6
	4	50 - 30m	30 - 10m	0.6	0.7
	5	30 - 20m	10 - 0m	0.6	1

Índice D.I.O.S.	Valor		Evaluación	Evaluación	
	Aguas Bajas	Aguas Altas		Aguas Bajas	Aguas Altas
Zona I 1=	0.7		Alta-Extrema	0.7	Alta-Extrema
Zona I 2=	0.35		Moderada	0.35	Moderada
Zona I 3=	0.35		Moderada	0.42	Moderada
Zona I 4 =	0.42		Moderada	0.49	Mod. - Alta
Zona I 5=	0.42		Moderada	0.7	Alta-Extrema

ZONA II					
Característica	Aguas Bajas		Aguas Altas		
Parámetros					
No Confinado					1
Arenas y Gravas con un manto de limo y/o arcilla (0,5 a 1,5m)					0.6
Distancia al Agua					
	1	50 - 30m	50 - 30m	0.6	0.6
	2	30 - 20m	30 - 10m	0.7	0.7
	3		10 - 0m		0.95

Se adopta el valor de 0,6 por tratarse de una media entre el valor correspondiente a Arenas y Gravas (0,7) y el valor correspondiente a arcillas (0,5).

Índice D.I.O.S.	Valor		Evaluación	Evaluación	
	Aguas Bajas	Aguas Altas		Aguas Bajas	Aguas Altas
Zona II 1=	0.36		Moderada	0.36	Moderada
Zona II 2=	0.42		Moderada	0.42	Moderada
Zona II 3=				0.57	Alta

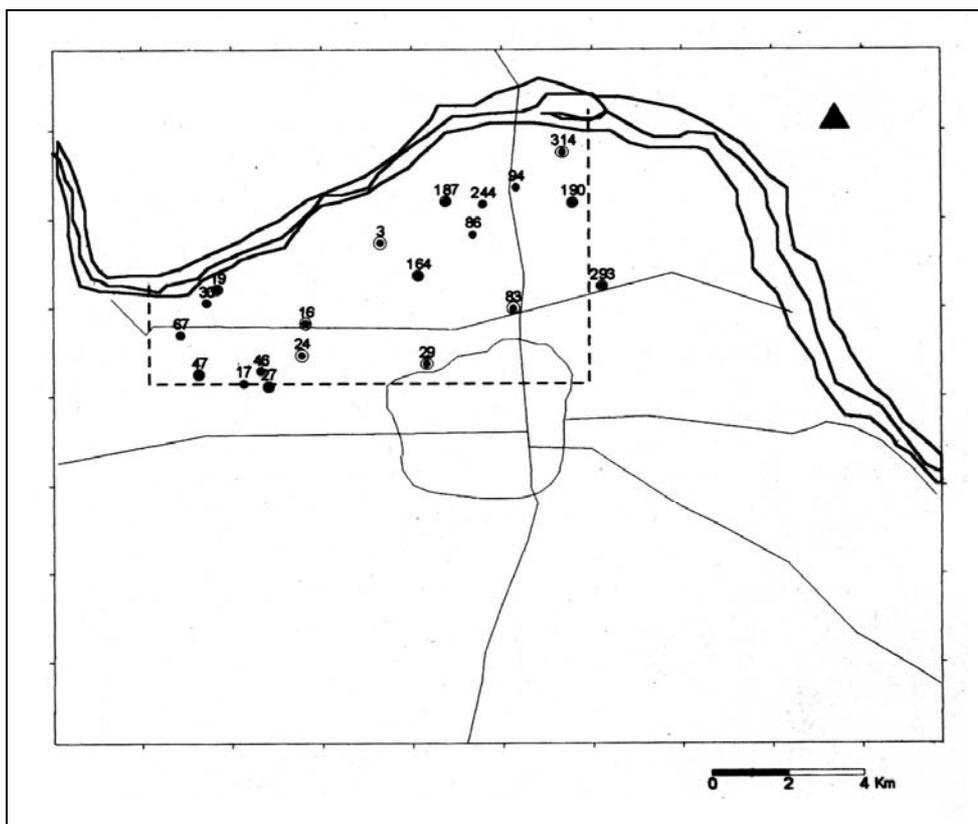
  

ZONA III					
Característica	Aguas Bajas		Aguas Altas		
Parámetros					
No Confinado					1
Arenas y Gravas con un manto de limo y/o arcilla (4m)					0.5
Distancia al Agua					
	1	90 - 70m	70 - 50m	0.5	0.5
	2	70 - 50m		0.5	

Índice D.I.O.S.	Valor		Evaluación	Evaluación	
	Aguas Bajas	Aguas Altas		Aguas Bajas	Aguas Altas
Zona III 1=	0.25		Baja	0.25	Baja
Zona III 2=	0.25		Baja		

**FIGURA 8: UBICACIÓN DE POZOS RELEVADOS.** Se han señalado los pozos elegidos para el monitoreo de rutina. La nomenclatura responde a la utilizada por el INA (1997)



## 6. EVOLUCIÓN DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

Es aceptado que la concentración de  $\text{NO}_3^-$  es un buen indicador de contaminación de origen antrópico. En efecto, los depósitos de residuos domiciliarios, las pérdidas en las redes cloacales, las infiltraciones provenientes de pozos negros y los residuos agropecuarios son fuentes de ion  $\text{NO}_3^-$ . Existen antecedentes de seguimiento de este indicador en el Valle de Tulum (Ferrés, 1985; Ferrés, 1993; Wetten, 1996). Un buen estudio del quimismo de las aguas en el Oeste del área de interés es el comunicado por Victoria y Rodríguez (1994), todos ellos pertenecientes al INA (ex CRAS). También se conocen antecedentes de indicadores menos específicos de actividad urbana, como lo son los cloruros, la conductividad eléctrica, sulfatos, etc.

A modo de resumen se presentan en la Figura 8 los mapas de isoconcentración de  $\text{NO}_3^-$  para los años 1978, 1981, 1983 y 1996. En la Figura 9 se presenta la evolución de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en aguas subterráneas del departamento Chimbas (Ferrés, 1983).

Dos afirmaciones se hacen evidentes: por un lado la tendencia al aumento de este indicador y por el otro la necesidad de ampliar el grado de detalle y actualizar la información. Esto último surge también del análisis de los datos de los pozos de Electrometalúrgica Andina (mapa de detalle Figura 10), cercanos a la margen derecha del río San Juan, que mostraban en 1993 un tenor de  $\text{NO}_3^-$  cercano a los 10 mg/l.

Las aguas de la laguna generada por niveles freáticos someros en una ripiera ubicada en Benavídez y Colón (Chimbas), usada como depósito de residuos urbanos, se ha encontrado que posee un tenor de hasta 17 mg/l de  $\text{NO}_3^-$ . El análisis bacteriológico arroja valores de entre 800 y 15.600 u.f.c. (unidades

formadoras de colonias) por ml. Los resultados para escherichia coli y pseudomonas confirman la contaminación microbiológica de esta agua (Silva y García, CRAS, 1988.)

## 7. CONCLUSIONES

El análisis de la información elaborada en esta primera etapa del Proyecto permite delinear algunas conclusiones de tipo preliminar.

En primer lugar, en lo que se refiere al conocimiento de la dinámica hidráulica del acuífero, se ha obtenido un buen grado de conocimiento, como así también de la relación río - acuífero. Este último aspecto permite confirmar la hipótesis de partida acerca de la peligrosidad de la instalación de vertederos ilegales en la playa del río San Juan, cuya constatación se ha hecho efectiva por parte de este grupo de Investigación. El mencionado trabajo de Silva y García (CRAS, 1988) apoya la hipótesis de que los contaminantes enterrados en las zonas ribereñas son llevados a través de la zona no saturada hasta el acuífero, y en épocas de niveles altos son inyectados directamente en él.

La Figura 11 muestra los radios censales para el año 1997, y en ella se aprecia la densidad de población en la Capital y en la zona de interés. Obsérvese que la densidad poblacional es comparable a la del departamento Capital, teniendo como ejes la avenida Benavídez y la Ruta Nacional N° 40. En estas zonas se han construido, a lo largo de los últimos 15 años y hasta la actualidad, numerosos barrios sin servicio de red cloacal. Hacia el Oeste del área de interés el asentamiento Villa Obrera posee una densidad de población similar a la de las zonas más pobladas de la Capital, estando este barrio al borde de la zona de recarga que ha quedado caracterizada.

FIGURA 9: MAPAS DE ISOCONCENTRACIÓN DE NITRATOS

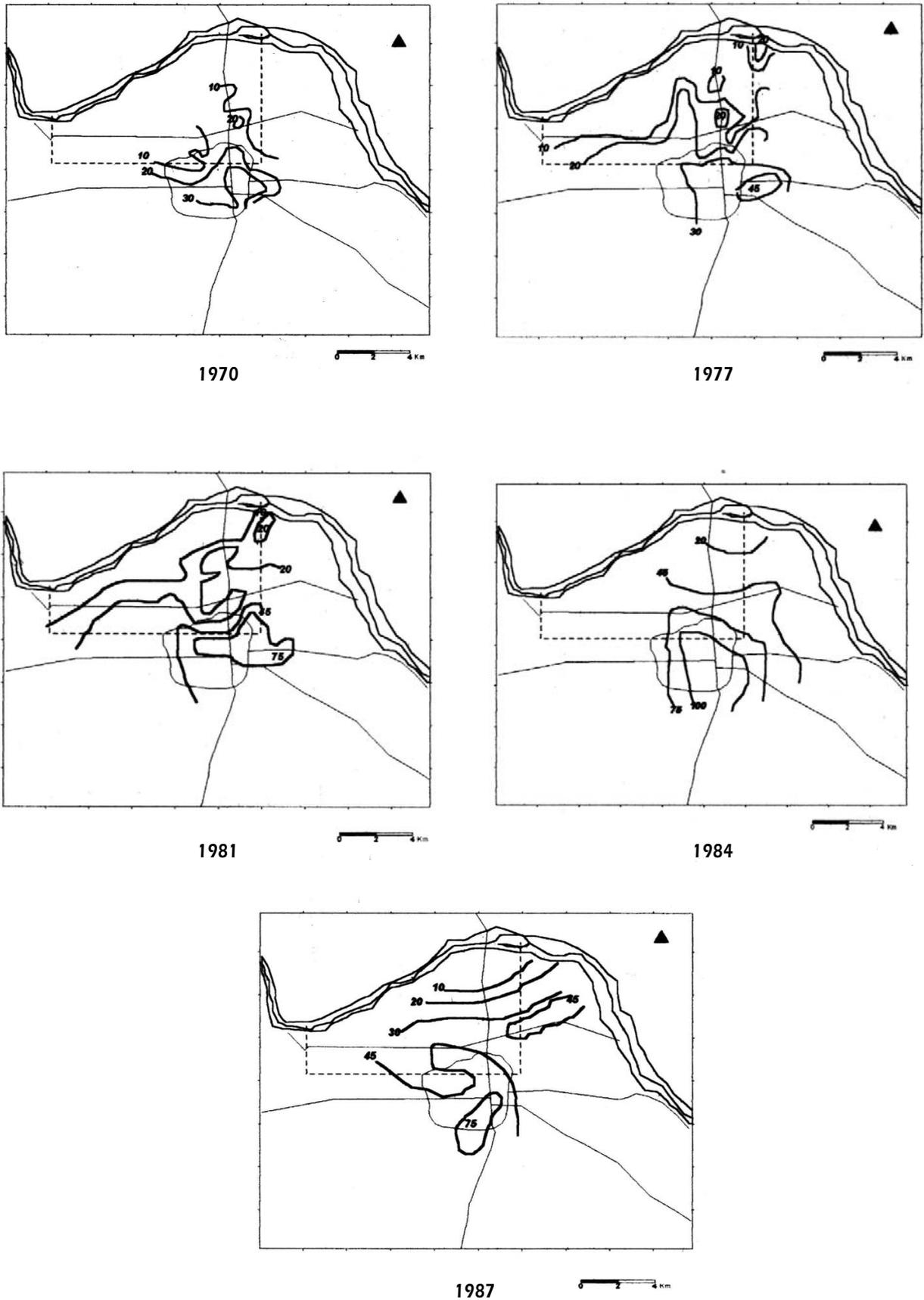


FIGURA 10: EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN DISTINTOS POZOS Y A DIFERENTES NIVELES EN EL DEPARTAMENTO CHIMBAS (CRAS, 1984)

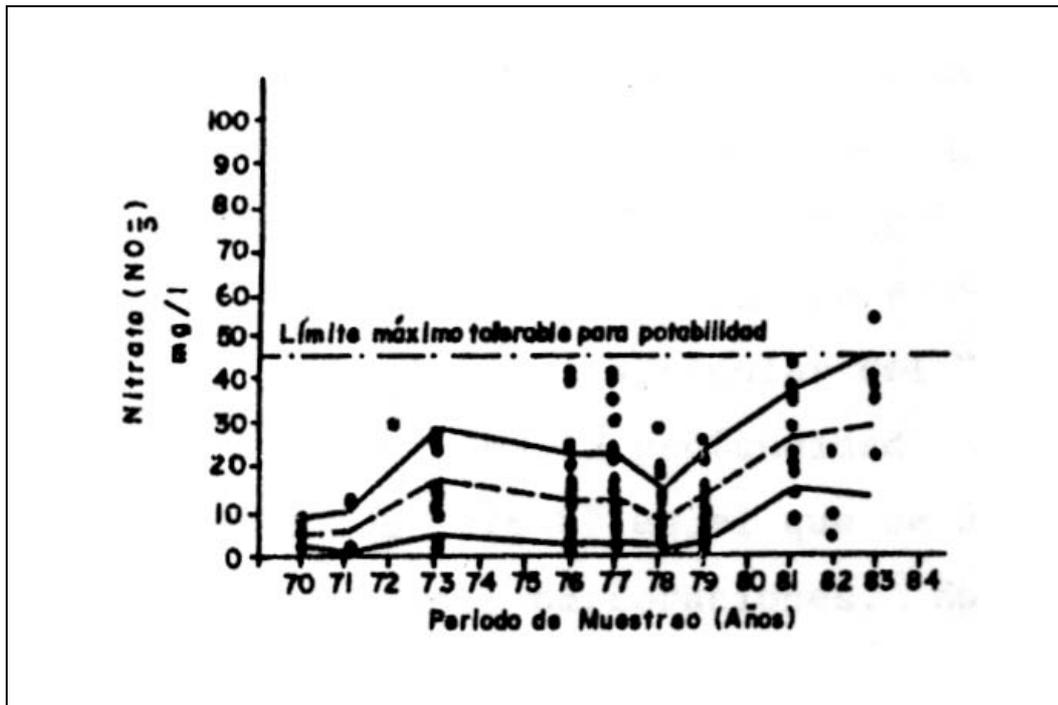
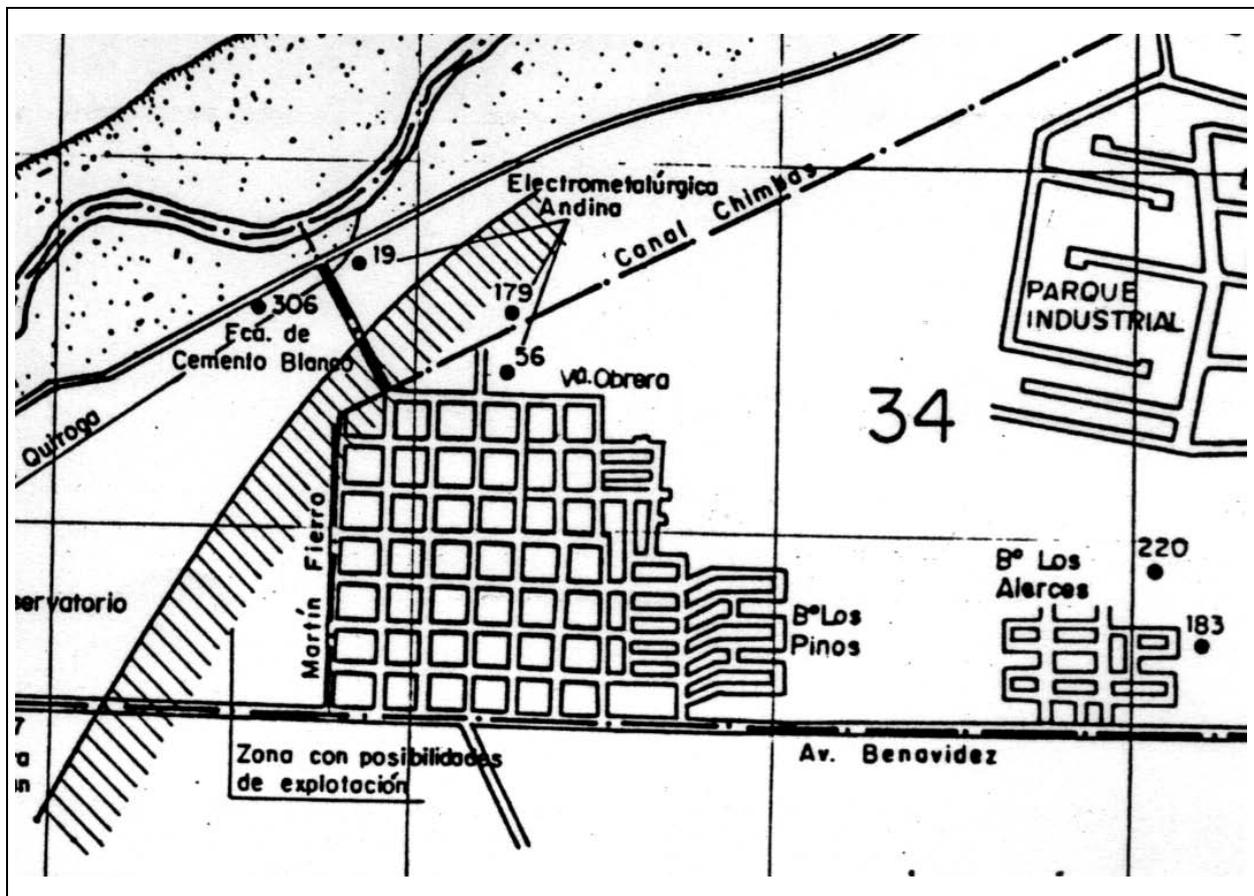
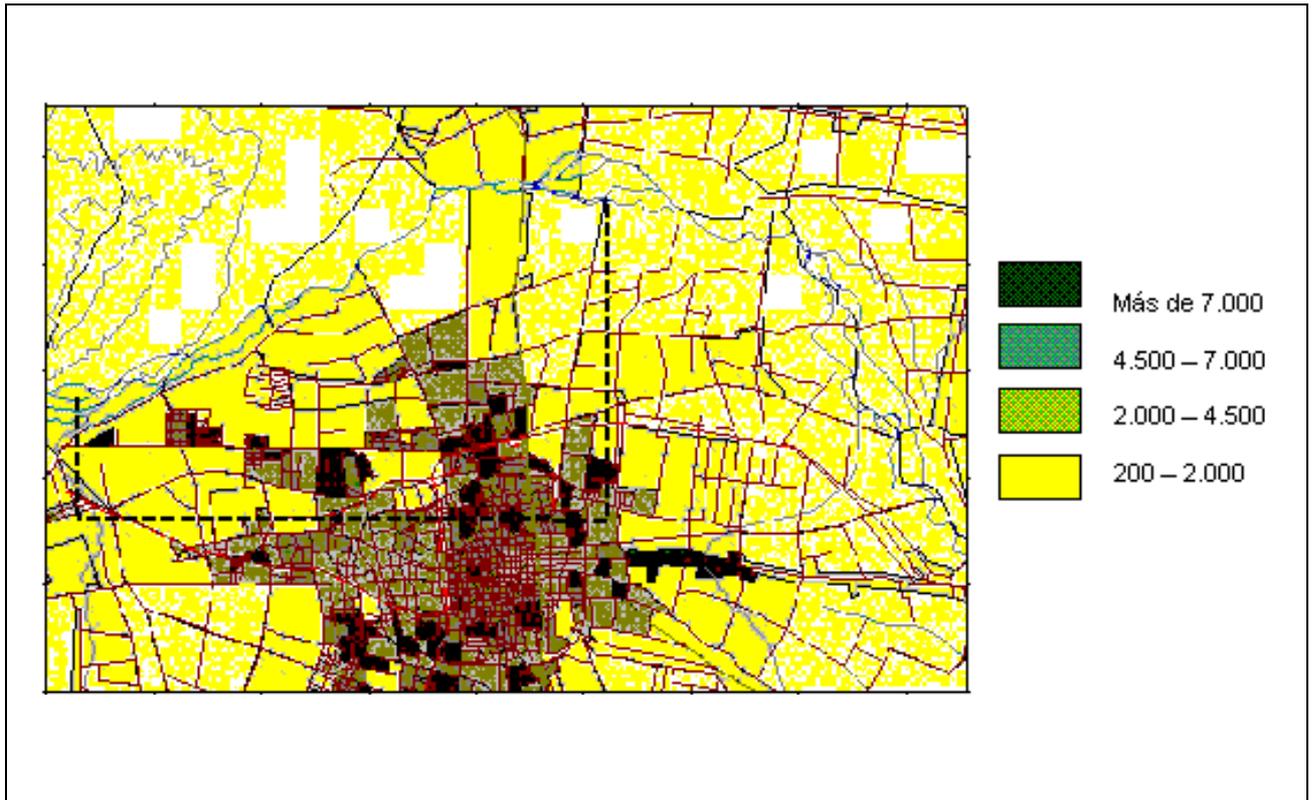


FIGURA 11: PLANO DE DETALLE DE LOS POZOS ANALIZADOS POR FERRÉS, 1993



**FIGURA 12: DENSIDAD DE POBLACIÓN (habitantes/Km<sup>2</sup>)**

La relación de la Figura 11 con el mapa de la Figura 6 muestra que, de acuerdo al presente estudio, los nuevos núcleos urbanos se encuentran en subzonas de vulnerabilidad Moderada - Alta, y hacia el Oeste los asentamientos Villa Obrera y cercanos al Parque Industrial se encuentran en el límite de las zonas de vulnerabilidad Moderada y Alta - Extrema.

Otra relación interesante es la existente entre el mapa de isoconcentración de  $\text{NO}_3^-$  (1987) con la Figura 11. Obsérvese la sugestiva correlación entre la densidad poblacional y la apa-

rición de niveles de 45 mg/l de nitratos (máximo tolerable según la Legislación Nacional). Si se tiene en cuenta que el máximo contenidos de  $\text{NO}_3^-$  aceptado por la EPA y por los organismos europeos es de 10 mg/l, el mismo mapa indica niveles inaceptables en casi todo el dominio.

La reprogramación de las campañas de muestreo para el presente año se debe a razones de índole presupuestaria y a la expectativa de niveles altos. Se ha decidido distribuir los muestreos económicamente factibles de realizar durante el año 2001.

## 8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CASTRO, A.

“Estudio hidrogeológico del acuífero aluvial Riusec - Daró (Girona)”, 1998.

CRAS. - “Características hidrogeológicas de las zonas propuestas para enterramiento de residuos domiciliarios y patológicos - Zonda, San Martín, 9 de Julio y Chimbas”, 1996

CRAS.

“Condiciones hidrogeológicas en terrenos del Instituto Penal de Chimbas y Radio Nacional”, 1983.

CRAS.

“Consideraciones del agua subterránea en el sector de la Fábrica Electrometalúrgica Andina”, 1996.

CRAS.

“Consideraciones preliminares sobre las características físico-químicas y bacteriológicas del agua de una ripiera ubicada en el Departamento Chimbas - Provincia de San Juan”, 1988.

CRAS.

“Elaboración de planos isopáquicos de distitos acuíferos - Valle de Tulum - San Juan”, 1978.

CRAS.

“Ensayo de bombeo pozo OSSE-3, B° Los Tamarindos, Chimbas”, 1986.

CRAS.

“Evaluación del estado hidrológico de las cuencas del Valle de Tulum, Jachal-Niquivil, Ullum Zonda y Valle Fértil en el período diciembre 1985 - abril 1986”, 1986.

CRAS.

“Memoria Técnica - Perforación OSSE-4”, 1988.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

“A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings”, 1987.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

“Regional assessment of aquifer vulnerability and sensitivity in the conterminous United States”, 1991.

FERRÉS, C.

“Análisis del contenido de  $\text{NO}_3^-$  y otros parámetros indicadores de contaminación del agua subterránea en el área del acuífero del Valle de Tulum”, CRAS, 1985.

HSU, H.

(Plan Agua Subterránea). “Análisis de la disponibilidad del escurrimiento superficial hacia el río San Juan y su contribución a la recarga del agua subterránea en el Valle de Tulum”, 1970.

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA)

“Mapa hidrogeológico de la Provincia de San Juan”, 1998.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY:

“Technical Options for the remediation of contaminated groundwater”, 1999.

NAVARRO, A.

(Plan Agua Subterránea). “Ensayos de bombeo en el Valle de Tulum”, 1969.

ROCA, JUAN A.

“Geología de los Valles de Tulum y Ullum - Zonda, Provincia de San Juan”, 1970.

VICTORIA, J. (CRAS).

“Información sobre la posibilidad de extraer agua subterránea en el sector Oeste del departamento Chimbas”, 1994.

WETTEN, C.

“Hidrogeología del Valle de Tulum: Síntesis del conocimiento”, Tesis doctoral, 1997.



# Pautas para el manejo en costas acantiladas y de dunas

## Provincia de Buenos Aires

López, Rubén Alvaro <sup>1,2</sup> - Marcomini, Silvia Cristina <sup>1</sup>

### Resumen

Numerosas localidades costeras han experimentado cambios drásticos en la estabilidad de sus costas, desde los fines de la década del 70 debidos principalmente a las criterios de urbanización y falta de planificación en las actividades realizadas en el frente costero. Estas comunidades basan su desarrollo económico, social y cultural en el turismo.

El presente trabajo evalúa los efectos de erosión en los distintos tipos de costas: acantilados cohesivos y costas de dunas, para desarrollar criterios básicos de planificación en escalas de tiempo de 50-100 años. Para tal fin se relevaron y estudiaron las estrategias y obras de protección de costas que se aplicaron con el objeto controlar y limitar los efectos adversos de la erosión, a lo largo de la costa de la Provincia de Buenos Aires entre Miramar y San Clemente del Tuyú.

El análisis de la geomorfología costera y los perfiles de playa en la costa noreste bonaerense llevaron a desarrollar modelos idealizados de la morfodinámica de costas y playas (1), estimar los efectos de la urbanización en el retroceso y la configuración de la línea de costa (2), determinar el grado de vulnerabilidad costera (3) y evaluar políticas de manejo con respecto a la erosión inducida por el hombre y los efectos de las tormentas (4).

### 1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos de erosión en las costas de la provincia de Buenos Aires se pueden clasificar en naturales e inducidos, los primeros están vinculados a las costas cohesivas con geoformas típicas de erosión (acantilados activos, plataformas de abrasión, etc.). Los inducidos se producen cuando las acciones humanas alteran las variables que regulan el equilibrio dinámico en las costas tanto acantiladas como de dunas. Distintas situaciones generadas por el retroceso de las costas y erosión de playas han llevado a las autoridades de los municipios costeros y reparticiones provinciales a actuar sobre esta problemática que afecta a la principal actividad económica, que se desarrolla en estas comunidades, que es el turismo.

Las metodológicas aplicadas han sido muy variadas y tendientes a solucionar problemas de erosión de índole local, con ausencia de un criterio regional, lo cual ha ocasionado acciones adversas en sectores costeros que hasta el momento no eran afectados por problemas de erosión crónica (Marcomini y López 1993).

Los problemas más frecuentes asociados a las costas en estudio son:

- Interrupción de la deriva litoral por construcciones costeras (puertos, estructuras de defensa y muelles).
- Pérdida de zonas de aporte por acorazamiento de sectores de costa.
- Actividades mineras en sectores de playas y dunas.
- Pérdida crónica de territorio a largo plazo, asociada a costas de sedimentos cohesivos.
- Reducción en el aporte de sedimentos arenosos de las corrientes de deriva litoral, especialmente en la fracción arena fina.
- Encauzamiento de escurrimientos superficiales hacia sectores costeros.

Entregado: 10 de Octubre de 2001 ■ Aceptado: 28 de Noviembre de 2001

1. Departamento de Geología. Universidad de Buenos Aires.  
Pabellón 2. Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires.  
e-mail: scm@tango.gl.fcen.uba.ar

2. Departamento de Costas y Medio Ambiente. Municipalidad de La Costa. Avenida Costanera 8001.  
Mar del Tuyú, 7108 Buenos Aires.

- Deterioro y/o pérdida de recursos ambientales (dunas, bermas, etc.).
- Inadecuado uso del recurso costero en relación con las acciones humanas.

En distintos países se han presentado numerosas alternativas para el tratamiento de los problemas costeros, que van desde la realización de estructuras de protección para modificar el aporte de los sedimentos en los sectores costeros hasta la solución del “no accionar”, cuando la situación lo requiriese.

Tomando como base el trabajo de Pope (1997) en el cual se agrupan y clasifican en 5 clases funcionales las distintas técnicas y metodologías utilizadas para los problemas de erosión de costa y/o playas, el objeto del presente trabajo es evaluar las medidas implementadas en el sector costero de la provincia de Buenos Aires entre Punta Rasa y Centinela del Mar y su relación con las clases funcionales propuestas por Pope. Como así también establecer los estudios y conocimientos básicos para realizar un correcto diagnóstico ambiental de las problemáticas costera.

## 2. METODOLOGÍA

Se realizaron trabajos de campo en los últimos 12 años en distintos sitios del litoral bonaerense comprendido entre Punta

Rasa (Municipalidad de La Costa) y Centinela del Mar (Partido de Lobería). En las distintas campañas se realizaron mapas topográficos y morfológicos, perfiles y muestreos de playa estacionales, relevamiento de estructuras de defensa de costas, monitoreo del comportamiento de los sectores aledaños a las distintas estructuras costeras (espigones, paredones, muelles, puertos, recargas, etc.), evaluaciones de las defensas durante periodos de tormenta, como así también se ahondó el conocimiento sobre políticas de manejo locales desarrolladas por distintas autoridades de las comunidades costeras.

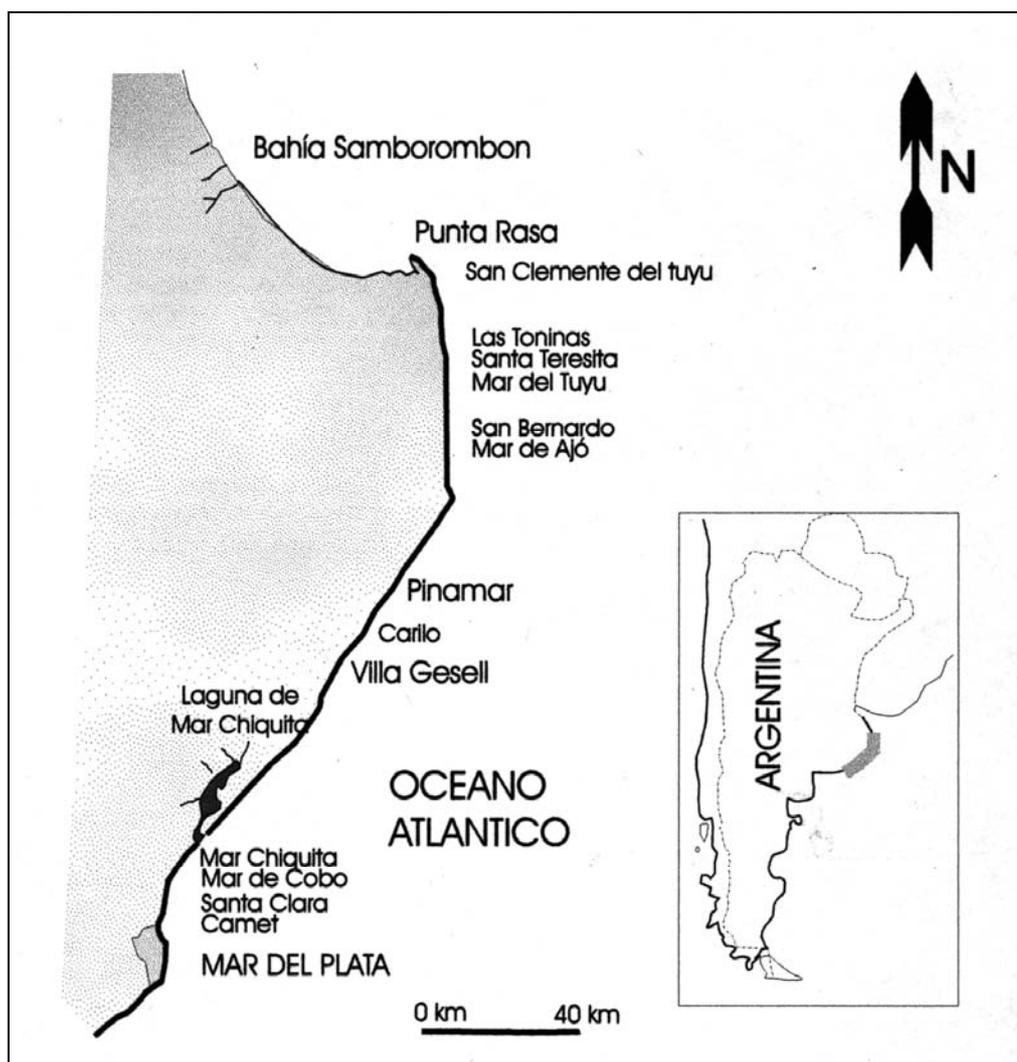
Las variaciones en la morfología costera de largo plazo fueron evaluadas por comparación temporal de fotografías aéreas en distintos sitios de observación de interés, correspondientes a los siguientes años e Instituciones:

- 1957. Instituto Geográfico Militar, escala 1:35.000.
- 1967. Instituto de Tecnología Agropecuaria, escala 1:20.000.
- 1980-84. GEODESIA, 1:20.000.

## 3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA COSTERA

El área de estudio se extiende desde Punta Rasa hasta Miramar con una extensión aproximada de 500 km a lo largo de la costa (Figura 1).

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN



El sector ubicado entre Punta Médanos y Punta Rasa presenta un sustrato de edad holocena, integrado por arenas castaño amarillentas con abundantes conchillas correspondiente a la Formación Mar de Ajó (Parker, 1979), el cual conforma una secuencia de cordones subparalelos que integraban una espiga progradante desde las cercanías de Pinamar (Violante, 1990).

Al sur de Villa Gesell y hasta las cercanías de Mar de Cobo se emplaza otra secuencia marina del Holoceno que conformaba una espiga progradante hacia el sur que integra la Formación Mar Chiquita definida por Schnack *et al* (1982).

En el área costera las unidades anteriores se hallan cubiertas por depósitos eólicos correspondientes a la Formación Punta Médanos (Parker, 1979), los cuales alcanzan su mayor extensión al sur de Punta Médanos. La costa en este sector se caracteriza por presentar una duna costera que comprende una franja de 150 a 200 m desde el pie de dunas hacia el continente. Naturalmente no están vegetadas aunque en algunos sectores el hombre introdujo especies arbustivas (tamariscos) que colonizaron impidiendo la migración natural de la misma. En líneas generales se las clasifica como dunas estables del tipo S4 según Arens y Wiersma (1990).

Las playas son rectilíneas con bajas pendientes presentan anchos variables de 50 a 140 m, y están integradas por arenas finas a medianas.

Al sur de Mar de Cobo las costas se caracterizan por ser erosivas, presentan acantilados activos de hasta 25 m de altura y al pie de los mismos se desarrollan terrazas de erosión marina y plataformas de abrasión, en parte cubiertas por depósitos de playa. La mayor parte de los mismos están labrados sobre una planicies de acreción loésica conformadas por sedimentos continentales Plio-Pleistocenos.

En la ciudad de Mar del Plata los acantilados se emplazan sobre cuarcitas por lo cual presentan menores alturas y plataformas de abrasión más estrechas. Este rasgo le infiere a la línea de costa mayor estabilidad a pesar de la importante pérdida de depósitos de playa por subsaturación de las corrientes litorales. En estas áreas la configuración de la línea de costa es irregular favoreciendo la formación de playas de bolsillo en las bahías protegidas.

El sector de costa en estudio esta expuesto a la acción del oleaje con dos direcciones principales de incidencia de trenes de olas provenientes del sur y sur-sureste, lo que origina una corriente de deriva litoral hacia el norte.

Las mareas son micromareales de régimen semidiurno con desigualdades diurnas.

#### 4. TIPOS DE MANEJO COSTERO IMPLEMENTADOS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

El manejo de las áreas costeras se ve en líneas generales supeditado a las condiciones socioeconómicas que afronta cada Municipio y a las posibilidades de acceder a asesoramiento técnico idóneo para llevar a cabo planes integrales de manejo de los recursos naturales. En la mayoría de los casos las obras de defensa de costa han sido llevadas a cabo sin contemplar las consecuencias ambientales que traería aparejada la ejecución de dicho emprendimiento. En otros casos se desconocen los procesos físicos naturales y en consecuencia los proyectos urbanísticos carecen de la adecuación necesaria a las condiciones hidrodinámicas del medio natural.

Considerando el manejo aplicado en Estados Unidos, Pope (1997), definió cinco clases funcionales, ellas son : acorazamiento, moderación, restauración , abstención y adaptación.

El modelo propuesto enmarca las soluciones para los problemas de erosión de costa y/o playa y puede ser adaptado a la problemática ambiental de la provincia de Buenos Aires.

En la figura 2 se representan los tipos de defensa costera y/o estrategias de manejo utilizadas en las distintas localidades del sector costero de la provincia de Buenos Aires y su agrupamiento según la clasificación de Pope . La figura 3 muestra la distribución a lo largo de la costa de las distintas metodologías empleadas para conservar los recursos costeros.

El término acorazamiento se emplea en aquellos casos en los cuales se intenta establecer un límite físico al retroceso, utilizando estructuras de defensa tales como: paredones verticales (Figura 4), paredones inclinados, revestimientos, albardones y diques. Asimismo se diferencian dos subgrupos los estables, es decir aquellos cuyas estructuras son duras y están diseñadas para tener una estabilidad temporal tales como aquellos construidos con hormigón o rocas y removibles como tubos de geotextil y Bolsas de arena. Para el subgrupo de los dinámicos Pope (1997) cita los revestimientos de grava que hasta el momento no ha sido puesto en práctica en ninguna de las localidades en cuestión.

La aplicación de las obras que se mencionan en esta clase funcional es recomendada cuando el problema es debido al efecto de las tormentas más que el asignado a la erosión crónica. El criterio que prevalece en la utilización de esta clase consiste en la protección mediante la proyección de una línea a lo largo de la costa, por detrás de la cual se protege el territorio. Mientras que el área frontal o adyacente a la estructura continua con su patrón erosivo natural, es decir que este tipo de estructuras tiene como único fin estabilizar la línea de costa, sin tener en consideración su efecto sobre la playa.

Estas obras de defensa han sido aplicadas en distintas localidades en costas cohesivas (Santa Clara del Mar, Camet - Mar del Plata - Miramar) y de dunas (Las Toninas, Santa Teresita, Mar del Tuyú, San Bernardo y Mar de Ajó (Figura 3). El impacto más significativo al medio físico esta dado porque la erosión rápida y crónica que afecta a los sedimentos no es amortiguada por este tipo de estructuras, provocando el desarrollo de perfiles de playa más abruptos, aguas más profundas y alcance de olas más altas especialmente en los ciclos erosivos asociados a las tormentas.

Las alteraciones mas frecuentes causadas por la utilización de este tipo de estructuras son :

- Modificación del perfil de equilibrio entre la zona continental y playa ,tanto en costas cohesivas como de dunas. Se produce una disminución en el aporte del material de la zona protegida (acantilado o duna) y una disminución en la saturación de sedimentos aguas abajo.
- Fenómenos de reflexión que producen las estructuras en el sector de playa, el mismo es intensificado durante las tormentas, sumado a la mayor altura de la ola lo cual incrementa el perfil erosivo de la playa disminuyendo el nivel en los sectores frontales a las estructuras de defensa.
- Reflexión en los bordes de las estructuras durante las subestadas o mareas extraordinarias. En estos casos la línea de ribera alcanza las estructuras agravando la erosión por reflexión en los bordes, produciendo un efecto de socavamiento que no se propaga en el resto de la playa , pero que provoca la pérdida de estabilidad de la estructura de defensa. Ejemplo Mar del Tuyú.

**FIGURA 2: TIPOS DE CLASES FUNCIONALES DE MANEJO COSTERO APLICADOS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**  
(López y Marcomini, 1998)

CLASES FUNCIONALES DE MANEJO	TIPOS DE DEFENSA DE COSTA		
	Estable	Dinámica	Removible
Acorazamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paredones verticales e inclinados</li> <li>• Revestimientos rocosos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsas</li> <li>• Cilindros geotextiles</li> </ul>
Moderación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espigones</li> <li>• Montículos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsas</li> <li>• Estructuras para reconstruir las dunas costeras</li> </ul>
Restauración		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno de playa</li> <li>• Reconstrucción de dunas</li> <li>• Construcción de bermas de playa</li> </ul>	
Abstención	No accionar	No accionar	No accionar
Adaptación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación paulatina de balnearios sobre la playa</li> <li>• Control de la línea de edificación en el frente costero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control y redimensión de desagües.</li> <li>• Prohibición de la extracción de arena.</li> <li>• Diseño de accesos .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prohibición del tránsito vehicular sobre la playa</li> </ul>
<b>Estrategias de manejo</b>			

- Modificaciones de la línea de costa por erosión diferencial, o sea costas rectilíneas que evolucionan por erosión diferencial a costas con sectores protegidos y no protegidos.

Otra clase funcional empleada en el manejo del sector en estudio es la *moderación*, la cual tiene como objetivo disminuir la erosión de los sedimentos de playa en un área proyectada y moderar los riegos. Las estructuras estables utilizadas son espigones y montículos (Figura 5 A y 6 A). Se aplica en áreas donde el problema es la erosión crónica producto de una pérdida en la disponibilidad de sedimentos. No son utilizados con el fin de proteger la costa de la acción de las tormentas pero sí para recuperar la playa. Aunque en forma directa muchas estructuras protegen la playa posterior. Esta clase funcional ha sido aplicada en las localidades con un mayor desarrollo poblacional y socioeconómico, y favorecidas por la cercanía a las fuentes de aporte del material rocoso (cuarcitas) para la construcción de estas estructura y mayores posibilidades de sustentación del la estructura por las características geológicas de la costa (Santa Clara del Mar, Mar del Plata y Miramar). Los efectos registrados por estas estructuras, si bien han originado en muchos casos importantes recuperaciones en los volúmenes de sedimentos de playa, han producido un efecto adverso en localidades aledañas afectadas por una mayor pérdida en la saturación de la deriva litoral aguas abajo.

Estas estructuras traen aparejados problemas ambientales tales como:

- Subsistencia de estructuras, este efecto se ha observado en los espigones de bloques de cuarcita asentados sobre las playas arenosas, cuyos bloques por efecto del socavamiento y lavado se hunden. De esta manera la estructura presenta una pérdida progresiva de su altura y con ella la efectividad ingenieril proyectada para la misma. En otros

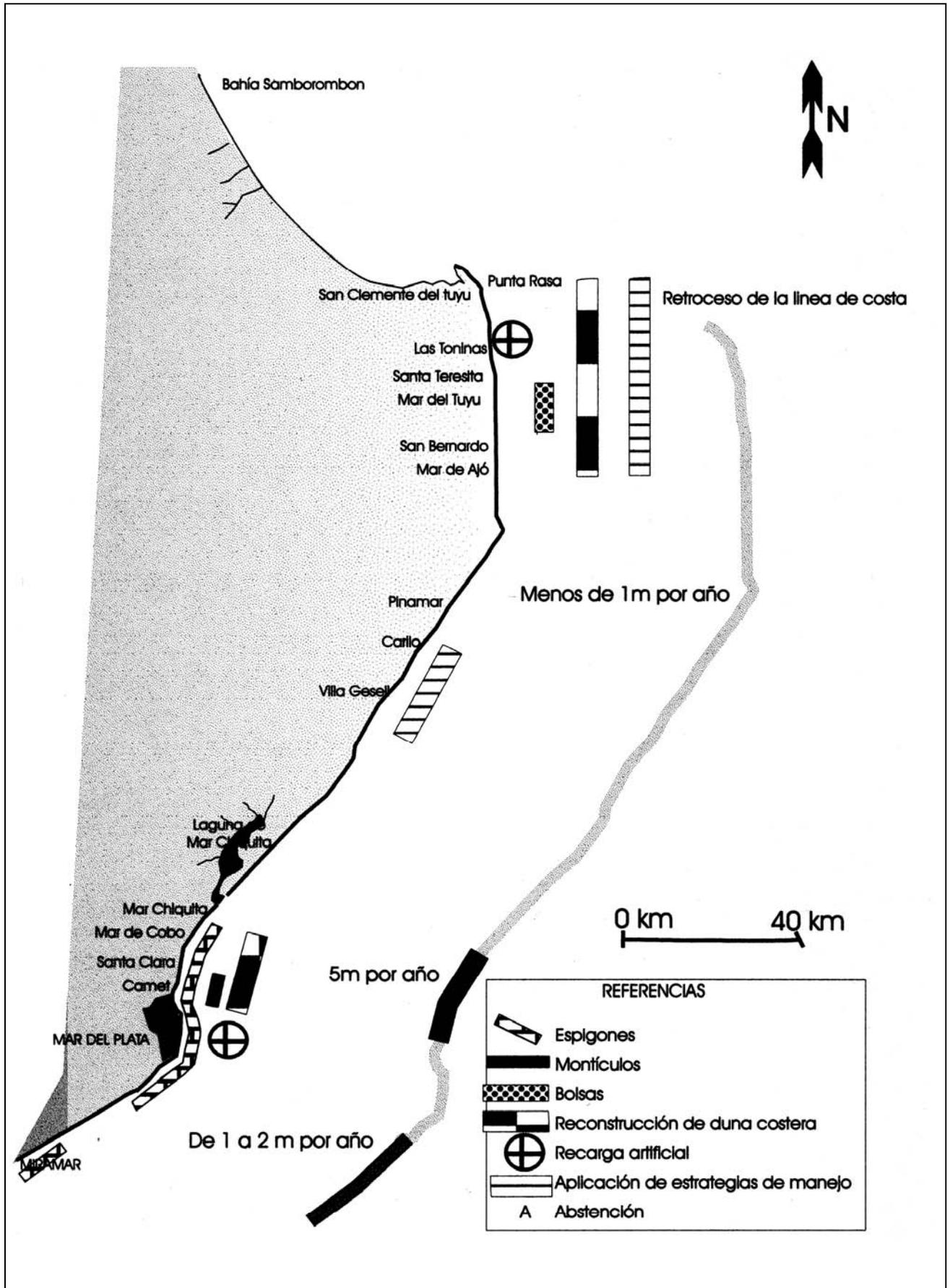
sectores la carga de estas estructuras puede asimismo agravar la subsidencia local, especialmente en áreas donde los sedimentos arenosos cubren planicies de marea arcillosas compresibles como en el sector punta Rasa, Bahía Samborombón y sectores internos de la Laguna de Mar Chiquita.

- Subsaturación del flujo con la consecuente erosión de sectores aledaños deriva abajo.
- Asentamiento de ecosistemas biológicos autóctonos. En playas arenosas en las cuales se han construido espigones rocosos, existe una rápida colonización de especies adaptadas a fondo duro que compiten y condicionan en el normal desarrollo del ecosistema de fondo blando.

Dentro de las estructuras removibles se han utilizado bolsas de arena para reconstrucción de bermas de playa y barreras artificiales para la reconstrucción de dunas costeras y playa. En todos los casos donde se aplican sobre la playa las mismas son temporarias y son proyectadas para ser removidas al comienzo de la temporada veraniega (por ejemplo Mar del Tuyú y Costa del Este).

Entre las técnicas dinámicas se ha aplicado la vegetación de dunas, la utilización de esta metodología presenta un delicado criterio de aplicación, ya que existen numerosos ejemplos en nuestras costas de los perjuicios que provocó la estabilización de la duna costera por especies arbustivas como Tamariscos y Aromos (Marcomini y López 1995 e Isla et al 1998). Este tipo de tareas es aplicable para sectores de costa con altos rangos de transporte eólico hacia el sector continental o para estabilizar dinámicamente dunas reconstruidas (por ejemplo San Clemente del Tuyú, Las Toninas, Santa Teresita, etc.). Recomendándose en todos los casos la utilización de especies autóctonas principalmente gramíneas y no arbóreas (Figura 6).

FIGURA 3: LOCALIZACIÓN DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN EFECTUADAS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.



**FIGURA 4: EMPLAZAMIENTO DE PAREDONES VERTICALES COMO DEFENSA DE COSTA DEL TIPO ACORAZAMIENTO en la costa de Mar del Tuyú, Municipio de La Costa**



**FIGURA 5: TIPOS DE ESTRUCTURA UTILIZADAS EN UNA ACCIÓN DE MODERACIÓN**



**5a. ESPIGONES EN T**  
Mar del Plata



**5B. MONTÍCULOS CON BLOQUES DE CUARCITA,** Camet

**FIGURA 6: POLÍTICA DE RESTAURACIÓN EN SAN CLEMENTE.** Se distinguen las tareas de generación de dunas mediante defensas fijas (enquinchados) y la estabilización de los depósitos con plantación de *Spartina ciliata*



La restauración involucra la planificación de obras ingenieriles de mayor costo tendientes a introducir sedimentos en un sector de playa para mitigar la erosión crónica y generar un depósito que proteja la playa distal de la erosión provocada por futuras tormentas. Es el único manejo que tiene como objetivo saturar de sedimentos las corrientes del sistema litoral.

El ejemplo más representativo es el caso de la recarga de playa que se efectuó en Mar del Plata, en las playas de Varese,

Grande y La Bristol, donde se volcaron aproximadamente 2.000.000m<sup>3</sup> de arena para ampliar en más de 100m los anchos de las playas mencionadas. Sin entrar en detalles de los impactos ambientales que esta obra produjo (Marcomini y López, 2000), representa un importante cambio en la política provincial para abordar problemas de erosión costera considerando el potencial turístico de los espacios de recreación (Figura 7).

**FIGURA 7: VISTA PANORÁMICA DE LA PLAYA BRISTOL (Mar del Plata),** luego de 6 meses de efectuado el proyecto de recarga artificial realizado en diciembre de 1998



Por el carácter dinámico de este tipo de proyectos es que en esta clase no existen expresiones en técnicas estables y renovables.

También se han realizado otros episodios de recarga pero de menor magnitud que abarcan las tareas de reconstrucción y estabilización con vegetación de dunas costeras, con el objeto de restaurar las condiciones originales que le daban estabilidad natural a las playas (las Toninas, Mar del Tuyú y Mar de Ajó). En los sectores de la costa donde esta clase funcional fue aplicada, por lo general el material se emplaza en la playa distal, donde los resultados son más notables y los beneficios inmediatos (Figura 8).

En otras partes del mundo se han obtenido muy buenos resultados recargando simultáneamente los sectores de playa emergida y directamente la barra de rompiente (Charlier y Meyer 1997).

En la clase funcional correspondiente a la *abstención* no se realizan obras. El Municipio decide, luego de evaluar las posibilidades económicas, sociales y las limitaciones del medio físico, aplicar la toma de decisión política del “no accionar”. Por lo general no existe una solución económica viable para resolver los problemas serios de erosión. La misma puede tener carácter temporal.

La aplicación de la *adaptación* como clase funcional surge de un detallado conocimiento de todas las variables que actúan (sociales, culturales, económicas, físicas, bióticas, etc.). Se implementan políticas y restricciones para orientar a las actividades humanas a adaptarse a las posibilidades y limitaciones del sistema costero natural. De esta forma no se continúa con la modificación del ciclo de erosión-acreción natural. La adaptación incluye la zonificación de riesgo de los distintos sectores de costa, en donde el uso humano del territorio debe aceptar las consecuencias de su desarrollo en la playa, para no aumentar el deterioro provocado.

## 5. RESULTADOS

De la evaluación de los distintos tipos de defensas de costa y políticas de manejo aplicadas en el sector costero de la

provincia de Buenos Aires en cuestión, surge la necesidad primaria de establecer objetivos básicos que consideren variables locales y regionales, que los mismos contemplen mecanismos de sustentabilidad en el tiempo para obtener resultados a corto, mediano y largo plazo.

Para definir estrategias de manejo en costas cohesivas es necesario tener conciencia de que la erosión es irreversible. A diferencia de lo que ocurre en costas de dunas, el material que se pierde por erosión del acantilado o de la plataforma de abrasión luego de una tormenta no se recupera.

Existen dos políticas de manejo a ser implementadas en estas zonas de riesgo de erosión costera. Una de ellas consiste en ejecutar técnicas preventivas para evitar o disminuir los efectos adversos y la otra abarca los métodos de protección.

Las técnicas preventivas sugeridas son:

- Impedir la construcción de nuevos emprendimientos e implementar la reubicación de edificaciones preexistentes fuera de las franjas propuestas precedentemente.

Las técnicas de protección se basan en la confección de defensas de costa para disminuir el retroceso del acantilado. Estas últimas poseen muchas contras y solo deberían utilizarse para casos de peligrosidad extremas ya que ocasionan los siguientes efectos adversos:

- Disminuyen el aporte de sedimentos a las corrientes litorales ya que gran parte del material proviene del mismo acantilado, generando un impacto importante en las playas localizadas deriva abajo.
- Generan efectos reflectivos en la playa que incrementan la erosión al frente.
- Interrumpen la deriva litoral.
- Son muy costosas
- Involucran un costo de mantenimiento.

La morfología e hidrodinámica encontrada en las costas de dunas hacen más factible la aplicación estrategias adecuadas

FIGURA 8: EPISODIOS DE RECARGA EN EL SECTOR DE PLAYA DISTAL, zona centro de Mar del Tuyú



para implementar políticas de adaptación o abstención en aquellos Municipios donde no se cuente con suficientes recursos económicos. Obras tales como la regeneración y restauración de la duna costera han dado muy buenos resultados en este tipo de costas sometidas a un grado de erosión moderado. Mediante la implementación de estas tareas, utilizando mano de obra y materiales locales, se ha logrado estabilizar la línea de costa y en forma indirecta restaurar la playa.

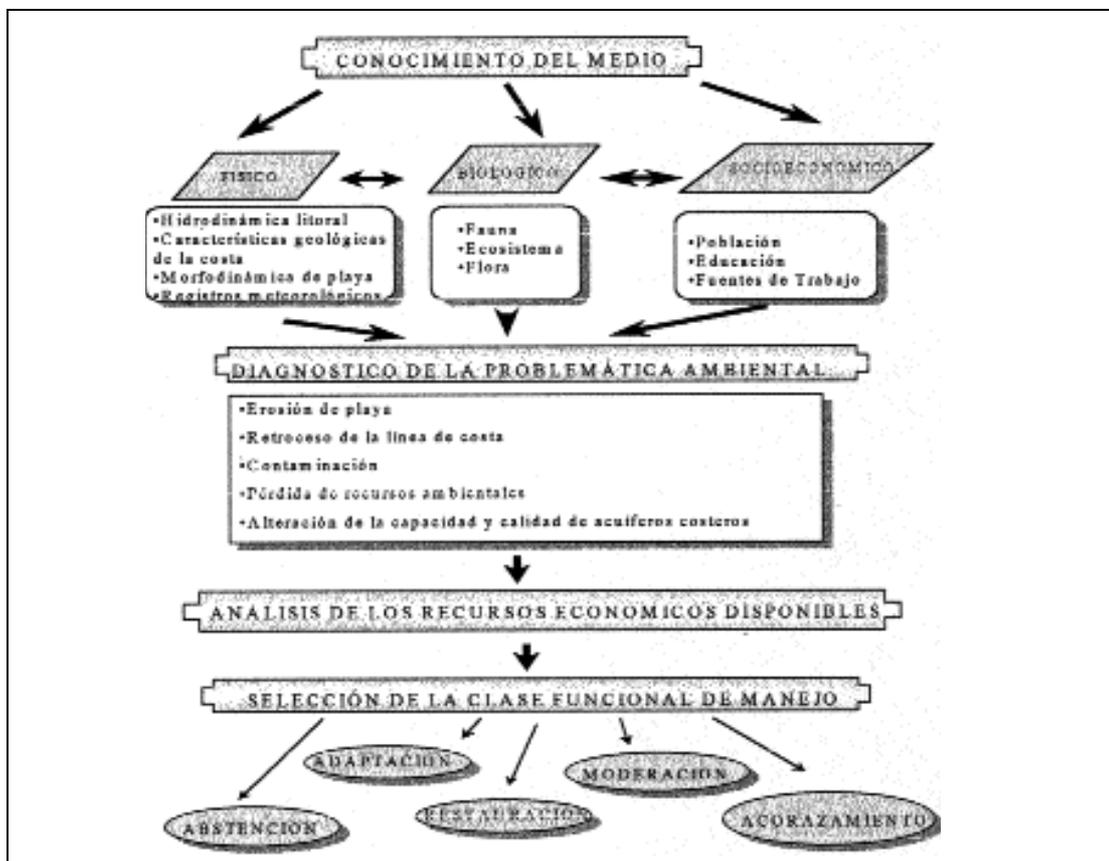
El análisis de los datos obtenidos demuestran una relación directa entre la erosión ocasionada por los asentamientos urbanos y la configuración, dimensión y presencia de las bermas estables y estacionales en el perfil de playa. Los primeros rasgos sensibles a la erosión son las bermas estacionales, las cuales prácticamente desaparecen en los sectores céntricos de la ciudad, donde existe un incremento en la onda erosiva (Marcomini y López, 1995). Estas geoformas guardan una marcada relación con los cambios estacionales. Por lo general en perfiles donde la hidrodinámica natural del sistema playa-duna no ha sido

alterado, las bermas estacionales se generan durante el invierno y desaparecen o disminuyen en número en verano. La presencia de las mismas está asociada a los eventos de olas de mar de fondo ("swell") y a olas de tormenta.

La duna costera actúa como una defensa flexible que retroalimenta la playa. La destrucción o urbanización de la misma incrementa la velocidad de retroceso de la línea de costa. La alta movilidad del pie de duna hace inapropiada la implementación de estructuras rígidas tanto para estabilizar la costa (paredones) como para reconstruir la playa (espigones y rompeolas). Asimismo estas estructuras sufren frecuentemente gran deterioro luego de tormentas por no poseer un sustrato duro donde asentarse e incrementan los fenómenos reflectivos con la consecuente disminución del nivel de playa.

El esquema de trabajo descrito en la Figura 9 muestra los pasos previos a seguir para seleccionar la clase funcional a aplicar en el plan de manejo costero.

FIGURA 9: ETAPAS A CONSIDERAR EN LA DIAGRAMACIÓN DE LOS PLANES DE PROTECCIÓN DE COSTAS



La primera etapa indispensable para iniciar un plan de manejo racional consiste en alcanzar un conocimiento global del medio natural, mediante la recopilación de información, relevamientos y estudios del medio físico, biológico y socioeconómico. Para caracterizar el medio físico es necesario conocer la geología y geomorfología costera, la hidrodinámica litoral y la morfodinámica de playa. Para evaluar la hidrodinámica es necesario conocer los datos estadísticos de las olas y corrientes litorales y mareas, interrupciones en la dinámica litoral, estadística de vientos, frecuencia e importancia de tormentas, mientras que para caracterizar la morfodinámica se requiere la evaluación de los

cambios estacionales, el comportamiento de las bermas, los cambios de pendientes de playa, la variación morfológica de playa en relación a las tormentas, estimación de volúmenes de arena movilizadas durante las tormentas y las barras de lavado post tormenta, balance anual de erosión-acreción (cuantificado), etc..

Para estudiar el medio biológico es necesario conocer la vegetación existente en el sector costero (gramíneas, arbustivas, arbóreas, etc.), la identificación y distribución de especies autóctonas y alóctonas. Asimismo es apropiado efectuar un relevamiento de las especies que habitan en el sector costero, sus condiciones de hábitat natural y comportamiento. El estudio

del ecosistema comprende la interrelación de los factores físicos y biológicos, la evaluación de las variables que regulan el desarrollo natural de la fauna y la flora y el grado de adaptabilidad de las especies alóctonas en relación con las autóctonas, etc.

La caracterización socioeconómica considera la cantidad de población estable y temporal. Se evalúa el nivel medio de educación de la población estable. Se analizan las principales fuentes de ocupación.

Una vez obtenida la información necesaria para caracterizar el medio natural y determinadas las relaciones de los mismos para mantener un equilibrio natural sostenido, se procede a diagnosticar la problemática ambiental y su relación con las actividades humanas.

Teniendo el diagnóstico de la problemática ambiental, el reconociendo las causas, la evaluación las consecuencias y la capacidad económica del Municipio se selecciona la clase funcional apropiada para realizar un plan de manejo costero.

Posteriormente se procede a evaluar la capacidad económica financiera del Municipio para, solventar una determinada política de manejo mediante la accesibilidad a líneas de créditos o subsidios provinciales, nacionales e internacionales, tasas de contribuciones y mejoras u otros medios.

## 7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ARENS, S. M. Y J. WIERSMA, 1994.  
The Dutch Foredunes: Inventory and classification.  
*Journal of Coastal Research*, 10, 1: 189-202.
- CHARLIER, R.H Y C.P., DE MEYER, 1997.  
Much ado about beach feeding.  
*Proceedings of the Coastal environment management and conservation. Bordomer 97*, 2, 278 -283.
- ISLA, F.I., BÉRTOLA, G.R., FARENGA, M.O., SERRA, S.B. Y CORTIZO, L.C. 1998.  
Villa Gesell: Un desequilibrio sedimentario inducido por fijaciones de médanos.  
*Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 5(1):41-51.
- LOPEZ, R.A., Y MARCOMINI, S.C., 1998.  
Manejo costero asociado a la erosión de playas en la provincia de Buenos Aires.  
*X Congreso Latinoamericano de Geología*. 373 - 377.
- MARCOMINI, S.C. Y R.A. LÓPEZ, 1993.  
Coastal Protection Effects at Buenos Aires, Argentina.  
*The Eighth Symposium on Coastal & Ocean Management. Coastal Zone 93. Nueva Orleans. U.S.A.* 3: 2724-2738.
- MARCOMINI, S.C. Y LÓPEZ, R.A., 1995.  
Strategies for the coastal management of Villa Gesell, Argentina.  
*Proceeding of the International Conference "Coastal Change 95", BORDOMER-IOC*, 2, 819-831. Bordeaux.
- MARCOMINI, S. C., Y LÓPEZ, R.A., 2000.  
Evaluación de la recarga artificial de playas. .  
*II Congreso Latinoamericano de Sedimentología*, Resúmenes 108-109.
- PARKER, G., 1979.  
Geología de la planicie costera entre Pinamar y Mar de Ajó, provincia de Buenos Aires.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 34 (3): 167-183.
- POPE, J., 1997.  
Responding to Coastal Erosion and flooding damage.  
*Journal of Coastal Research*, 13(3), 704-710.
- SCHNACK, E., FASANO, J E ISLA, F., 1982.  
The evolution of the Mar chiquita lagoon coast, Buenos Aires province, Argentina.  
*Proceedings of the International Symposium on sea level changes in the last 15.000 years*:143-155.
- VIOLANTE, R.A. 1990.  
El sistema de barrera litoral - llanura costera del Pleistoceno superior en el sector comprendido entre Villa Gesell y la laguna de Mar Chiquita, Pcia de Buenos Aires.  
*Tercera Reunión Argentina de Sedimentología, San Juan*,:270-275.

## 6. CONCLUSIONES

Las políticas de manejo se pueden dividir en preventivas las cuales consisten en mitigar u evitar efectos erosivos y de protección que involucran la ejecución de obras de infraestructura. En el sector de la costa de Buenos Aires constituido por costas de dunas, la alta movilidad de la línea correspondiente al pie de la duna costera hace inapropiada la diagramación de obras duras para estabilizar la línea de costa empleando acorazamiento como paredones y revestimientos rocosos y también la reconstrucción de playa mediante moderación estable como espigones y rompeolas.

Las clases funcionales propuestas por Pope se adaptan con algunas modificaciones, a los trabajos de protección de costas y planes de manejo costero realizados en la provincia de Buenos Aires.

El diagnóstico de la problemática ambiental surge del estudio de los factores físico, biológico y socioeconómico y su interrelación.

La selección de la clase funcional, a aplicar en un plan de manejo costero, esta condicionada por los recursos económicos disponibles, la capacidad soporte del medio físico y el impacto ambiental que genere sobre sectores aledaños.



# Recuperación de canteras de bloques para roca ornamental: rediseño de explotación ajustado al estilo de fracturación

Nestiero, Osvaldo E.

## Resumen

*En la presente contribución se propone un modelo geométrico teórico para la recuperación de una cantera de bloques para roca ornamental cuyo diseño inicial de explotación no pudo adaptarse a la imprevista aparición de disyunciones sólo materializadas al aliviarse sobrecargas durante el avance del laboreo minero.*

*El caso estudiado, cantera de kinzigita ubicada en las inmediaciones de la localidad de Yacanto de Calamuchita en la Provincia de Córdoba, mostraba el perjuicio ocasionado por la superposición de fracturas, oblicuas entre sí, sobre frentes y pisos de cantera.*

*Un análisis estadístico de discontinuidades, realizado en una contribución previa a ésta, muestra la existencia de sistemas de fracturas, inconvenientes para la diagramación de la cantera, que difícilmente pudieron ser previstos antes de iniciarse la explotación.*

*La influencia de la fracturación sobre el diseño de explotación, era diferente según la posición, densidad y grado de desarrollo de cada sistema. Mientras unos no afectaron la integridad de los bloques otros se manifestaron con fracturas dispuestas desfavorablemente a la obtención de bloques ortogonales y con tamaños aptos para la industrialización.*

*Se propone entonces un diseño de cantera en donde se minimice el efecto de los planos de rotura considerados más críticos. Se considera la posibilidad de "trocear" al macizo rocoso respetando, en lo posible, la posición de planos cuya aparición perjudica la explotación. Tal es el caso de un sistema disyuntivo dominante, de rumbo aproximado NE e inclinación al SE. El rediseño a proponer deberá asumir el costo adicional que provoca el uso de pisos y frentes de cantera inclinados cuya experiencia de uso, en nuestro medio, aún no está difundido.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Son frecuentes las canteras de bloques malogradas por la desacertada elección del método de laboreo. Son comunes los problemas debidos a la aparición de conflictos entre la estructura geológica de un macizo y la geometría de la diagramación de explotación sobreimpuesta, en especial cuando ésta no ha sido desarrollada teniendo un total conocimiento microtectónico y

estadístico de los planos de discontinuidad, sean estos reales o potenciales, que se encuentran afectando al cuerpo rocoso.

Muchas canteras pueden recuperarse con éxito mediante la aplicación de métodos de explotación no convencionales, o sea diferentes al clásico sistema de banqueo.

Buscando aportar soluciones a estos problemas, tan frecuentes, se elaboró este trabajo cuyo objeto es presentar una propuesta de "rediseño" para una cantera que, debido a la compleja estructura disyuntiva local y a una diagramación de explotación que resultara ineficiente, fue disminuyendo sus niveles de producción, con el avance de sus frentes, al punto tal de tornarse inoperativa.

Para la confección de esta contribución se han tenido en cuenta las conclusiones arribadas en el "Análisis de las estructuras condicionantes de la explotación de rocas dimensionales

Entregado: 09 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 14 de Setiembre de 2001

Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria. Pabellón II, piso 1°, Intendente Güiraldes y Costanera Norte, 1428 Ciudad de Buenos Aires, República Argentina.

e-mail: salvanesti@arnet.com.ar

en un cuerpo de Kinzigita, Dpto. Calamuchita, Provincia de Córdoba” incluido en el Volumen X de las Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, correspondientes al año 1996.

Retomando esa línea de trabajo se desarrolla el presente aplicando los conocimientos recogidos en esa oportunidad, acerca de la microtectónica y el diseño de fracturación local, a la resolución práctica de un problema minero y geológico - estructural concreto.

El yacimiento estudiado se ubica en la porción sur de un cuerpo de kinzigitas, aflorantes en las cercanías del río Santa Rosa, 9 kilómetros al norte de la localidad de Yacanto de Calamuchita en la Provincia de Córdoba (Figuras 1 y 2). Las kinzigitas son rocas muy tenaces que se asocian a condiciones de elevado grado de metamorfismo; su color es gris azulado y la textura es granosa gruesa; presenta cierto bandeamiento correspondiente a la foliación migmatítica, propia del metamorfismo. Entre los constituyentes principales se destacan cuarzo, granate, cordierita, plagioclasa y biotita siendo los accesorios magnetita, ilmenita y antofilita. La cordierita le confiere una tonalidad azul que la hace muy atractiva; asimismo el bandeamiento le otorga cierto “movimiento” en su diseño que refuerza el valor ornamental.

La litología asociada a la kinzigita es característica del basamento cristalino metamórfico precámbrico de las Sierras Pampeanas de Córdoba y esta compuesta por migmatitas, gneises, mármoles, anfíbolitas, peridotitas y milonitas (Millone y Mosco - ni 1991; Bendayán 1994; Nestiero 1996). Se halla incluida en el grupo Yacanto compuesto además por rocas ultramáficas, máficas y gneises granatíferos que hacen de encajonantes (Martino et al. 1995). La estructura disyuntiva de la región es compleja debido a la superposición de ciclos tectónicos antiguos y movimientos terciarios de ascenso cortical causante de estructuras de alivio.

Tal como se interpretara, en el trabajo previo a éste, el estilo de fracturación presente en las kinzigitas, no era el más conveniente para un macizo que hubiera de explotarse para la obtención de bloques de roca (Nestiero 1996). Esto se vio reflejado en la recuperación de bloques con formas y dimensiones inapropiadas para una óptima industrialización.

En virtud de las dificultades encontradas durante la explotación de la cantera, vinculadas a la complejidad tectónica, responsable de la presencia de planos de discontinuidad estructural con disposiciones inconvenientes para la extracción de bloques íntegros, se propone una diagramación de cantera alternativa que minimice ese efecto. Se desarrolla entonces un modelo teórico que incremente el rendimiento de la explotación mejorando la razón  $m^3$  bloque/ $m^3$  roca removida, aumentando las dimensiones de los bloques y mejorando la ortogonalidad de sus caras.

Se busca producir un modelo geométrico - teórico - que logre “trocear” al macizo aprovechando planos que durante la apertura de la cantera, y el sucesivo avances de los frentes, fueron manifestándose de manera adversa a la diagramación tornándose dificultosa, cuando no impracticable, la explotación. La finalidad es lograr que los planos deletéreos jueguen a favor del minado del macizo haciendo supeditar el diseño de cantera a la posición de éstos.

## 2. DISEÑO DE FACTURACIÓN LOCAL

La evaluación de las discontinuidades presentes en la porción del macizo explotado, revela máximos estadísticos en posiciones tales que conforman un diseño de fracturación compuesto por varios sistemas (Figura 3). Estos pueden resumirse de la siguiente manera:

*Sistema F:* juegos de fracturas, asociadas a esfuerzos tectónicos antiguos subhorizontales de dirección ENE/OSO. Los juegos son a saber: F0: Az.  $340^\circ$  / Incl.  $80^\circ$ E: fracturación asociada a la foliación migmatítica, paralela a la posición de la esquistosidad regional, y normal a la dirección de los máximos esfuerzos regionales antiguos. Esta manifestación disyuntiva es de tipo distensiva. F1: Az.  $45^\circ$  / Incl.  $70^\circ$ NO y F2: Az.  $105^\circ$  / Incl.  $80^\circ$ NE: juegos de fracturas conjugadas cuyo origen también se vincula a la tectónica antigua. Se observaron algunas fracturas, correspondientes a F1, con adherencias de minerales fibrosos indicadores de cinemática sinistral (Nestiero 1996). No se encontraron evidencias que indicaran sentido de movimiento sobre F2, aún presentándose minerales fibrosos.

D: Az.  $65^\circ$  / SV: juego de diaclasas con posiciones cercanas a la bisectriz aguda formada por la intersección oblicua de las fracturas F1 y F2. Su posición hace suponer que se traten de fracturas de extensión (Billings 1963 y Hancock 1985) paralelas a la dirección del máximo esfuerzo regional antiguo.

*Sistema A:* juego de diaclasas de extensión subparalelas y subhorizontales producidas por la liberación de sobrecarga litológica conformando lajamiento o estructura en lajas (Billings, 1963).

*Sistema C:* diaclasas de posición variable con frecuencia curvadas y alabeadas pero acotadas entre los acimutes de  $10^\circ$  y  $60^\circ$  e inclinaciones de  $20^\circ$  a  $60^\circ$  al E que penetran profundamente en el interior del macizo. La disposición sugiere el lajamiento catafilar propio de la exhumación de cuerpos de asentamiento profundo. Sin embargo la consistencia en la posición de estos planos hace suponer la presencia de un control congruente con la dirección de esfuerzos tectónicos máximos en la dirección SE - NO.

## 3. INFLUENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL DESARROLLO DE LA CANTERA

Los planos de discontinuidad, siempre que sean regulares, son aprovechados por los canteristas como planos naturales para el deslinde de mazos y bloques. No obstante, por su posición, no todos los planos son favorables para el desarrollo de determinado diseño de explotación.

La posición, densidad y regularidad de cada juego determinan una influencia particular al facilitar o perjudicar el minado según sea el esquema de cantera adoptado.

Observaciones en cantera y en muestras mesoscópicas indican que los planos relacionados a la foliación migmatítica (F0) no suelen ser hendibles. A escala local, la roca se ve afectada por imbibición de agua meteórica que altera diferencialmente los minerales provocando desgajamientos paralelos a la foliación. Las bandas con mineralogía más lábil, máficas y plagioclasas, suelen alterarse con mayor intensidad que las bandas claras compuestas por cuarzo y cordierita; se producen así superficies de debilidad, en los primeros decímetros de roca. Sin embargo la baja densidad de aparición de estas discontinuidades no condiciona el volumen de los mazos rocosos.

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN

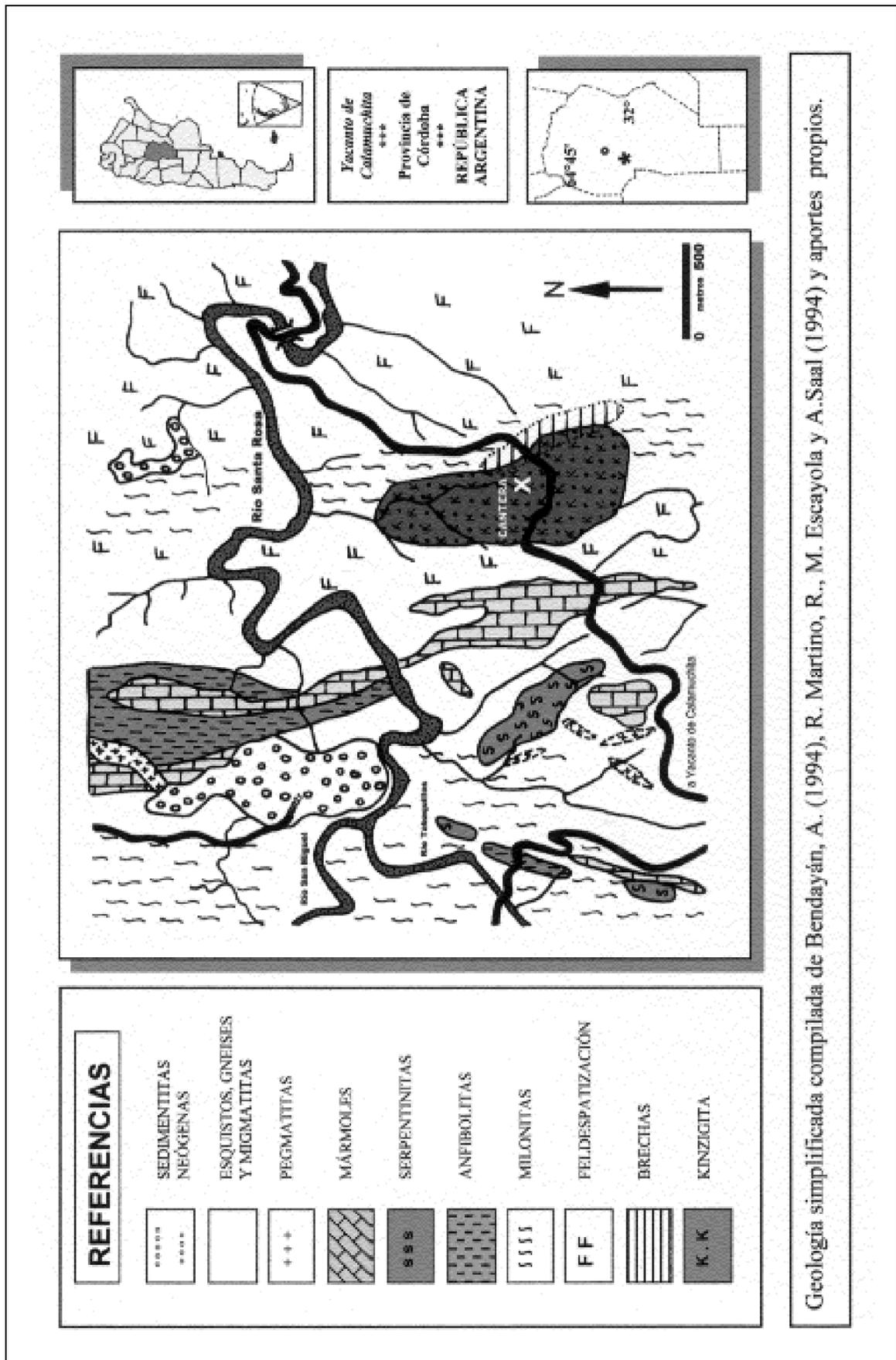
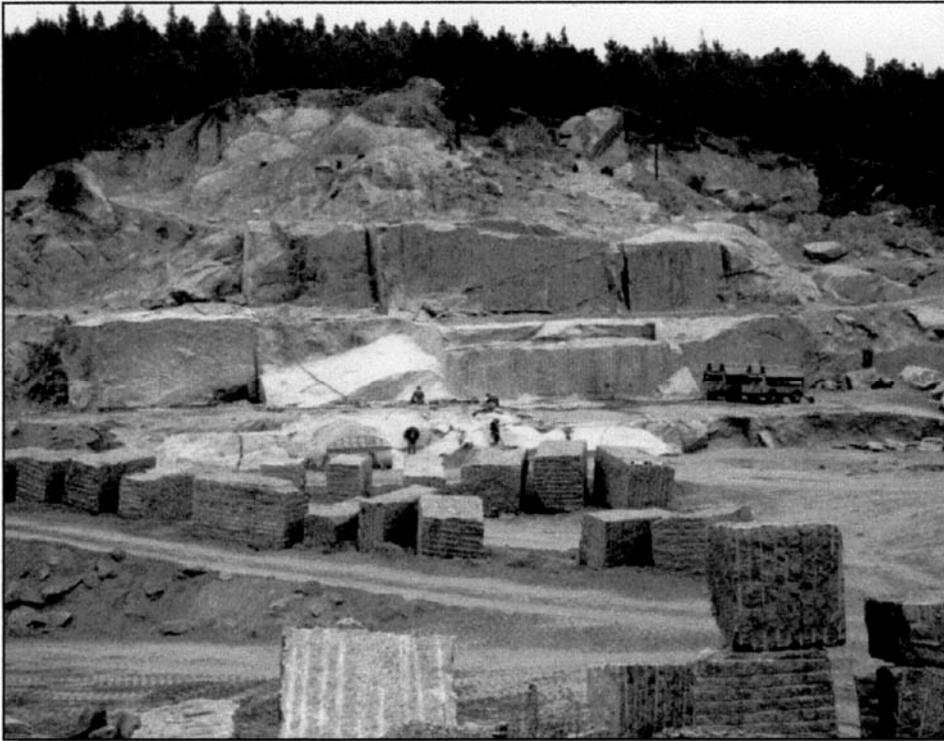


FIGURA 2: CANTERA



**Vista panorámica de la cantera**



**En negro se resaltan los planos del Sistema C**

Los planos F1 y F2 afectan con frecuencia la delimitación de los frentes de cantera debido a la intersección oblicua que producen. Asimismo al propagarse en el interior del macizo ocasionan un particular daño en la calidad ornamental de la roca; por ser canales abiertos a la circulación de agua meteórica propician la alteración en el interior de los mazos, comprometiendo las propiedades físicas de la roca, en especial el color que es uno de los atributos más requeridos comercialmente. Tal circunstancia, observada en cantera, se manifiesta en el manchado y la granulación de la roca desde la superficie hasta una decena de centímetros en su interior. La alta frecuencia de estos planos hace que su consideración sea imprescindible.

Los planos de discontinuidad correspondientes al juego D no son aprovechables, por lo general, como líneas de debilidad, relacionándose al plano de "trincante" de la roca (*Millone y Mosconi 1991*), esto es a la dirección de mayor cohesión, o sea donde la roca es más difícil de hendir. El análisis estadístico revela que estas discontinuidades llegan a manifestarse en planos de rotura, durante el laboreo extractivo, aunque sin perjudicar la integridad ni producir limitaciones en el tamaño de los bloques (*Nestiero 1996*), por su baja densidad.

Las diaclasas del sistema A sólo afectan a los primeros centímetros de roca por debajo de los pisos de cantera, no alcanzando a comprometer la integridad de los mazos.

Tal como ya fuera expresado, en la contribución previa a esta, las fracturas correspondientes al sistema C son las que provocan el mayor inconveniente en la delimitación de los pisos de cantera (*Millone y Mosconi, 1991; Nestiero 1996*) afectando por consiguiente la recuperación de bloques con formas y dimensiones requeridas por la industria. La disposición variable que presentan sumado a la intersección oblicua que generan, sobre los demás sistemas de fracturas, y la particular naturaleza virtual, esto es el permanecer ocultas para manifestarse durante la labor extractiva, convierten al sistema C en el más perjudicial, técnicamente hablando, dentro del esquema de fracturación dominante (Figura 2 - Sistema C).

En tal sentido todo diseño de cantera propuesto debiera respetar, lo más fielmente posible, la posición de estos planos, a fin de prevenir roturas imprevistas, que seccionen oblicuamente los bloques, alterando las formas y dimensiones, cuando no deteriorando de manera irreversible la diagramación de pisos y frentes.

#### 4. DISEÑO DE LA CANTERA

La kinzigita fue explotada mediante el sistema de banco, sobre cuatro frentes superpuestos, alineados aproximadamente en la dirección N-S. La altura de éstos oscilaba entre 6 y 7 m en tanto que los pisos de cantera presentaban una trocha acotada entre 6 y 9 metros (Figura 3 - centro y derecha).

La separación de los mazos, realizada mediante el barrenado de frentes, fue produciendo el avance de la cantera hacia el oeste. En esta operación se aprovecharon los planos paralelos a la foliación migmatita F0, llamados de "seda", y los planos de "levante" horizontales coincidentes con los sistemas A y, ocasionalmente, C al disponerse éstos subhorizontales. La liberación lateral, realizada sobre planos verticales en la dirección E-O, mediante un equipo de flama, fue abriendo superficies en "trincante" aproximadamente coincidentes con lineamientos del juego D.

Este diseño de explotación provocaba, al avanzar, la formación de numerosos "repiés" y "patas" sobre los pisos de cantera debido a la intersección oblicua de planos del sistema C con los del F (*Nestiero 1996*), (Figuras 2 y 3). Estas obstrucciones debían ser removidas periódicamente, mediante voladuras de

achique, con el objeto de liberar los pisos al tránsito de equipos mineros. Asimismo, la intersección oblicua de fracturas condicionaba fuertemente la forma final de los bloques, siendo muchos excluidos comercialmente por la falta de ortogonalidad de sus caras.

El mal desempeño de la cantera pudo apreciarse al poco tiempo de iniciada su apertura. Rápidamente comenzó a mermar la producción de bloques con dimensiones industriales (largo 2 a 3 m, alto 1,20 a 1,70 m, ancho 1 a 1,60 m, según comunicación oral de distintos canteristas). La aparición de fracturas imprevistas sólo posibilitaba la obtención de bloques pequeños y desparejos que debían ser recuadrados para salvar la falta de ortogonalidad.

El bajo rendimiento obtenido pudo atribuirse a un desmedido uso de explosivos, de alta velocidad de detonación, durante la fase de preparación de la cantera. Se supone que la utilización de "cordón detonante", durante las operaciones de volteo de los mazos, pudo activar planos de fractura virtual, ocultos al inicio del minado, materializándose en fracturas conjugadas que atravesaron al macizo en direcciones oblicuas. Sin duda las fracturas del sistema C fueron decisivas en la disminución de rendimientos.

En rigor de verdad no se puede conocer cual hubiera sido el comportamiento del macizo si éste se hubiera minado con otras técnicas; sólo se puede asegurar que la fragilidad de la kinzigita es de una magnitud tal que difícilmente pueda aceptar el minado con explosivos. Ciertamente la aplicación, desde el inicio, de métodos más "delicados" (hilo diamantado o discos abrasivos de gran diámetro) hubiera logrado un rendimiento mayor, y sostenido en el tiempo, pero con un costo más elevado.

#### 5. PROPUESTA DE REDISEÑO

En virtud del perjuicio provocado por el sistema de fracturas C se propone un esquema de explotación alternativo donde la influencia de estas discontinuidades se vea minimizada. Este nuevo esquema conlleva al abandono de los frentes NS, "según la seda" y de los cortes laterales "en trincante".

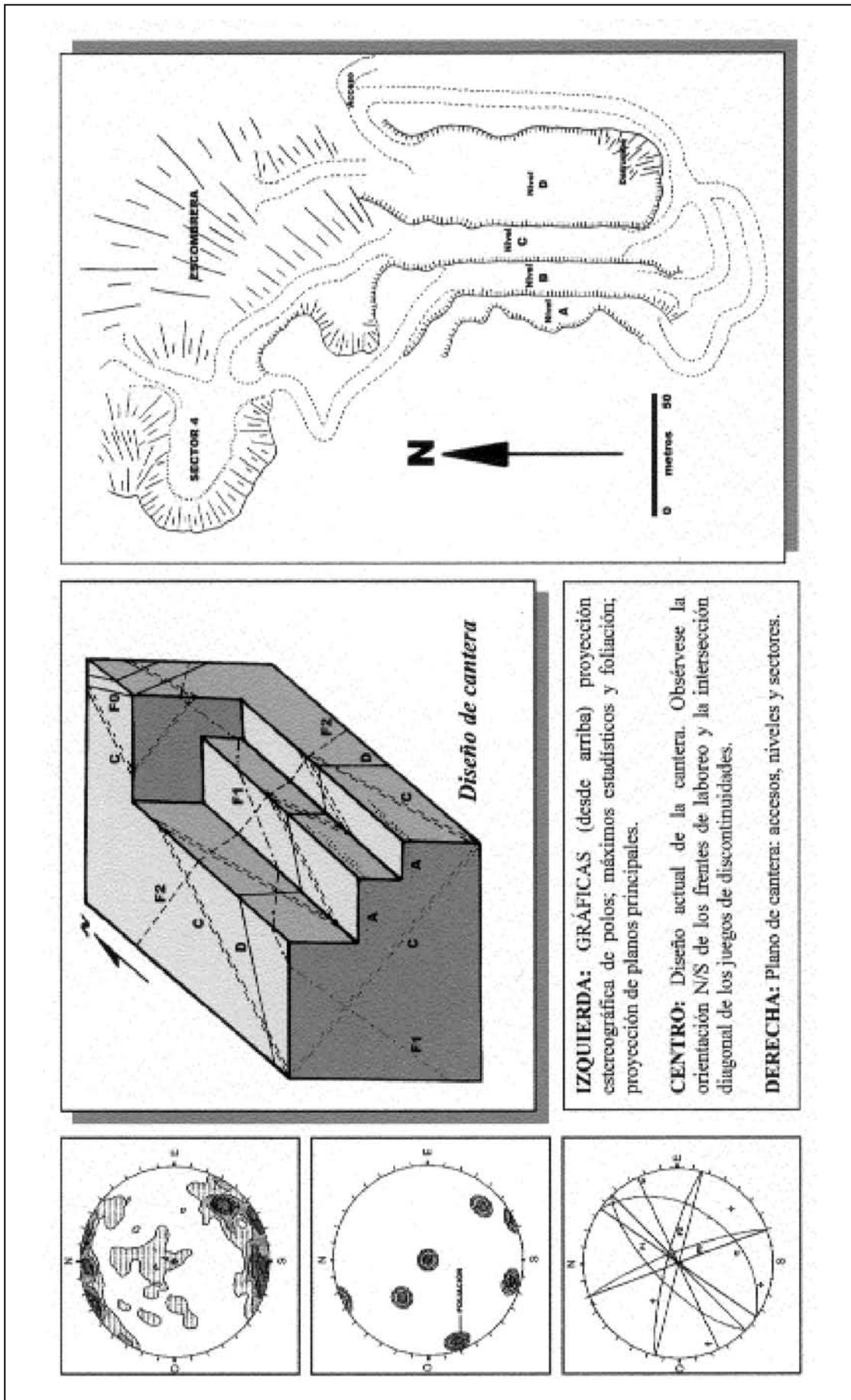
Se sugiere realizar cortes en el macizo respetando la disposición de los planos del sistema C y supeditar los demás cortes a este sistema de fracturación.

Procediendo así se verían anulados los actuales pisos de cantera labrados sobre planos del sistema A, considerados como "levantes" naturales que estadísticamente no han respondido como tales, dada su baja frecuencia y rápida desaparición en profundidad.

Se propone entonces que los nuevos pisos sean labrados sobre el sistema C, que de acuerdo a los estudios realizados constituiría un "levante" natural (*Millone y Mosconi 1991; Nestiero 1996*). Por lógica el término "piso de cantera" se vería desvirtuado ya que la inclinación imposibilitaría la circulación de personas y máquinas.

La alta dispersión estadística de los planos del sistema C lleva a suponer que todo corte orientado según el valor medio de la posición tendrá mayor probabilidad de éxito. Por esto se sugiere realizarlos en la posición Az.35° / Incl.40°E. Se propone además permutar la posición vertical de los frentes de arranque (cortados mediante barrenado) por otros con posición inclinada y perpendiculares a planos del sistema C. Estos planos presentarían una posición aproximadamente coincidente con la del juego de fracturas F1 o sea Az.45° / Incl.70°NO.

FIGURA 3: DISEÑO



Dentro de este nuevo esquema de cantera las disyunciones del juego F2 (Az.105° / Incl.80°NE) podrían ser tomadas como planos donde realizar, mediante barrenado, los cortes laterales que liberen los mazos, o bloques, del macizo (Figura 4).

El modelo geométrico teórico así obtenido dista aún de ser ideal. Por no delimitar volúmenes ortogonales es necesario realizar algunos ajustes en la posición de los planos para contrarrestar el efecto de los volúmenes en "cuña" (Figura 4 - 1). Se propone hacer coincidir los rumbos de F1 y C en Az.40° y llevar las inclinaciones de F1 a 60°NO y la de C a 30°SE; se busca que la intersección entre ambos planos sea normal y horizontal. Finalmente llevando el F2 a la posición Az.130° / V se asegura la ortogonalidad del sistema propuesto (Figura 4 - 2).

Este nuevo diseño implica el desarrollo de frentes y pisos de cantera inclinados. Si bien esta disposición puede impedir la circulación de vehículos y dificultar la ubicación de equipos de perforación sobre los bancos, también es cierto que el volteo de los mazos no se vería afectado por las discontinuidades del sistema C.

La verdadera solución saldrá de la evaluación del impacto técnico - económico causado por el cambio de sistema de explotación, en donde, por citar un solo ejemplo, los bloques deberían ser elevados por plumas y ya no removidos con pala mecánica.

Debe tenerse en cuenta que el cambio de un sistema de explotación por otro no siempre es practicable. Depende de la magnitud del yacimiento, de su posición en la corteza (aflorante o cubierto) y del grado de avance de la explotación con un primer sistema.

La aplicación de un nuevo sistema de explotación requeriría, previamente, una mensura detallada (se sugieren escalas 1:100 o mayores) a fin de considerar el volumen de descartes que serían provocados por la superposición geométrica de los nuevos frentes de arranque sobre los viejos.

El tipo de afloramiento de la kinzigita remedando a un domo, la presencia de importante espesor de destape en la porción sur del yacimiento y el alto grado de avance mediante un laboreo que no ha brindado el resultado esperado, muestran "a priori" un panorama algo desalentador. No obstante la última palabra debe surgir de un detallado análisis de interacciones entre las distintas variables técnico - económicas y la aplicación del nuevo diseño.

La renuencia a modificar un sistema de explotación no siempre se sustenta en variables técnico - económicas sino en pre-conceptos de índole técnica que infunden temor a la aplicación de sistemas de explotación no tradicionales. Casi no existe, en nuestro país, experiencia en la explotación de canteras mediante laboreos con planos de frente y levante inclinados. Las canteras de rocas dimensionales en nuestro medio son explotadas ya sea aprovechando yacimientos bochiformes o mediante banqueo

(Bogetti et al. 1992) pero siempre realizando frentes verticales y levantes horizontales tanto naturales como artificiales.

Italia, país de radicación de empresas que lideran mundialmente la explotación, industrialización y comercialización de rocas dimensionales, practica técnicas de laboreo tradicionales y de avanzada. Si bien allí lo dominante es la explotación por banqueos con frentes verticales no es infrecuente encontrar yacimientos que debido a la estructura y disposición de discontinuidades fueron explotados mediante arranques no convencionales sin constituir frentes o pisos propiamente dichos. Esto se observa en una cantera de granito en la localidad de Domodossola de Piamonte donde la complejidad estructural ha condicionado enteramente el diseño y la técnica de explotación. Otro ejemplo no tan crítico se presenta en una cantera de mármol en Carrara que si bien ofrece levantes horizontales presenta una "seda" marcadamente inclinada que es usada como plano de liberación lateral (Figura 5).

Estos ejemplos muestran gráficamente como debe supereditarse el sistema de laboreo al sistema de fracturación presente. Tales ejemplos vienen a confirmar que la propuesta aquí presentada bien podría ser exitosa.

## 6. CONCLUSIONES

El diseño y la densidad de fracturación, sumado a la presencia de planos de fractura virtuales, esto es que sólo se manifiestan al ejercerse esfuerzos mecánicos sobre un macizo, condicionan de manera absoluta los tamaños y formas de los bloques de roca ornamental a obtener. Tal circunstancia debe ser tenida en cuenta al elegirse un sistema de laboreo que asegure una correspondencia absoluta entre las discontinuidades estructurales y los frentes de arranque de los mazos y bloques.

Debe asegurarse que las disyunciones reales y virtuales, presentes en todo macizo rocoso, jueguen a favor durante las operaciones del laboreo extractivo, previendo que sólo una acertada elección de los planos de corte podrá asegurar la ortogonalidad y tamaño de los bloques. En tal sentido el diseño aquí propuesto intenta aprovechar planos de debilidad naturales con posiciones que aseguren la forma final de los bloques.

La rehabilitación de la cantera de kinzigita solo sería posible si se permutara el sistema de explotación, actualmente impuesto, por otro que minimice el efecto deletéreo de ciertos planos de fracturación, en especial los correspondientes al aquí denominado sistema C. La elección de los planos de este sistema, como nuevos planos de arranque, fuerza al uso de planos del sistema F, reajustados convenientemente para asegurar la obtención de bloques ortogonales.

Para evaluar la viabilidad del rediseño de la cantera de kinzigita deben considerarse el costo que implicaría la pérdida de roca útil debida a la superposición de un nuevo diseño sobre el antiguo y la posibilidad de emplear maquinaria apta para el trabajo sobre planos inclinados.

FIGURA 4: REDISEÑO

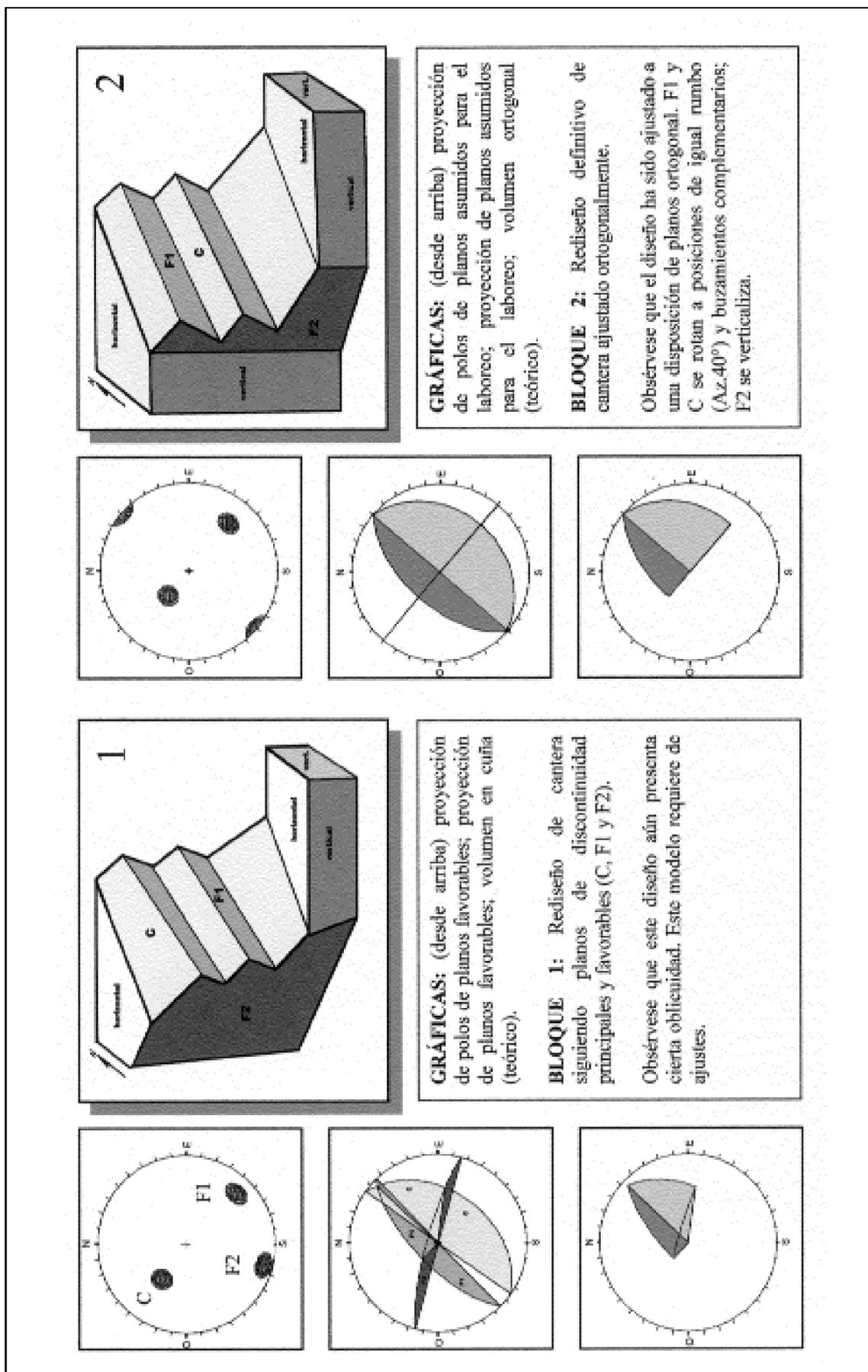


FIGURA 5: CANTERAS ITALIANAS

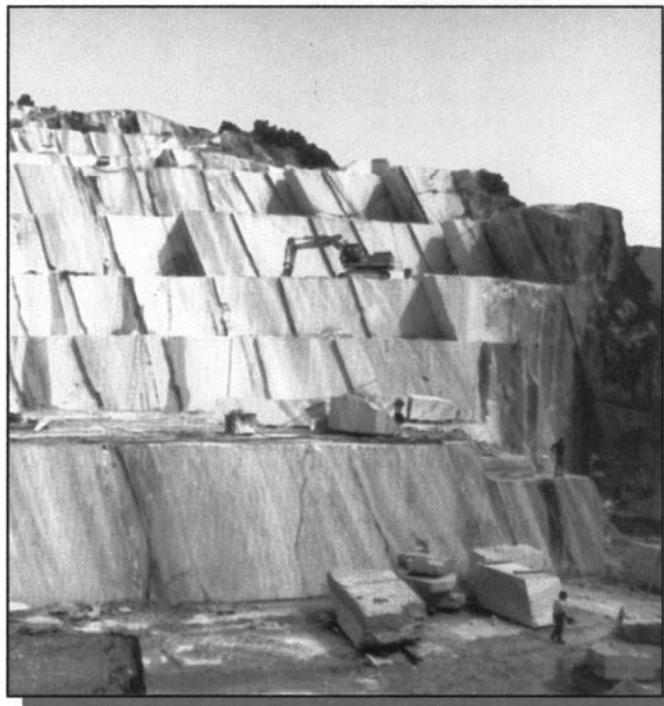
**Cantera de granito  
en Domodossola,  
Piamonte, Italia.**

Gentileza Antolini Luigi & C.



**Cantera de mármol  
en Carrara, Italia.**

Gentileza BIASI Emilio &  
Figli S.P.A.



Obsérvese el aprovechamiento de planos de discontinuidad inclinados

## 7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ANTOLINI LUIGI & C. S.P.A.

Catálogo comercial.  
37010 SEGA DI CAVAION, Verona, Italy.

BIASI EMILIO & FIGLI S.P.A.

Catálogo comercial. Industria Marmi.  
37010 SEGA DI CAVAION, Verona, Italy.

BILLINGS, M., 1963.

Geología Estructural.  
Ed. EUDEBA, 564 pp. Buenos Aires.

BENDAYÁN, A. A., 1994.

El complejo ígneo-metamórfico diferenciado de San Miguel, Depto. Calamuchita, Prov. de Córdoba.  
*Trabajo final de licenciatura. Biblioteca Central Dr. Luis F. Leloir. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Inédito.*

BOGETTI, CARLOS; H.A.MILLONE Y R. MORENO, 1992.

La Explotación de Yacimientos de rocas de aplicación - Granitos - y su relación con las restantes etapas de extracción - comercialización.  
*IV Congreso Argentino de Geol. Económica. Actas: 396-405. Córdoba.*

HANCOCK, P.L., 1985,

Brittle microtectonics: principles and practice.  
*Journal of Structural Geology, Vol. 7, Nos.3/4, 437-457. Pergamon Press Ltd. Great Britain.*

MARTINO, R., M. ESCAYOLA Y A. SAAL, 1994.

Estructura del cuerpo de "kinzigita" del río Santa Rosa, Departamento Calamuchita, Provincia de Córdoba,  
*Asociación Geológica Argentina, Revista, 49 (1-2): 3-10.*

MILLONE, H.A. Y G.E. MOSCONI, 1991.

Técnicas de explotación para la extracción de bloques en una migmatita, Cantera Yacanto de Calamuchita, Córdoba, Arg.  
*VI Congr. Geol. Chileno. Actas, 432-435.*

NESTIERO, O.E., 1996.

Análisis de las estructuras condicionantes de la explotación de rocas dimensionales en un cuerpo de Kinzigita, Dpto. Calamuchita,  
*Provincia de Córdoba. Asoc. Arg. de Geol. Aplicada a la Ingeniería. Actas, Vol. X, 213-227. Buenos Aires.*

NESTIERO, O.E., 1998.

Propuesta de rediseño de una cantera en función de los planos de discontinuidad.  
*Informe Final de beca para graduados de la U.B.A. Anexo 4, 16 pp. Biblioteca Central Dr. Luis F. Leloir. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, U.B.A. Inédito.*



# Estudio geoambiental del Sector Noreste del Partido de Ensenada

## Provincia de Buenos Aires

Pittori, Carlos Alejandro

### Resumen

*En este trabajo se evalúan, desde el punto de vista ambiental aspectos climáticos, geomorfológicos, geológicos y antrópicos sobre una superficie de 20 km<sup>2</sup> del sector noreste del partido de Ensenada, provincia de Buenos Aires, República Argentina.*

*La evolución natural de la zona, modificada y condicionada por las necesidades humanas en la expansión de la ocupación del territorio, puesta de manifiesto con la ampliación del ejido urbano e industrial y la implementación de obras de infraestructura complementarias, trajo aparejados importantes cambios en el período comprendido entre los años 1967 y 1996, tales como alteración y o desaparición en la red de drenaje, modificaciones en la línea de ribera y en el relieve, como producto de dragados y rellenos.*

*A consecuencia del continuo dragado a que es sometido el río Santiago, se tomaron muestras de un sector de reciente relleno en la isla Santiago, para su identificación sedimentológica y se le efectuaron análisis por vía óptica y DRx. Mientras que por determinaciones químicas se identificó altos contenidos en algunos metales pesados como Pb, Cu, Zn y Cd.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Al evaluar las características geoambientales del sector considerado en este estudio, se analizó la estrecha vinculación existente entre zonas de densidad poblacional elevada, media y nula, adosada a áreas con emplazamientos industriales de envergadura y de alto carácter económico-estratégico, que condicionan y modifican un sector altamente susceptible y en franco proceso evolutivo natural.

Es así que la evolución geomorfológica reciente del sector comprendido entre la escarpa costera y la ribera del río de La Plata, se ve reflejada en la actualidad con la desaparición de la Ensenada de Barragán y el aumento de la superficie que ocupa la isla Santiago, mediante procesos naturales de depositación,

como consecuencia del transporte de las corrientes litorales y la importante actividad antrópica que se observa en la zona.

El partido de Ensenada forma parte del denominado Gran La Plata y se constituye en una de las zonas más densamente pobladas del Conurbano Bonaerense, lo que trae aparejado importantes conflictos socio-ambientales, ya caracterizado en forma regional por *De Francesco et al. (2001)*.

Específicamente este partido posee una superficie de 100 km<sup>2</sup>, con una densidad demográfica de 483,4 habitantes/km<sup>2</sup>, concentrando el 63 % de su población en las ciudades de Ensenada y Cambaceres.

### 2. UBICACIÓN

El área de estudio abarca una superficie aproximada de 20 km<sup>2</sup> del sector noreste del partido de Ensenada, provincia de Buenos Aires, República Argentina. Es parte constituyente del Puerto de La Plata y su centro geográfico se ubica a los 34° 50' 30" de latitud sur y 57° 55' de longitud oeste (Fig. 1).

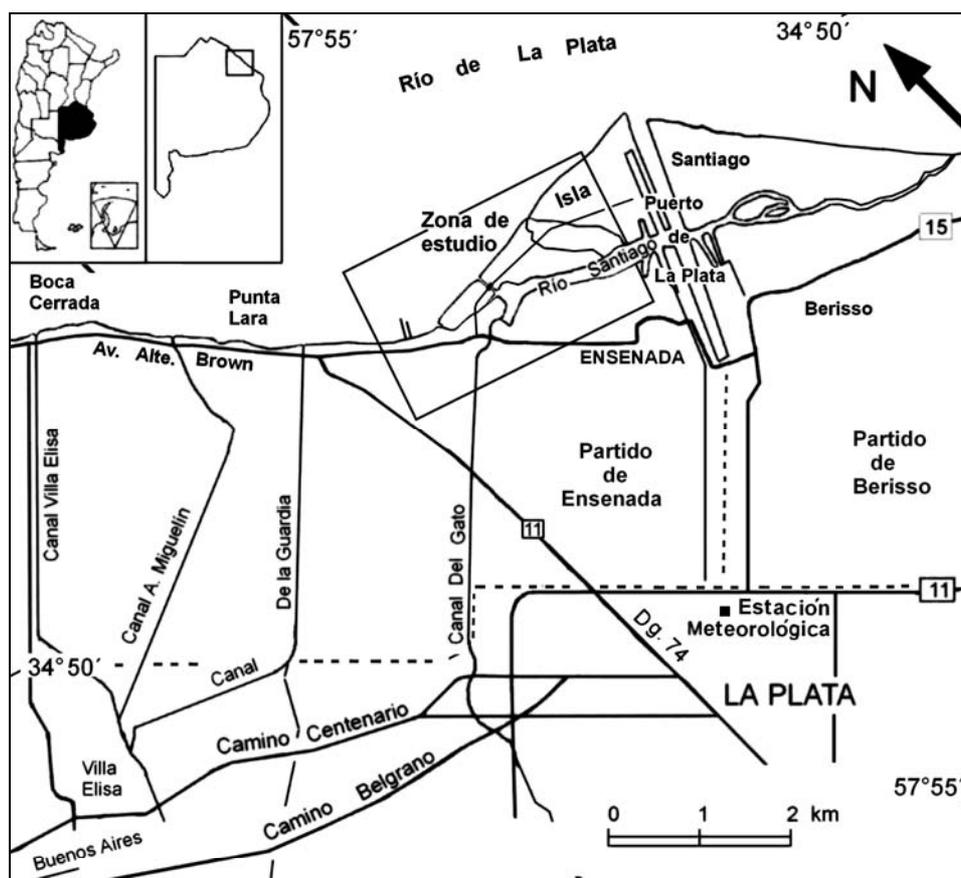
Entregado: 26 de Diciembre de 2001 ■ Aceptado: 08 de Marzo de 2002

LEMIF-CIC

Calle 52 entre 121 y 122, 1900 La Plata

e-mail: cpalejandro@infovia.com.ar

FIGURA 1: UBICACIÓN GENERAL DE LA ZONA



### 3. CLIMA

Para la caracterización climática del área de estudio se utilizaron los datos de la Estación Meteorológica de La Plata, dependiente de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata (Latitud:  $34^{\circ} 55' S$  y Longitud:  $57^{\circ} 57' O$ ), ubicada a una cota de 15,0 m s.n.m., distante a 7 km al sur del área (Fig. 1). El periodo analizado abarca desde 1941 a 1990.

La precipitación media anual es de 1.013 mm, con una máxima media mensual de 110 mm en el mes de marzo y una mínima media mensual de 68 mm en el mes de julio.

La temperatura media anual para La Plata es de  $16,5^{\circ} C$ , mientras que las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales son de  $22,5^{\circ} C$  en enero y  $9,7^{\circ} C$  en julio respectivamente.

La velocidad de los vientos dominantes de la zona son moderados, alcanzando una velocidad media de 11,7 km/h. Estos vientos dominantes son los provenientes del cuadrante este y sur, no obstante los provenientes del norte también poseen cierta intensidad.

En la zona son de especial importancia los vientos provenientes del cuadrante sudeste, con velocidades medias de 13,7 km/h en el periodo comprendido entre fines del invierno y principios de primavera. Estos en muchos casos alcanzan los 30 km/h y de ser persistentes impiden el desagüe de las aguas del estuario del Río de La Plata, provocando las denominadas sudestadas, que se manifiestan con fuerte embates sobre la costa.

Esta situación se ve agravada aún más en el caso que los ríos Paraná y Uruguay tengan un importante y excepcional caudal de transporte.

De persistir estas condiciones meteorológicas en periodos prolongados de tiempo y que paralelamente se registren intensas precipitaciones en la zona, provoca y acentúa inundaciones de los sectores ribereños y alledaños, tanto por entrada de las aguas del río de La Plata en los cursos de agua locales, como por estar impedido el drenaje de los cursos de agua y canales que bajan provenientes de los sectores altos del partido de La Plata.

### 4. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS

La zona considerada en este estudio forma parte de la llanura costera (Fidalgo *et al.* 1975, 1983), en un ambiente donde prevalecen los procesos litorales sobre los de origen continental, se encuentra delimitada por la costa del río de La Plata y la cota de 5,50 m s.n.m., ubicada al sudoeste, concordante con el límite de los partidos de La Plata y Ensenada (Fig. 1).

Esta franja costera, también denominada Terraza baja por Frenguelli (1950), se extiende con un rumbo noroeste-sudeste y un ancho variable entre 5 y 8 km. Su parte central posee cotas inferiores a los 2,50 m s.n.m., con escasas ondulaciones y pendientes del orden del 0,1 %.

Conforma una amplia depresión anegadiza, con una red de drenaje escasamente desarrollada con colectores y tributarios de naturaleza transitorios, atravesada por numerosas canalizaciones como el canal Del Gato con terraplenes a sus costados, producto del material de su dragado, que impiden el drenaje de los excedentes hídricos de este sector.

Los sedimentos presentes en este sector son de origen marino y están representados por las formaciones Querandí y La Plata, cubiertos por aluvio actual.

La Formación Querandí o Querandinense (Pleistoceno-Holoceno) cubre mediante discordancia erosiva a la Formación Ensenada y representa los depósitos de la última ingresión marina, con espesores que llegan a los 30 m en la zona ribereña y de escasos centímetros hacia el partido de La Plata, *Cortelezzi et al. (1997, 1999)*.

Esta unidad está constituida por arcillas limosas, de naturaleza impermeables y plásticas, de color gris oscuro a verdoso, con algunos niveles arenosos y dispersos fragmentos de valvas de moluscos.

La Formación La Plata o Platense (Holoceno), está representada en la zona por algunos restos de lentes y cordones de conchilla de escaso desarrollo, formados como depósitos regresivos de playa al final de la sedimentación querandinense *Cortelezzi et al. (1992)*.

Cubriendo los depósitos antes mencionados se ubica un importante espesor de sedimentos de distribución discontinua de tipo arcilloso-limosos, a veces arenosos, dispuestos irregularmente a consecuencia del origen aluvional, fundamentalmente por el importante transporte del río de La Plata, que remueve depósitos del Querandinense, Platense y de la playa actual, re-depositándolos en sectores ocupados por la isla Santiago, parte de la actual ribera y toda la zona ubicada al norte de la escarpa del albardón costero.

Específicamente en la zona de estudio resalta la presencia del albardón costero, que adopta un rumbo subparalelo a la costa del río de La Plata, posee como eje central el camino costero o avenida Almirante Brown, sobre el que se ubican la ciudad de Ensenada, Villa Rubencito y más hacia el noroeste la localidad de Punta Lara.

El albardón, generado por procesos fluvio-estuarícos, está constituido por sedimentos limo-arcillosos e intercalaciones de arena depositados durante el Holoceno-Reciente, posee una expresión de suave lomada, limitado aproximadamente por la curva de nivel de 2,50 m s.n.m. y en ningún caso sobrepasa los 4,0 m s.n.m. de altitud. Se encuentra disectado por los arroyos canalizados de La Fama, Doña Flora y Zanjón-canal Del Gato, que en conjunto se constituyen en los únicos cursos que desaguan el sector comprendido entre el albardón y el partido de La Plata.

Este albardón posee un desnivel o escalón, escasamente pronunciado hacia el noreste, coincidente con la cota de 2,50 m s.n.m. aproximadamente, denominado escarpa costera.

Por último, entre el albardón y la ribera del río de La Plata, con cotas inferiores a los 2,50 m s.n.m., se desarrolla una zona que se caracteriza por ser susceptible a frecuentes anegamientos por embates de mareas extraordinarias del río de La Plata y se encuentra desarrollado sobre sedimentos de la Formación Querandí y el Reciente.

En este último sector se destaca la presencia del río Santiago y la franja de terreno que ocupa la isla Santiago atravesada por los arroyos La Horqueta, De Los Chilenos y Largo que se comportan como canales de mareas.

El río Santiago constituye en la actualidad en el curso de mayor importancia, se desarrolla con un rumbo noroeste-sudeste y también ha sufrido numerosos cambios naturales y artificiales (canalizado y cambios de su trayectoria) a lo largo de su evolución.

Se comporta como el colector principal de los cursos de agua antes mencionados, los que en su conjunto son afectados

por el régimen de mareas normales del río de La Plata y en menor medida por las sudestadas, ya que el sector se encuentra resguardado por la presencia de la isla Santiago, constituyéndose así el río Santiago en un puerto artificial tanto para embarcaciones de gran calado como deportivas.

La franja costera de los partidos de Ensenada y Berisso es objeto de actuales investigaciones que se realizan en el LEMIT, referidas a su evolución geomorfológica, ya que se observó que este territorio se encuentra en franco proceso de evolución natural, lo que trajo aparejado la desaparición de la antigua Ensenada de Barragán, siendo actualmente el receptor de un importante aporte sedimentario reciente, tendiente a colmar el cauce del río Santiago.

## 5. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA

La caracterización del área de estudio se efectuó mediante fotointerpretación, con el apoyo de la cartografía del IGM y trabajos de campo, tomando como base las fotografías aéreas del INTA del año 1967 (Fig. 2) y las del año 1996 de la Dirección de Geodesia de la provincia de Buenos Aires, Spartan Air Services (Fig. 3), ambas a escala 1:20.000.

La evolución natural y las necesidades humanas de expansión en la ocupación del territorio, trajo aparejado importantes cambios en un corto periodo de tiempo los que se ven reflejados en la Figura 4.

A partir de esta interpretación, se identificaron cambios y/o desaparición en la red de drenaje, cambios en la línea de ribera, modificaciones en el relieve y ampliación del ejido urbano como consecuencia de la expansión demográfica (Fig. 4).

El cambio en la red de drenaje más importante que se observó fue el ocasionado sobre el río Santiago, donde el brazo norte que antiguamente desembocaba en el río de La Plata ha desaparecido producto de dos procesos.

El de mayor importancia, es como consecuencia de la construcción y posterior mantenimiento del puerto Ingeniero Agustín Roca de la planta industrial de Siderar, donde se depositó, en la zona adyacente de este tramo del río, parte del material proveniente del dragado de un vasto sector de tierra firme y de la canalización del río Santiago.

Como consecuencia de este proceso y en su remplazo, se labró un canal de 40 metros de ancho, que oficia en forma directa como canal compensador o aliviador de mareas. En el año 1998 fue construido como obra complementaria, un puente levadizo en su intersección con el camino que une la avenida Almirante Brown y la Escuela Naval de Río Santiago, con la finalidad de que dicho canal pueda ser utilizado como vía de comunicación con el río de La Plata por embarcaciones deportivas.

El resto de la traza del mencionado camino posee obras de arte hidráulicas deficientes, como la ubicada en la intersección con el antiguo cauce del río Santiago, donde tan sólo cuenta con un entubamiento de 1 metro de diámetro, lo que contribuyó con el colapso de este tramo del río. El mismo tipo de alcantarillado se observa en el cruce de los arroyos Del Chileno y Largo.

El segundo proceso es de índole natural, debido a la evolución geológica de Isla Santiago, a consecuencia del transporte sedimentológico de las corrientes litorales del río de La Plata, que ha colmatado y cegado progresivamente con sedimentos recientes la antigua Ensenada de Barragán y la desembocadura del río Santiago.

Este efecto de sedimentación se observa claramente sobre la línea de ribera del río de La Plata, desde Punta Santiago hasta la Toma de Agua y en la desembocadura del canal compensador, donde se suele depositar un potente banco de arena en cortos periodos de tiempo, que obstruye el flujo de marea y transforma a dicho canal en no navegable, siendo objeto de continuos dragados para su mantenimiento.

Otra fuente de aporte sedimentario al río Santiago es la ocasionada por la planta potabilizadora de Punta Lara. Esta planta

suministra de agua potable a las ciudades de Ensenada, Berisso y parte de La Plata. Para efectuar el proceso de potabilización, bombea agua con sólidos en suspensión del río de La Plata, desde la Toma de Agua hasta las piletas de decantación de la planta. Estos sedimentos finos cargados con sulfato de aluminio, son evacuados periódicamente por medio de un entubado que vuelca el efluente al arroyo Zanjón, aguas abajo de la avenida Almirante Brown.

FIGURA 2: FOTOGRAFÍA AÉREA DEL AÑO 1967

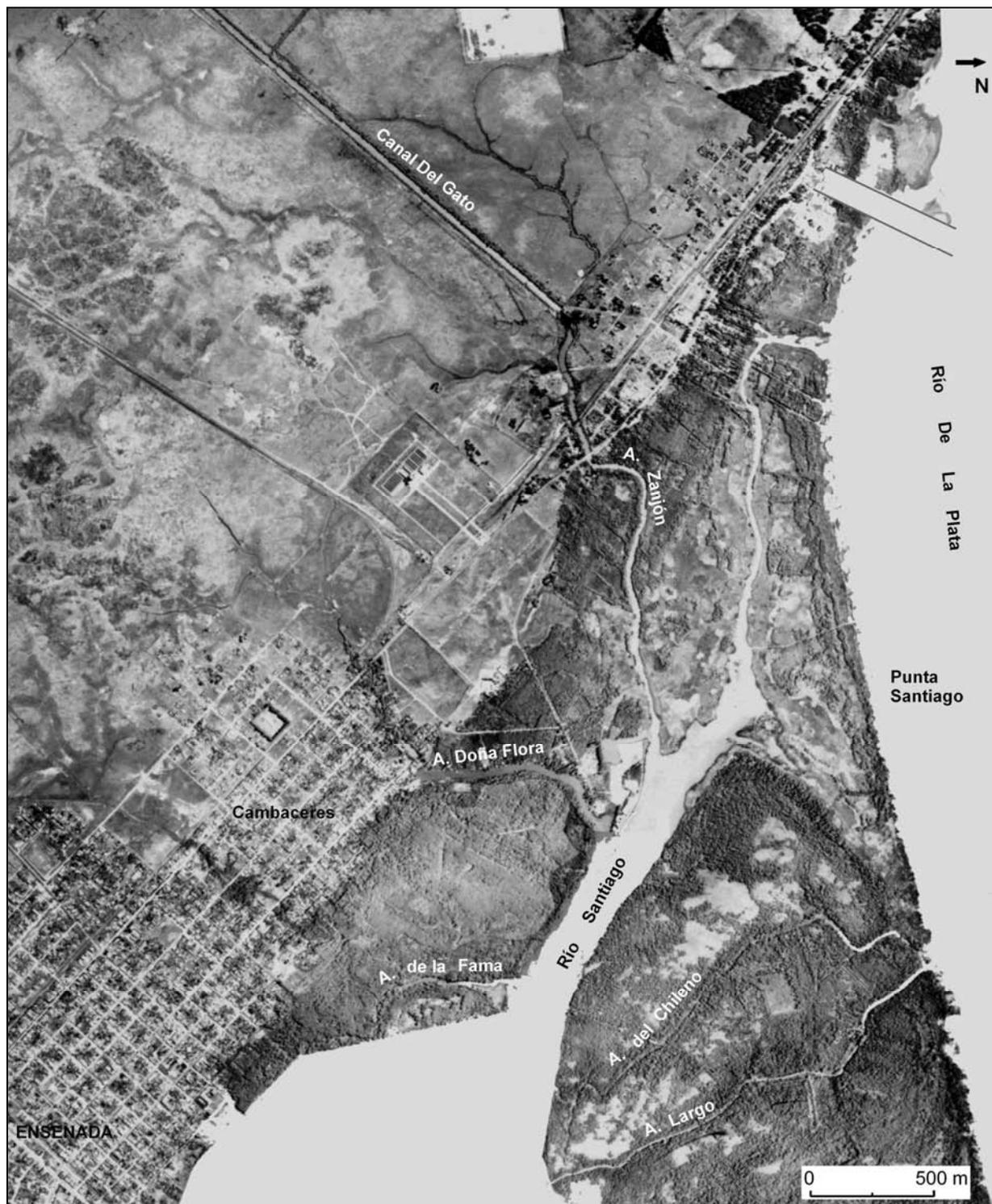


FIGURA 3: FOTOGRAFÍA AÉREA DEL AÑO 1996



Por otro lado se observo como cambios en la red de drenaje menor, una importante canalización y rectificado del arroyo La Fama en el tramo comprendido entre la escarpa costera y su desembocadura, con motivo de la implementación de obras de infraestructura y alteo para la Zona Franca del Puerto de La Plata.

También se identificó la desaparición de cursos de agua menores, donde en su reemplazo se labraron canales artificiales de evacuación de excedentes hídricos, con cambios importantes

en su trayectoria original a consecuencia de una adaptación a la expansión del ejido urbano e industrial de la zona.

La modificación más importante en el relieve para el periodo de tiempo considerado, es a consecuencia de las obras de infraestructura portuaria de Siderar, que por dragado se perdieron unas 20 hectáreas de territorio continental y unas 5 hectáreas de la margen sur de la isla Santiago por dragado y ensanche del curso del río homónimo.

Estos trabajos también provocaron la eliminación de parte del tramo inferior del arroyo Zanjón, trasladándose su desembocadura unos 900 metros aguas arriba.

El sector de 95 hectáreas que actualmente ocupa dicha planta industrial, fue objeto de relleno y alteos, cuyo material proviene de tres cavas ubicadas al sur de la zona de estudio y en conjunto ocupan una superficie de 38 hectáreas.

El continuo y sistemático dragado del río Santiago con motivo de mantener la navegabilidad de los accesos a los muelles de Siderar, Escuela y Base Naval Río Santiago, Astilleros Río Santiago y Zona Franca del Puerto de La Plata, trajo aparejado el relleno de bastos sectores interiores de la isla Santiago y la franja costera comprendida entre la escarpa costera y el río Santiago.

Otro sector de relleno se observa al oeste de la toma de agua, donde se ganaron unos 4.5 hectáreas al río de La Plata, para la ampliación de predios destinados a la recreación privada.

También se reconocen rellenos de menor envergadura en las inmediaciones del Fuerte Barragán y otros con modificación de la red de drenaje, a consecuencia de la expansión demográfica y habitacional en el sector sur de la localidad de Cambaceres.

Esta expansión demográfica trajo aparejado la ocupación del territorio hacia zonas periféricas del albardón costero, topográficamente más bajas, con nuevas edificaciones, calles e infraestructura en general y la apertura de nuevos camping y clubes.

En el caso del barrio de Villa Rubencito, se observa un incremento del ejido urbano del orden del 70 % en el periodo comprendido entre 1967 y 1996. Mientras que en la ciudad de Ensenada y Cambaceres en conjunto, para el sector considerado en este estudio es del orden del 33 %.

Estas localidades a su vez se ven afectadas por la escasa profundidad en que se encuentra el acuífero freático, con profundidades inferiores a 1,5 m en los sectores altos, llegando a aflorar en los sectores bajos. Este acuífero está sometido e influenciado a continuas fluctuaciones producto de varios factores tales como, precipitaciones locales, inundaciones y variaciones del río de La Plata.

A su vez debe sumársele a este esquema, el ingreso de agua importada para consumo humano e industrial que recibe esta ciudad, proveniente de la planta potabilizadora de Punta Lara, dado que la población que cuenta con este servicio es del orden del 94 %, mientras que la evacuación de los efluentes domiciliarios por servicio de alcantarillado cloacal es de tan solo el 27 %, según cifras para el partido del censo de 1991 del INDEC.

Con motivo de la identificación de un sector de reciente relleno en la isla Santiago a consecuencia del dragado del río del mismo nombre, se colectaron dos muestras representativas (I y II) para su identificación sedimentológica y se le efectuaron análisis por vía óptica, DRx y químicos.

La ubicación del relleno se puede observar en la Figura 4 y data de febrero del 2000, tiene un espesor total de aproximadamente 0,50 metros, sobre una superficie de unas 2,5 hectáreas, desprovisto originariamente de vegetación arbórea. Está formado por dos capas bien diferenciadas de 0,25 metros de espesor medio cada una, producto de dos ciclos de relleno, con escaso intervalo de tiempo entre ambos.

Los sedimentos depositados, muestran una estructura en almohadilla, por desecación del relleno y ambas capas poseen una granulometría similar constituida por un 3 % de arena muy fina, 48 % de limo y 49 % de arcilla.

Los componentes de la fracción arcilla son montmorillonita, illita, escasa caolinita y abundantes minerales amorfos. Por su parte la fracción arena, está constituida principalmente por clastos subredondeados a angulosos de feldespatos alterados en caolinita y teñidos de óxidos de hierro y clastos subredondeados de cuarzo. Fueron observados además abundantes clastos y trizas de vidrio volcánico. Por las características granulométricas y mineralógicas, este material corresponde a sedimentos originarios del Querandinense y Reciente.

Para la identificación química de estos sedimentos se remitieron dos muestras (I y II) al Laboratorio de Absorción Atómica del CIDEPINT, realizándose las determinaciones que figuran en la Tabla 1, las que fueron procesadas previa digestión con ácido clorhídrico y nitrito, llevándolas luego a humos perclóricos.

TABLA 1: CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS

	Muestra		Contenido medio en la corteza para sedimentos y suelos <i>Frink (1996)</i> (mg/kg)
	Capa Superior (I) (mg/kg)	Capa Inferior (II) (mg/kg)	
Plomo (Pb) mg/kg	21.8	24.2	19.6
Cobre (Cu) “	47.2	52.1	29.2
Cinc (Zn) “	245.0	250.0	40.0
Cromo Cr “	97.5	75.7	129.0
Cadmio (Cd) “	0.5	0.5	0.34
Niquel (Ni) “	3.0	3.5	11.0

Dichos resultados al compararlos con los consignados por *Frink (1996)*, como contenidos medios, en ambientes naturales de la corteza terrestre para sedimentos y suelos, arroja valores excesivos en los contenidos en Pb, Cu, Zn y Cd.

Esto es como consecuencia directa que el río Santiago al estar integrado a la red fluvial del Puerto de La Plata y al constituirse en el colector de numerosos arroyos y canales, recibe los efluentes de una zona altamente urbanizada e industrializada con uno de los más importante polos petroquímicos y siderúrgico del país.

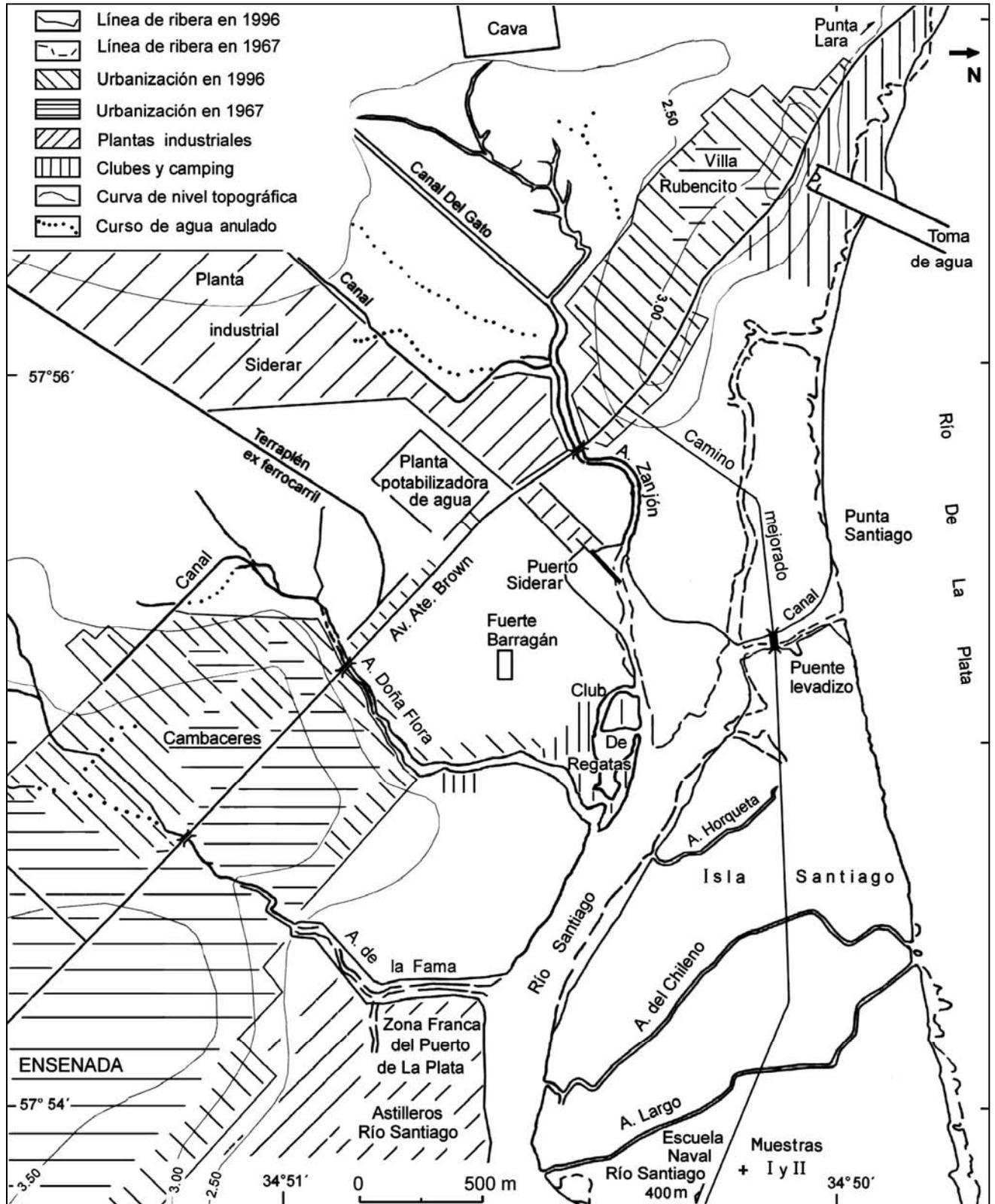
A esta situación se le debe sumar el aporte del canal Del Gato, receptor directo de los desechos urbanos, industriales y agropecuarios de un vasto sector del partido de La Plata (*Manassero et al. 1998*).

## 6. CONCLUSIONES

La zona considerada en este estudio es susceptible a continuas inundaciones y anegamientos como consecuencia de la combinación de factores naturales y antrópicos, en un ambiente de baja expresión topográfica, labrado sobre sedimentos de muy baja permeabilidad, con la presencia del nivel freático a muy escasa o nula profundidad.

El riesgo de inundación se ve incrementado por el crecimiento y expansión del ejido urbano e industrial, debido a la modificación o anulación de la incipiente red de drenaje, importantes cambios en el relieve y a la ampliación y desarrollo de nuevas obras de infraestructura.

FIGURA 4: CAMBIOS EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE LOS AÑOS 1967 Y 1996



La construcción del puente levadizo y el canal compensador, sin haber tenido en cuenta la evolución geomorfológica de la Isla Santiago, transforma a esta obra en obsoleta y de alto costo de mantenimiento, dado que el puente no opera a consecuencia de la importante depositación de arena que se registra en la desembocadura del canal, restringiendo así el calado de las embarcaciones.

No existe una planificación racional de la expansión del ejido urbano, ya que se observa que la ocupación del territorio se está desarrollando con nuevas edificaciones sobre sectores topográficamente deprimidos, proclive a ser afectadas por mareas extraordinarias y sudestadas del río de La Plata.

La evolución geomorfológica natural de la costa del río de La Plata, río Santiago e isla Santiago se ve condicionada y

afectada por la actividad antrópica mediante el persistente y continuo dragado y relleno de vastos sectores. El origen de estas modificaciones se remonta al año 1884 con el inicio de las obras de construcción del Puerto de La Plata y obras de infraestructura complementarias.

La costa de la isla Santiago sobre el río de La Plata, está sometida a un proceso de erosión natural en el sector ubicado al este de la desembocadura del arroyo del Chileno. Entre este último y el canal aliviador la línea de ribera es estable, mientras que entre el canal y la toma de agua está sometida a deposición natural. A partir de este punto y hacia el oeste el avance de la línea de ribera se debe a relleno artificial.

## 8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CAVALLOTO, J. L., 1995 A.

Evolución geomorfológica de la llanura costera del margen sur del Río de La Plata.  
*Fac. Cs. Nat. y Museo, U. N. La Plata. Tesis N° 635 (inédita).*

CORTELEZZI, C. R.; PAVLICEVIC, R. E.; PITTORI, C. A.; PARODI, A. V., 1992.

Variaciones del nivel del mar en el Holoceno de los alrededores de La Plata y Berisso.  
*Cuarta Reunión Argentina de Sedimentología. La Plata. Actas II, 131-138.*

CORTELEZZI, C. R.; PAVLICEVIC, R. E. Y PITTORI C. A., 1997.

Estudio geoeconómico de los sedimentos superficiales del sector norte del Partido de Ensenada. Provincia de Buenos Aires.  
*IV Jornadas Ciencias Naturales Del Litoral "Dr. Joaquín Frenguelli". Corrientes. En Resúmenes, 189-191.*

CORTELEZZI, C. R.; PAVLICEVIC, R. E. Y PITTORI C. A., 1999.

Estudio geológico del partido de Ensenada, Buenos Aires.  
*XIV Congreso Geológico Argentino. Salta. Actas I, 512-515.*

DE FRANCESCO, F.; GENTILE, O.; FUCKS, E. Y COLADO U., 2001.

Caracterización geoambiental del sector comprendido entre Punta Lara y Punta Blanca, Pcia. de Buenos Aires.  
*III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenamiento del Territorio y I Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento del Territorio del Area del Mercosur. Mar Del Plata. En Resúmenes y CD.*

FIDALGO, F.; DE FRANCESCO, F. Y PASCUAL, R., 1975.

Geología superficial de la llanura bonaerense.  
*En Relatorio. Geología de la Provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires. 103-138.*

FIDALGO, F. Y MARTINEZ, O., 1983.

Algunas características geomofológicas dentro del partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires.  
*Asociación Geológica Argentina, Revista XXXVIII: 263-279.*

FRENGUELLI, J., 1950.

Rasgos generales de la morfología y la geología de la Pcia. de Buenos Aires.  
*La Plata. LEMIT. Serie II, n° 33.*

FRINK, C. R., 1996.

A perspective on metals in soil.  
*Journal of Soil Contamination, 5 (4): 329-359.*

MANACERO, M., CAMILLÓN, C. Y RONCO, C., 1998.

Sedimentología y geoquímica de metales pesados en sedimentos de fondo de Arroyos de la vertiente del Río de La Plata.  
*VII Reunión Argentina de Sedimentología. 69-78.*

Las altas concentraciones de elementos pesados (Pb, Cu, Zn y Cd) en los sedimentos depositados en la isla Santiago por dragado del río homónimo, es consecuencia del volcado de efluentes industriales y domésticos provenientes de los partidos de Ensenada, Berisso y La Plata. Este proceso de remoción y relleno puede producir una movilización de estos contaminantes pudiendo impactar en la nueva zona de emplazamiento.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Técnico Químico R. Pérez (CIDEPINT), por la realización de los análisis químicos y al Dr. P. Maiza del Departamento de Geología de U. N. del Sur por la confección e interpretación de los análisis por DRx.



## Predicción de la colapsabilidad de los suelos de la ciudad de Córdoba

Rocca, Ricardo José<sup>1</sup> - Goio, M. Gabriela

### Resumen

La ciudad de Córdoba presenta planicies ligeramente onduladas con suelos macroporosos de origen loésico, colapsables, situadas al Norte y Sur del valle del río Suquía.

A los fines de determinar las variaciones areales de la susceptibilidad al colapso, se ha realizado un mapa de los asentamientos potenciales máximos debido a ese fenómeno.

Para la realización del estudio se ha planteado una estratigrafía geotécnica que tiene en cuenta el comportamiento de los loess frente al aumento de la humedad o variaciones tensionales generadas por construcciones de una planta.

Esta modelación ha sido aplicada a unos 500 perfiles de suelos situados en las áreas loessicas. Los perfiles fueron clasificados mediante análisis de conglomerados (cluster analysis) de matrices de frecuencia de transición.

A continuación se ha computado el asentamiento máximo por colapso de cada conglomerado y se lo ha mapeado por medio de un kriging (kriging).

El modelo ha sido verificado mediante el cómputo directo de la colapsabilidad de unos 180 perfiles independientes.

### 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Córdoba presenta suelos de diversos orígenes cuya distribución general es bien conocida. (Reginatto 1970; Rocca et al 1990, 1995, 1999a, 1999b).

Dentro de ellos se destacan los suelos macroporosos de origen loésico, situados en planicies ligeramente onduladas al Norte y Sur del valle del río Suquía. Estos suelos tienen distinto potencial de colapsabilidad frente a variaciones de humedad o a cambios tensionales (Rocca et al, 2000).

A los fines de determinar la distribución areal detallada de la susceptibilidad al colapso, se ha realizado un mapa de los asentamientos potenciales máximos debido a ese fenómeno.

### 2. LA COLAPSIBILIDAD

El colapso puede definirse como una rápida e irreversible disminución de volumen, correspondiendo a la destrucción de la estructura metaestable de un suelo, causada por una aportación de energía fuera de proporción con la deformación producida (Jiménez Salas et al, 1986).

El grupo de suelos colapsables de mayor distribución areal mundial es el de los loess, que abarcando un 10% de la superficie continental de la Tierra. En la Argentina presentan una difusión muy amplia, especialmente en la provincia de Córdoba y en particular en la ciudad Capital (Moll et al, 1991).

#### 2.1. Comportamiento de suelos loessicos en terrenos planos

El comportamiento de suelos loessicos es el resultado de la interacción de dos elementos:

- a. *La naturaleza de la formación*, y su consecuencia inmediata, su resistencia al colapso. Como éste es una reducción de volumen debido a la ruptura de la estructura del

Entregado: 03 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 05 de Setiembre de 2001

Universidad Nacional de Córdoba. F.C.E.F.y N. Area Geotecnia  
1. Av. Velez Sarsfield 1601. 5000 Córdoba  
e-mail: rjrocca@gtwing.efn.uncor.edu

suelo, dos elementos intervienen: la porosidad y la resistencia de las vinculaciones entre los granos.

El agua es responsable de la reducción de la resistencia de éstas. Entre los mecanismos supuestos para esa acción están: la disolución de componentes solubles, la expansión local de arcillas conducentes al debilitamiento de los vínculos, la defloculación de arcillas, etc.

- b. *La variación del estado de tensiones* dentro de la masa, que es una función de las fuerzas externas aplicadas. Hay un límite denominado “presión inicial” o “presión de fluencia” a partir del cual se producen cambios significativos en las vinculaciones de la estructura del suelo.

Las relaciones entre la presión de fluencia, que es una propiedad del suelo, y el estado de tensiones in-situ conducen a la división de dos tipos diferentes de estado:

1. Loess *potencialmente colapsables*: cuando la presión de tapada o cobertura de suelo superior es menor que la presión de fluencia luego de humedecimiento.
2. Loess *autocolapsables*: cuando la presión de tapada es mayor que la presión de fluencia debido al humedecimiento. En este caso la masa de suelo colapsará espontáneamente sin la presencia de carga exterior. Esto ocurrirá en aquellas zonas donde el límite es sobrepasado. La profundidad depende de las características regionales; pueden ser capas intermedias por ej. entre 5 y 7 m.

Diferentes nombres se encuentran en uso para expresar este comportamiento. La tabla 2.1 muestra alguno de ellos (Rocca 1985).

**TABLA 2.1.: TERMINOLOGÍA INGENIERIL (según Rocca, 1985)**

País	Colapso bajo peso propio	Colapso por incremento tensional
Argentina	Verdaderamente Colapsables	Condicionamente Colapsables
China	Tipo 1	Tipo 2
EUA	Colapsable	Subconsolidado no colapsable
Rusia	Tipo II	Tipo I

Es posible cambiar de un estado a otro, aunque esos cambios no son completamente reversibles. En la naturaleza ocurren de la siguiente manera:

**TABLA 3.1.: TIPOS DE COMPORTAMIENTO**

TIPO GEOTECNICO	NG	Profundidad [metros]	Deformación Especifica [%]
Autocolapso (A)	< 0	< 10	8.0
Daño Potencial (P)	0 a 1	0 a 3	1.0
Daño Marginal (M)	0 a 1	3 a 10	0.7
Libre de Daños (L)	> 1		0.0
Autocolapso Profundo (D)	< 0	> 10	8.0
Marginal Profundo (E)	0 a 1	> 10	0.0
Sin daños (I)	No		0.0

El pasaje de autocolapsable a potencialmente colapsable es claro: la añadidura de agua produce la reducción en la resistencia de los vínculos y el colapso de la estructura del suelo.

El proceso inverso es menos obvio. La acumulación de sedimentos adicionales en la superficie produce un incremento en la presión de tapada, a una determinada profundidad. Si el contenido de humedad es bajo durante ese proceso, las vinculaciones pueden ser suficientemente resistentes para soportar la presión adicional sin una reducción volumétrica, pero en condición metaestable. De esa manera puede pasar a ser un loess autocolapsable.

La transición desde un estado al otro no es absolutamente reversible debido a que hay un decrecimiento neto en los vacíos luego de cada colapso. Después de varios ciclos de colapso la reducción es lo suficientemente grande como para producir una estructura que será potencialmente colapsable bajo humedecimiento.

En la práctica ingenieril el agregado de una sobrecarga como un relleno o un alivianamiento por intermedio de una excavación, modifican el estado de tensiones y eso conduce a un cambio en el estado del suelo loessico.

Actualmente se cuenta con métodos de identificación desarrollados que permiten determinar la susceptibilidad al colapso y la consecuente diferenciación de los tipos de loess presentes en nuestro país.

## 2.2. Determinación del colapso en el terreno

Los métodos analíticos para determinación de la colapsabilidad en un terreno tienen algunas limitaciones. Esto se debe a las distintas hipótesis de propagación del frente del humedecimiento causante del colapso. Asimismo, puede haber fuentes de aporte de agua generalizadas, como aumento del nivel freático, u otras puntuales, como pérdidas de cañerías y pozos absorbentes.

### 2.2.1. Métodos empíricos

Se basan en la experiencia derivada de la observación de colapsos por humedecimiento. Como todo método empírico, su alcance es local.

En algunos países se han propuesto fórmulas que surgen de regresiones estadísticas.

En el caso particular de este trabajo, al método se lo ha denominado *estratigráfico*, y consiste en asignarle un porcentaje de deformaciones por humedecimiento a cada Tipo Geotécnico, tal como se observa en la última columna de la Tabla 3.1.

### 2.2.2. Métodos basados en ensayos de campo

Se han empleado profusamente en las Repúblicas Soviéticas y en China. Consisten en inundar construcciones y observar el asentamiento. Esto ha llevado a clasificaciones basadas en los asentamientos del terreno. (Rocca 1985).

En el caso particular de los suelos de Córdoba, se han realizado algunos ensayos a escala natural en la década de 1970 (Moll y Reginatto 1972)

En los últimos años se han desarrollado métodos de predicción basados en ensayos in-situ (Terzariol y Abbona 1999).

### 2.2.3. Métodos basados en ensayos de laboratorio

Estos métodos son similares en cuanto a su aplicación, a los que se emplean en el cálculo de deformaciones por consolidación. Para ello es necesario conocer el comportamiento edométrico del suelo (compresión unidimensional). Con ellos se generan curvas de compresibilidad (deformaciones vs presiones)

El método clásico es el doble edométrico (Jennings and Knight 1956).

En este caso particular, se comienza con las curvas de compresibilidad correspondiente a los ensayos con humedad natural y saturado, y se analiza la diferencia entre ambas para un determinado estado tensional.

Existen además numerosos métodos basados en una sola curva que simplifica la tarea en costo y tiempo. Esencialmente se trata de cargar la muestra a humedad natural hasta la tensión de trabajo, saturarla observando el colapso por humedecimiento y luego continuar la secuencia de cargas. (Rocca 1985).

Una vez que se cuantifica el comportamiento de una muestra, hace falta plantear el asentamiento de un estrato colapsable en el terreno.

Cuando se tiene un estrato de un determinado espesor, se pueden seguir dos caminos de análisis, de acuerdo a la cantidad de ensayos representativos que se disponga.

El método más empleado consiste en dividir al estrato colapsable en numerosas capas, de las que se extrae muestras y se realizan ensayos de laboratorio. Posteriormente se integran las deformaciones, medidas en cada subcapa. Un ejemplo de ello lo presentan Houston et al (1988).

Cuando no se dispone de muchos ensayos, se puede suponer que el estrato tiene una resistencia al colapso, constante. Consecuentemente, se puede asimilar a todo el espesor del estrato, la determinación realizada con la tensión de trabajo correspondiente a la profundidad de la muestra ensayada. En este trabajo este procedimiento ha sido denominado *multicapa*.

Otra hipótesis que se puede plantear, es la suposición de que la colapsabilidad varía linealmente con la profundidad.

Así se puede emplear el denominado método *baricéntrico*, que consiste en calcular el colapso que se produciría considerando la tensión en el centro del estrato y aplicarlo a todo el espesor.

En el caso de que no se disponga de la curva de compresibilidad en estado de saturación, pero sí del valor de la presión de fluencia, se pueden realizar algunos supuestos y modelar una curva sintética que los contenga. En función de los casos precedentes se optó por asignarle a la curva del ensayo saturado, para el tramo de recompresión el valor de 0.01 y para el tramo virgen el valor de 0.3.

## 3. DISTRIBUCIÓN AREAL DE LA PREDICCIÓN DE RIESGO DE COLAPSO

La ciudad de Córdoba cuenta con una Base de Datos Geotécnicos que en la actualidad tiene unos 1300 perfiles de suelos. Del conjunto, se seleccionaron 481 sondeos con una profundidad uniforme de 12 metros, para la ejecución del análisis. Estos perfiles se encuentran en las zonas no afectadas por los derrames del río Suquia y el Arroyo La Cañada (Rocca et al 2000).

### 3.1. Derivación de una estratigrafía geotécnica

Para poder realizar la interpretación estratigráfica-geotécnica es necesario analizar los resultados de los valores de la presión de fluencia en cada estrato colapsable.

Las condiciones fijadas por Reginatto, Redolfi, y otros autores que siguen criterios tensionales, indican que un parámetro importante a tener en cuenta es el rango tensional entre la presión de tapada del terreno y la presión de fluencia (Rocca et al 1992).

A tal fin se ha propuesto las siguientes definiciones: (Rocca et al 2000)

Se ha denominado Grado,  $G$  a:

$$G = P_f - P_o,$$

siendo  $P_f$  la presión de fluencia saturada y  $P_o$  la presión de tapada.

Para eliminar el factor profundidad es necesario realizar una Normalización del Grado, denominada  $NG$ , en la cual se lo divide por  $P_o$ , es decir por su tapada o cobertura.

$$NG = G/P_o,$$

A este parámetro se lo puede escribir como

$NG = P_f/P_o - 1$ , en donde  $P_f/P_o$  indica el factor de seguridad al autocolapso del suelo. Consecuentemente  $NG$  es un complemento del mismo.

Así, en los suelos que son autocolapsables con  $P_f/P_o$  menor que 1,  $NG$  está implicando la fracción de la tapada que habría que aligerar a la masa de suelo para evitar el autocolapso.

En el caso de los suelos potencialmente colapsables,  $NG$  indica la tensión externa expresada como fracción de la tapada que se requiere para llegar a la condición de Factor de Seguridad igual a 1.

Para la interpretación de los perfiles, se puede plantear un modelo estratigráfico basado en el comportamiento frente al colapso. (Tabla 3.1)

Los *suelos autocolapsables* son los que tienen  $NG$  menor que cero y se los puede dividir en los que son superficiales (Tipo Geotécnico A) y los que son profundos (Tipo Geotécnico D).

Los *suelos potencialmente colapsables* tienen un comportamiento dependiente del estado tensional externo. A tal fin, es necesario considerar el bulbo de tensiones provenientes de las fundaciones. Para fajas cargadas, el bulbo de presiones correspondiente al 10% de la presión externa, alcanza una profundidad del orden de 6.5 B y, para alcanzar el 5% de la presión externa se requiere 10 B, siendo B el ancho de la faja cargada.

En este análisis, se han tomado como referencia, construcciones de una planta con luces de alrededor de cuatro metros. Se ha estimado una carga por metro de muro de 3 T.

Calculando la influencia de la construcción, es posible dividir a los suelos potencialmente colapsables con NG entre 0 y 1, en tres grupos de acuerdo con su profundidad.

Los Tipos Geotécnicos Potenciales (TG P) son los que están en los 3 primeros metros.

Los Tipos Geotécnicos Marginales (TG M) corresponden a los que se encuentren entre 3 y 10 metros.

Los Tipos Geotécnicos Marginales Estables (TG E) son los situados a mayor de 10 metros de profundidad.

Por último, hay que considerar los suelos que tienen un NG mayor que 1 o que corresponden a suelos estables.

Así se define los Tipos Geotécnicos Libres, (TG L) que son los que se encuentran a mediana profundidad y los Tipos Geotécnicos con problema Inexistente (TG I), que se le asigna a los suelos profundos o estables.

### 3.2. Clasificación de Perfiles

En los métodos de clasificación, se parte de los datos y se los agrupa según el grado de afinidad. Luego de realizado el análisis, se puede determinar el número de clases resultante de acuerdo a la similitud existente. Para ello se pueden emplear el análisis de conglomerados (cluster analysis) de perfiles numéricos.

#### 3.2.1. Matrices de Frecuencia de Transición

La transformación las descripciones cualitativas de los suelos en formas numéricas, se realiza mediante la consideración de los perfiles de suelos como una sucesión de estados mutuamente excluyentes (Davis 1986).

Los perfiles estratigráficos son representados por una sucesión de observaciones del paso de un tipo geotécnico a otro.

Las litologías encontradas en los sondeos, fueron divididas en los siete tipos geotécnicos de la Tabla 3.1.

Los tipos de suelos a lo largo de las secuencias se tomaron a intervalos iguales de 0.5 m.

Para cada perforación, se construye una matriz de frecuencia de transiciones, de TG x TG (en este caso 7 x 7), que muestra el número de veces que un determinado suelo, es sucedido por otro (Rocca et al, 1999a).

#### 3.2.2. Análisis de Conglomerados

Una vez que los perfiles se han transformados en secuencias numéricas, se emplea el análisis de conglomerados, para agruparlos de acuerdo a su similitud.

El análisis de conglomerados es un conjunto de técnicas estadísticas multivariantes, cuyo principal propósito es dividir los objetos en estudio, en grupos discretos (conglomerados o clusters). Estos grupos se basan en las características de los objetos y se pretende que los objetos colocados en un conglomerado, tengan alguna similitud entre sí.

El principal interés del análisis es comparar en los perfiles, la homogeneidad de los depósitos por medio de la identificación de grupos similares dentro de ellos (Crespellani et al, 1991).

Dentro del análisis de conglomerados, uno de los más empleados, corresponde al conjunto de métodos jerárquicos aglomerativos (agglomerative hierarchical methods).

El agrupamiento resultante constituye el dendrograma, una figura similar a un árbol.

En los métodos aglomerativos, se comienza con todos los objetos (que serían las ramas) y sucesivamente se van combinando hasta tener un solo grupo (el tronco).

#### 3.2.2.1. Procesamiento de datos

Los valores numéricos de cada matriz de frecuencia de transición (de 7 x 7) de todos los sondeos son colocados como una fila, en una super-matriz de datos (de 481 x 49).

Cuando se realiza el análisis, se genera la matriz de distancias o similitud entre cada par de objetos, en este caso perfiles. Esta matriz es cuadrada y tiene una dimensión igual al número de filas de la matriz de datos (481 x 481).

Para correr matrices de similitud de 481 x 481, el requerimiento es de 1850888 bytes, por lo que la memoria RAM debería ser de aproximadamente 1.85 MB. Esto implica que para obtener buena performance la computadora necesita alrededor de 4 MB de RAM.

El criterio de similitud empleado fue el simple match coefficient.

Como resultado se obtuvo el dendrograma presentado en la Figura 3.1.

#### 3.2.2.2. Número de Conglomerados

El número de conglomerados depende del grado de similitud a la que se realice el análisis. En otras palabras, de cómo se seccione verticalmente al dendrograma de la figura 3.1. Si se cuenta el número de clusters resultantes de la intersección a distintos grados de similitud, se puede elaborar un cuadro, tal como la Tabla 3.2.

TABLA 3.2.: NÚMERO DE CONGLOMERADOS

Grado de Similitud	Clusters Individuales	Total de Clusters
1.0	35	94
0.95	15	54
0.926	7	30

#### 3.2.3. Reconstrucción de Perfiles Promedios

A partir de los conglomerados con similitud 1, se puede desandar el camino recorrido y generar el perfil representativo, de aquellos Tipos Geotécnicos involucrados en cada conglomerado. Esto se realiza promediando cada elemento de las matrices de frecuencia de transición, de cada sondeo integrante del cluster.

### 3.3. Determinación de los Asentamientos Promedios

Para cada uno de los perfiles promedio se calculó los asentamientos máximos esperables, mediante un criterio empírico, denominado *estratigráfico* en este trabajo.

Se tomaron los espesores promedios y las deformaciones específicas de cada TG (Tabla 3.1), y se calcularon los asentamientos máximos esperables en caso de saturación total. Esto podría ocurrir si por ejemplo subiera el nivel freático.

### 3.4. Distribución Areal de la Colapsibilidad

Para caracterizar la colapsibilidad de los suelos de la ciudad de Córdoba, se ha considerado la distribución areal de la susceptibilidad intrínseca de los distintos suelos loessicos.

FIGURA 3.1.: DENDROGRAMA RESULTANTE DE LOS 481 PERFILES CLASIFICADOS

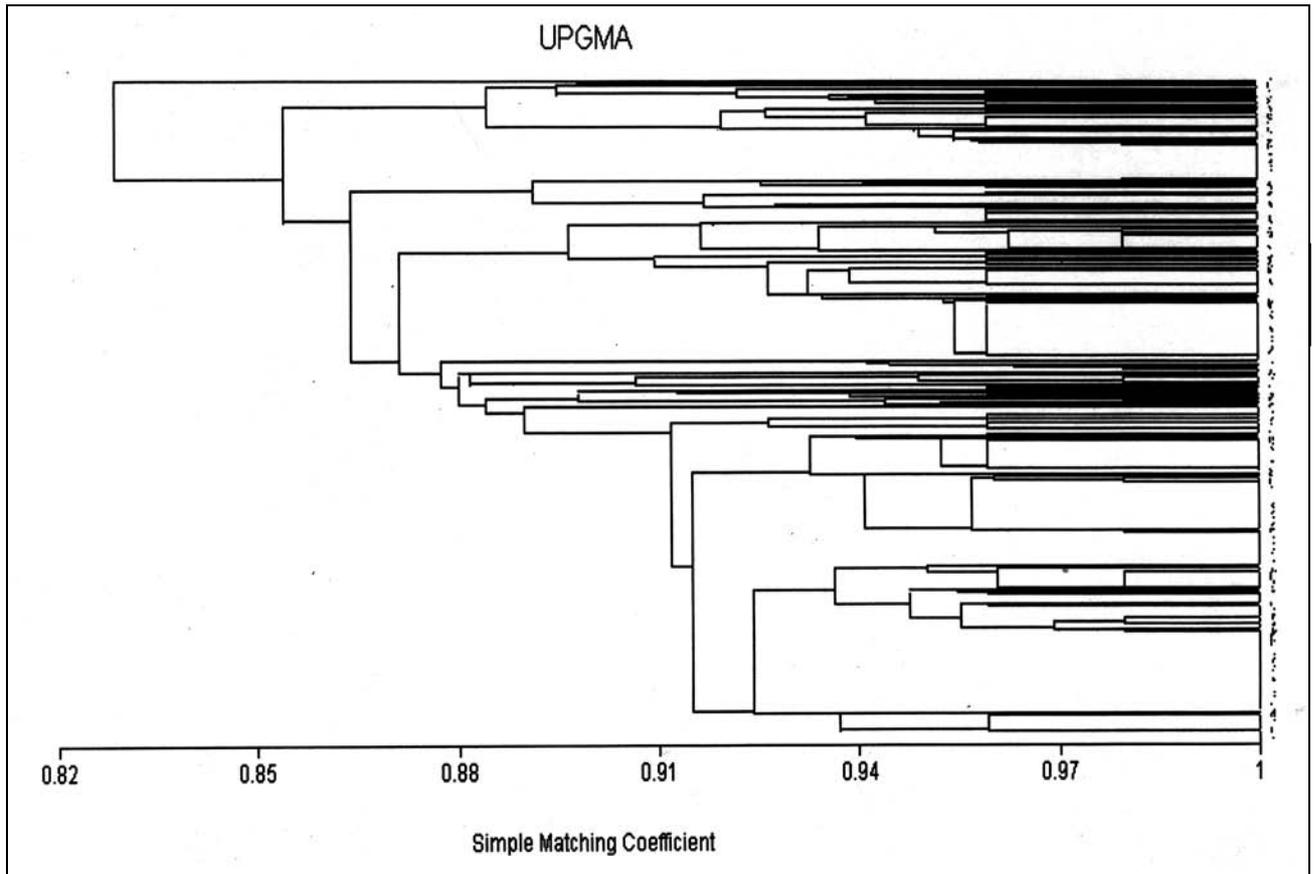
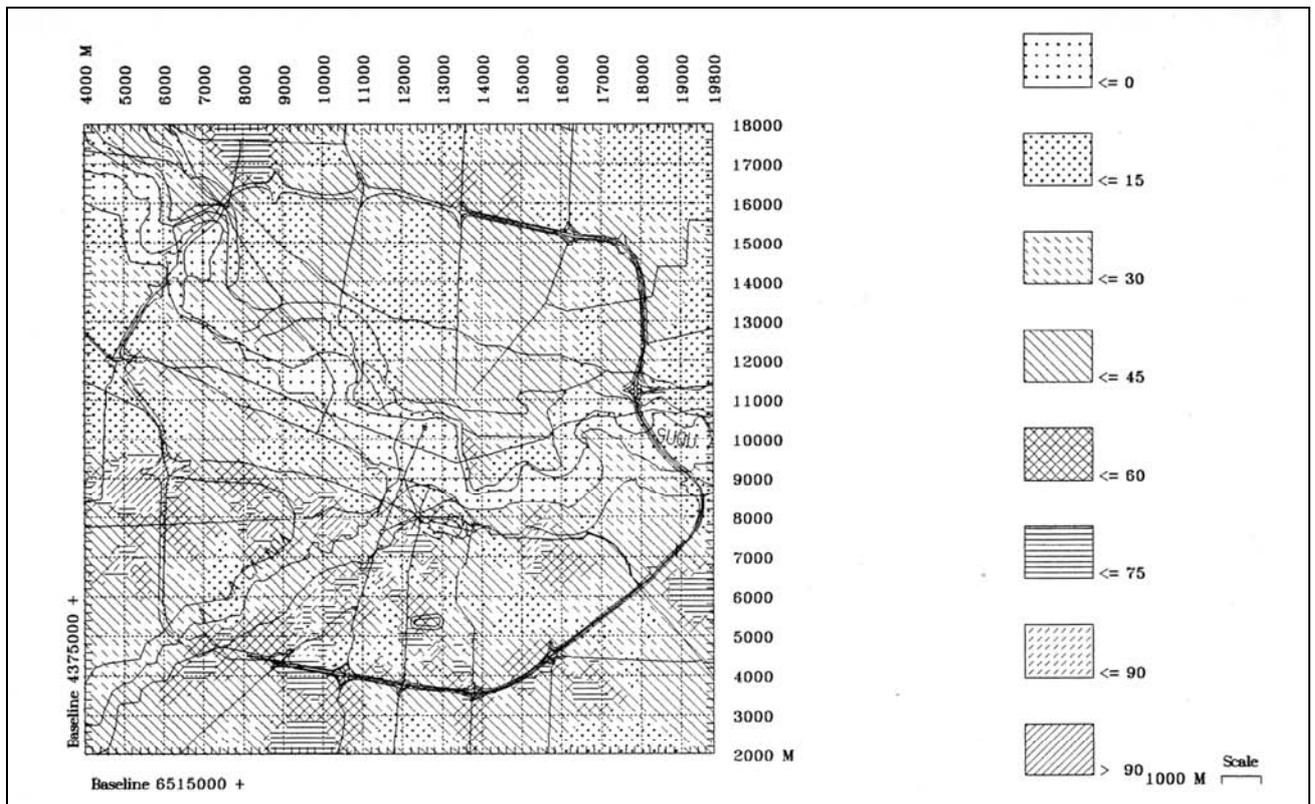


FIGURA 3.2.: ASENTAMIENTOS POTENCIALES POR COLAPSO DEL SUELO (en centímetros) (Sistema de coordenadas Gauss-Kruger)



Esto implica que es un análisis potencial, ya que para que ocurra el fenómeno, es necesario que se den las causas del colapso.

Como primer paso, se excluyeron a los suelos de la ciudad que no son de naturaleza colapsables, tales como las áreas fluviales. Esto ya había sido realizado en años precedentes (Rocca et al 1999 a).

Para mapear la colapsabilidad, se realizó un kriging (kriging) de los asentamientos. Este método tiene en cuenta la distribución areal de los valores, siendo del tipo BLUE (best linear unbiased estimator) (Figura 3.2).

El rango de valores va desde 0, donde no existe ningún suelo de características metaestables, hasta 96 centímetros, que surge de considerar el 8% del máximo espesor considerado, es decir 12 metros.

Según se puede apreciar en el mapa, existen varias zonas, especialmente en la zona sur del valle del Suquía, en donde el asentamiento esperable es el máximo. Esto es bien conocido y ya fue presentado a nivel genérico (Reginatto 1970; Rocca et al 1995).

### 3.5. Limitaciones de la Metodología Aplicada

La metodología descrita tiene varias hipótesis que le son inherentes y que es necesario tener en cuenta al realizar la verificación. Ellas son:

- Los perfiles tienen un espesor homogéneo de 12 metros. Esto es necesario en el proceso de clasificación. En muchos puntos de la ciudad, las profundidades de los suelos colapsables son mayores.
- La estratigrafía geotécnica está basada en tensiones transmitidas por construcciones de una planta. Si bien estas son abundantes en las zonas loessicas, existen edificaciones de dos o tres plantas con fundaciones superficiales, que son afectables por el colapso por humedecimiento.
- En la clasificación de perfiles por Cluster Analysis empleo del criterio de similitud que genera espesores unitarios. Este criterio es muy útil para identificar unívocamente los distintos clusters o conglomerados.
- En la reconstrucción de perfiles empleo de espesores promedio de cada uno de los clusters o conglomerados presentes.
- En la determinación de asentamientos potenciales asignación de deformaciones específicas promedios. En este caso se empleó el denominado método estratigráfico, de naturaleza empírica.
- En el mapeo uso de kriging teniendo en cuenta los seis valores más próximos. Esta opción es razonable sobre todo cuando existen pocos datos en las inmediaciones.

## 4. VERIFICACIONES INDEPENDIENTES

Para poder realizar verificaciones puntuales, se requiere disponer de los datos de perfiles nuevos en distintos puntos de la ciudad, que no habían participado en la determinación del mapa de colapsabilidad.

### 4.1. Universo de Datos

De la Base de Datos, se tomaron 267 perforaciones de la ciudad. Entre ellas se seleccionaron 148 pozos que tenían ensayos de colapsabilidad.

Del mapeo de su ubicación resultaron 12 fuera del mapa original, todas en la zona norte, próximas al aeropuerto. Las restantes tienen la distribución de la Tabla 4.1.

**TABLA 4.1.: DISTRIBUCIÓN DE LAS PERFORACIONES DE CONTROL**

	ZONA NORTE	ZONA ESTE	ZONA OESTE
NÚMERO	18	54	64

La denominación de las zonas corresponde a Norte del río Suquía, y Este y Oeste del Arroyo La Cañada, ambas al sur del Río Suquía.

### 4.2. Cálculos de Asentamiento por Colapso

En cada uno de los perfiles, se efectuó el cálculo del asentamiento por colapso, en base a los métodos estratigráficos, baricéntrico y multicapa.

Estas determinaciones se realizaron siguiendo los procedimientos planteados en el apartado 2.

El método estratigráfico es empírico, y está basado en una ponderación de opiniones de varios especialistas sobre los distintos tipos de loess.

Los métodos baricéntrico y multicapa, son de cómputo, y aplican el cálculo de deformaciones de las curvas de compresibilidad, a los espesores de loess de donde se sacó la muestra.

En el método baricéntrico las tensiones se calculan en el punto medio del estrato, mientras que en el método multicapa, se toman a la profundidad del ensayo de compresión confinada.

### 4.3. Comparación de los Métodos

La comparación entre los resultados de asentamientos por colapso, obtenidos empleando los tres métodos se presentan en la Tabla 4.2.

**TABLA 4.2.: CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE ASENTAMIENTO**

	BARICENTRICO	MULTICAP A	ESTRATIGRAFICO
BARICENTRICO	1.0	0.80	0.47
MULTICAP A	0.80	1.0	0.70
ESTRATIGRAFICO	0.47	0.70	1.0

La mayores diferencias observadas entre el método estratigráfico (empírico) y los otros dos métodos, se deben a varias causas. Entre ellas se encuentran:

- a) Las deformaciones provocadas por la presencia de estratos superficiales autocolapsables (TG A) provoca grandes deformaciones bajo las fundaciones directas, en los métodos de cómputo, mientras que en el método empírico, se toma un valor constante del 8%.
- b) En los suelos potencialmente colapsables próximos a la superficie (TG P), la presencia de la fundación directa genera tensiones cuya influencia sobre los métodos de cómputo depende de donde se haya tomado la muestra.

Como los datos de los perfiles provienen de estudios de suelo y en general éstos se realizan para construcciones de cierto porte, existe una tendencia a evitar los horizontes

superiores y ensayar aquellos que puedan servir para descartar la fundación directa y para definir la profundidad de fricción negativa en pilotes. Como consecuencia de ello, la información disponible tiende a condicionar el resultado del cómputo, y los porcentajes de deformación por colapso.

En el caso del método empírico, el porcentaje es constante.

- c) En los suelos no autocolapsables marginales (TG M), que por definición se encuentran a más de tres metros, las deformaciones en los métodos de cómputo dependerán de cuan deformables sean, mientras que en el caso del método empírico, el porcentaje es constante.
- d) El método empírico es conceptualmente similar al método multicapa, lo que hace que los valores del coeficiente de correlación sean mejores cuando se los compara con el método baricéntrico.

#### 4.4. Verificación del Mapeo

El mapa de predicción del colapso ha sido generado mediante el kriging (krigeado) de los valores de máximo asentamiento por colapso de 481 perfiles, tal como se describe en el apartado 3.

Los perfiles fueron clasificados por cluster analysis y los asentamientos correspondientes se calcularon por el método estratigráfico (método empírico).

Por lo tanto es válido compararlos con aquellos valores obtenidos por el método empírico usado en los 148 perfiles de control. Para ello, se determinaron las coordenadas Gauss Krugger de cada perfil y se buscaron los correspondientes valores en el mapa. Esto se realizó a partir de la matriz generada por el kriging, por interpolación lineal de los cuatro valores mapeados más próximos a las coordenadas de cada perfil.

Posteriormente se realizó una análisis de correlación, obteniéndose un valor del Coeficiente de Correlación relativamente bajo.

Para estudiar las causales, se analizó en detalle al universo de datos. Se determinó el número de perfiles intervinientes en el mapa, que estuvieran en un radio de 300 metros de cada perfil de control. Los resultados se presentan en la tabla 4.3.

**TABLA 4.3.: NÚMERO DE PERFILES INTERVINIENTES EN EL MAPA EN UN RADIO DE 300 METROS DE UN PERFIL DE CONTROL**

PRESENCIA DE PERFILES DENTRO DEL CONTORNO	TOTAL DE CASOS		
	NORTE	ESTE	OESTE
0	16	11	39
1	2	14	9
2 a 5	0	9	16
mayor que 6	0	20	0

Descartando los perfiles donde la presencia de perforaciones a 300 metros a la redonda es nula, el coeficiente de correlación entre lo leído en el mapa y lo estimado por el método estratigráfico es de 0.41.

El kriging se había realizado tomando los 6 perfiles más próximos a la coordenada de cálculo. Por esa razón, se consideró conducente realizar la correlación solamente para los casos en donde, el número de perfiles de control dentro de los 300 metros fuese mayor que 6.

En base a ello, el universo se redujo exclusivamente a la zona este del arroyo La Cañada (y al sur del río Suquía).

El coeficiente de correlación es aproximadamente 0.80. Este valor es mejor que el obtenido para el caso anteriormente señalado.

Hay dos factores limitantes a ser tenidos en cuenta para explicar por que no se obtiene un mejor valor.

La primera causa es de tipo muestral. A pesar de que la Tabla 4.3 presenta perfiles del mapa en un círculo de 300 metros de radio de uno de control, los que están en un radio menor a 100 metros son siempre inferiores a 4. Esto hace que otros perfiles influyan el valor final.

La segunda está relacionada con una de las limitaciones del mapa de predicción.

En el mapeo se tomaron espesores promedio de las capas, mientras que en las perfiles de control se hizo considerando el espesor verdadero.

Para las zonas norte y oeste, las correlaciones son pobres debido a que en los perfiles de control se ubican en zonas con pocos datos en el mapa.

#### 4.5. Confiabilidad del Mapa de Predicción

Dado que se han empleado tres métodos diferentes de cálculo, con dispares resultados, es necesario comentar la importancia de las discrepancias.

En general, en los mapas de colapsabilidad intervienen intervalos amplios de asentamientos, tal como sucede en el método Chino (*Lin et al, 1982*).

Por esa razón si bien es cierto las discrepancias existen en los valores absolutos, si se toman solamente categorías basadas en rangos de colapso, como las empleadas en China, las diferencias pierden entidad ingenieril y las consecuencias son mínimas.

En ese sentido, debería analizarse en detalle la validez de los rangos adoptados en China, que son:

Tipo I: menor de 15 cm.

Tipo II: entre 15 y 35 cm

Tipo III: mayor que 35 cm.

La confiabilidad del mapa de predicción depende fundamentalmente de la densidad de la información presente y de las hipótesis simplificativas que se asuman. En ese sentido se considera que es posible mejorar un poco el segundo punto y obtener en algunas zonas de la ciudad valores razonables para su uso ingenieril.

### 5. CONCLUSIONES

El colapso por humedecimiento y/o cargas externas es uno de los problemas más frecuentes de los suelos de Córdoba. Este fenómeno está relacionado con la distribución de los suelos loessicos y la susceptibilidad al colapso propia de ellos.

La localización de los suelos loessicos es bien conocida en la ciudad, tal como se ha mostrado en los mapas existentes. En general ocupan las planicies al norte y sur del río Suquía. La presencia de corrientes de agua superficiales en los valles del Suquía y la Cañada, excluye la posibilidad de que los suelos loessicos presenten comportamiento metaestable.

En la formulación del mapa de predicción del colapso en la ciudad se realizó sobre la base de considerar alrededor de 500 perfiles donde los suelos metaestables se encuentran presentes. Como hipótesis se consideró solamente el comportamiento de fundaciones directas de baja carga, tal como las viviendas de una planta.

Para analizar este importante número de perfiles se utilizó el análisis de conglomerados (cluster analysis) como sistema de clasificación de los distintos tipos de perfiles.

Los conglomerados (clusters) resultantes fueron evaluados mediante el empleo de propiedades promedios de sus espesores y tipos geotécnicos.

Esto permitió cuantificar el colapso máximo estimable de cada cluster y por consecuencia de los perfiles que lo integran.

Una vez conocido el asentamiento esperable, se procedió al mapeo mediante kriging, método que emplea un estimador no sesgado en las interpolaciones necesarias para cubrir toda el área de la ciudad.

El mapa obtenido fue corregido en aquellas zonas donde la presencia hídrica es evidente (valle del Suquía y la Cañada), aunque el procedimiento de interpolación le asigne valores de asentamientos.

Para la verificación de la confiabilidad del mapa, se contó con información de nuevos perfiles que fueron relevados, analizados y clasificados. Se partió con 267 perfiles, de los cuales se emplearon 148 en los que se había evaluado la presión de fluencia.

Se los dividió en tres zonas geográficas, denominadas Norte (del río Suquía) y Este y Oeste (del arroyo La Cañada, en la parte sur del río Suquía).

Se calculó el asentamiento por colapso debido al humedecimiento total, teniendo en cuenta un método estratigráfico (empírico), tal como se usó en el mapa predictivo, y dos métodos basados en las propiedades de las curvas de compresibilidad.

Los resultados muestran algunas diferencias entre sí, debido a las distintas hipótesis subyacentes en cada uno de ellos. Las mejores correlaciones se encuentran entre el método baricéntrico y el multicapa, con un coeficiente de correlación de 0.8.

Asimismo, como el método estratigráfico tiene hipótesis tensionales próximas al multicapa, la correlación entre ambos es mejor (0.7) que entre el estratigráfico y el baricéntrico.

Para verificar la confiabilidad del mapeo se correlacionó los valores del método estratigráfico con el mapa, que está basado en el mismo criterio, aunque asumiendo perfiles de espesores promedios.

Aquí se vio una razonable correlación entre ambos con un coeficiente de correlación del orden de 0.8. Estos valores son válidos para la zona Este, mientras que en las otras dos zonas, Norte y Oeste, los perfiles de verificación están localizados en áreas donde se carece de información próxima, en el mapa predictivo.

Las diferencias entre las distintas correlaciones pierden importancia cuando se analiza ingenierilmente el significado del colapso. En este caso los valores absolutos son menos importantes que los ordenes de magnitud de los asentamientos. Esto se puede ver en las clasificaciones usadas por el método Chino.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ejecutó con el apoyo económico de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba y la Agencia Córdoba Ciencia, a través de sus programas de Subsidios para Investigaciones Científicas y Tecnológicas.

## 7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CRESPELLANI T., A. GHINELLI, C. MADIAI AND G. VANNUCCHI, 1991.  
Seismic microzonation criteria for a development area near Florence, Italy.  
*Proc. 4th Intl. Conf. Seismic Zonation. Stanford Vol 3: 19-26.*
- DAVIS J.C., 1986.  
Statistics and Data Analysis in Geology.  
*2nd ed. Wiley. New York.*
- HOUSTON S.L., W.N. HOUSTON AND D.J. SPADOLA, 1988.  
Prediction of field collapse of soils due to wetting.  
*A.S.C.E. J. Geot. Eng. Vol 114: 40-58.*
- JENNINGS J. AND K. KNIGHT, 1956.  
Recent experiences with the consolidation test as a means of identifying conditions of heaving or collapse of foundations on partially saturated soils.  
*Trans. South Af. Inst. Civ. Engng. 6 No 8: 225-256.*
- JIMENEZ SALAS, J.A. AND J.L. JUSTO ALPAÑEZ, 1986.  
Engineering Geological aspects of foundation soils.  
*General Report. Proc. 5th Intl. Cong. I.A.E.G. Buenos Aires. Vol.8 :2519-2598.*
- LIN Z. AND W. LIANG, 1982.  
Engineering properties and zoning of loess and loess-like in China.  
*Can. Geot. J. 19, pp 76-91.*
- MOLL L.L. Y A. REGINATTO, 1972.  
Investigación de Fundaciones en Suelos Colapsables.  
*III RAMSIF. Vol I: 25-44. Bahía Blanca.*
- MOLL L.L. AND R.J. ROCCA, 1991.  
Properties of loess in the center of Argentina.  
*Proc. XI PanAm. C.S.M.F.E. Vina del Mar. Chile. Vol I: 1-14.*
- REGINATTO A., 1970.  
Propiedades mecánicas de algunos suelos de la ciudad de Córdoba.  
*Memorias 2 R.A.M.S.I.F. Vol. 1. Córdoba.*

- ROCCA R.J. ,1985.  
Review of Collapsible Soils.  
*CE 299 Report. U.C.Berkeley.*
- ROCCA R.J., E. QUINTANA CRESPO Y V. RINALDI, 1990.  
Modelación geotécnica del subsuelo de la ciudad de Córdoba.  
*As. Arg. Geol. Apl. Ing. Actas V:121-130.*
- ROCCA R.J., A. REGINATTO AND E. REDOLFI, 1992.  
Determination of collapse potential of soils.  
*Proc. 7th Intl. Conf. on Expansive Soils. Vol I: 73-77*
- ROCCA R.J., E. QUINTANA CRESPO, M.G. GOIO Y E.G. ABRIL, 1995.  
Carta geotécnica de la ciudad de Córdoba.  
*As. Arg. Geol. Apl. Ing. Pub. Esp. 3: 322-340.*
- ROCCA R.J. Y E. QUINTANA CRESPO, 1999, A.  
Zonificación geotécnica de Córdoba mediante análisis estadístico de perfiles geotécnicos.  
*Revista de Geol. Apl. Ing. y al Medio Ambiente. Vol 13:137-150.*
- ROCCA R.J. AND E. QUINTANA CRESPO, 1999, B.  
Geotechnical zonation of Córdoba city (Argentina) using cluster analysis.  
*Proc. XI PanAm. Cong. Soil Mech. Geot. Eng. Vol II: 659-666. Foz Iguazu. Brasil.*
- ROCCA R.J. Y M.G. GOIO, 2000.  
La colapsabilidad de los suelos de la ciudad de Córdoba.  
*XV Congr. Arg. Mec. Suel. e Ing. Geot. Vol 1: 31-38. Buenos Aires.*
- TERZARIOL R.E. Y P.V. ABBONA, 1999.  
Determinación del Potencial de colapso mediante ensayos in-situ. Proc.  
*XI. PanAm. Cong. Soil Mech. Geot. Eng. Vol. I. pp 201-207.*



## Aportes de la cartografía temática al desarrollo sustentable en áreas ambientalmente frágiles del suroeste bonaerense

Rosell, Patricia - Del Pozo, Olga - Zinger, Alicia S.

### Resumen

*El número, dimensión y entidad de los problemas ambientales puesta de manifiesto hacia fines de la década pasada se originan fundamentalmente, en el uso indebido de los recursos naturales. Por lo tanto frenar y/o evitar el deterioro ecológico creciente observado en el mundo constituye uno de los desafíos del presente.*

*En este escenario, la Geografía -a través de su potencial teórico-metodológico- parece ser una disciplina apta para dar respuesta a las demandas planteadas, ya que permite no sólo abordar estudios sobre funcionalidad integral de los paisajes sino también elaborar cartografía temática específica como base para diseñar pautas de intervención en espacios vulnerables como: el ecosistema costero de Monte Hermoso, sector de Cura Malal y Bravard en Sierra de la Ventana y Laguna Chasicó.*

*Por otra parte, y a pesar de los diferentes puntos de vista disciplinarios existentes, desde la Geografía se asume, en general, que el paisaje es parte esencial del territorio y, por ende, elemento fundamental de la planificación ambiental.*

*En relación con lo expresado, el presente trabajo los siguientes objetivos:*

- *Definir en los ecosistemas: costero de Monte Hermoso, sector de Cura Malal y Bravard (Sierra de la Ventana) y Laguna Chasicó las unidades de paisaje a ser utilizadas como espacios operacionales realizando los mapas temáticos pertinentes.*
- *Identificar potencialidades, restricciones y valor patrimonial natural-cultural según unidades de paisaje y, en concordancia con ellos, producir la cartografía respectiva.*
- *Elaborar mapas de riesgo y vulnerabilidad relacionados con amenazas ambientales latentes en ciertas unidades para el desarrollo de actividades humanas a implementar.*
- *Diseñar, sobre la base de la cartografía obtenida y de las alternativas de intervención probables, pautas de gestión orientadas a realizar acciones programadas y no espontáneas con el propósito de lograr el ordenamiento de actividades y usos en armonía con la oferta y restricciones ambientales de cada unidad.*

*Para lograrlos, durante la primera etapa de la investigación se definieron las unidades y subunidades de paisaje a analizar sobre la base de la metodología propuesta por Bovet Pla, M. y Rivas Vilas, J. (1992:69), es decir se realiza mediante la identificación de elementos estructuradores dominantes en cada unidad de acuerdo con criterios previamente seleccionados en función de los objetivos propuestos. Luego, a cada una de ellas se le asignó su valor patrimonial sobre un esquema de valoración cualitativa el cual se ajusta a pautas o normas ampliamente reconocidas y aceptadas por la comunidad científica pertinente.*

*En consecuencia, la cartografía temática resultante, como expresión sintética de elementos y procesos del territorio en términos comprensibles y operativos, constituye una herramienta fundamental que facilita la elección entre diferentes alternativas de intervención en espacios frágiles y vulnerables como los seleccionados tendiente a lograr un proceso de planificación y ordenación de los mismos conservando una relación armónica entre desarrollo económico y medio ambiente.*

Entregado: 10 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 05 de Noviembre de 2001

Departamento de Geografía - UNS. 12 de Octubre y San Juan 4to Piso  
(8000) Bahía Blanca

e-mail: odelpozo@uns.edu.ar

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas naturales terrestres poseen diferentes grados de fragilidad intrínseca vinculada con atributos peculiares individuales. Esta particularidad, regulada por un principio de autoorganización interna natural, les permite evolucionar y prosperar -sin intervención humana- dentro de una escala espacio-temporal más o menos prolongada. Pero, cuando dichos ecosistemas se convierten en soporte de actividades humanas en relación con sus aptitudes, la fragilidad se incrementa y con frecuencia, esta situación conduce al deterioro creciente de los mismos y a la emergencia de conflictos ambientales de compleja resolución.

En tal contexto, el tratamiento de problemas ambientales existentes requiere, si los afectados son sistemas naturales o seminaturales, estrategias especiales de abordaje tales como estudios integrados de paisaje con el fin de conocer su funcionamiento, cuestión fundamental para ajustar la interrelación desarrollo económico-actividades humanas- medio ambiente a través de un proceso de planificación y ordenamiento ambiental adecuados

En todo este proceso, la *cartografía temática* se convierte, debido al número de aspectos que permite evaluar, en una herramienta esencial para elegir entre diferentes alternativas de intervención espacial posibles. Ella involucra un sinnúmero de cartas, algunas denominadas básicas y otras de síntesis, entre las cuales se incluyen mapas de unidades de paisaje delimitadas, en el caso particular estudiado, según dominancia de elementos estructuradores principales, mapas de riesgo, vulnerabilidad y uso del suelo, sólo por mencionar algunas de las utilizadas en la presente investigación.

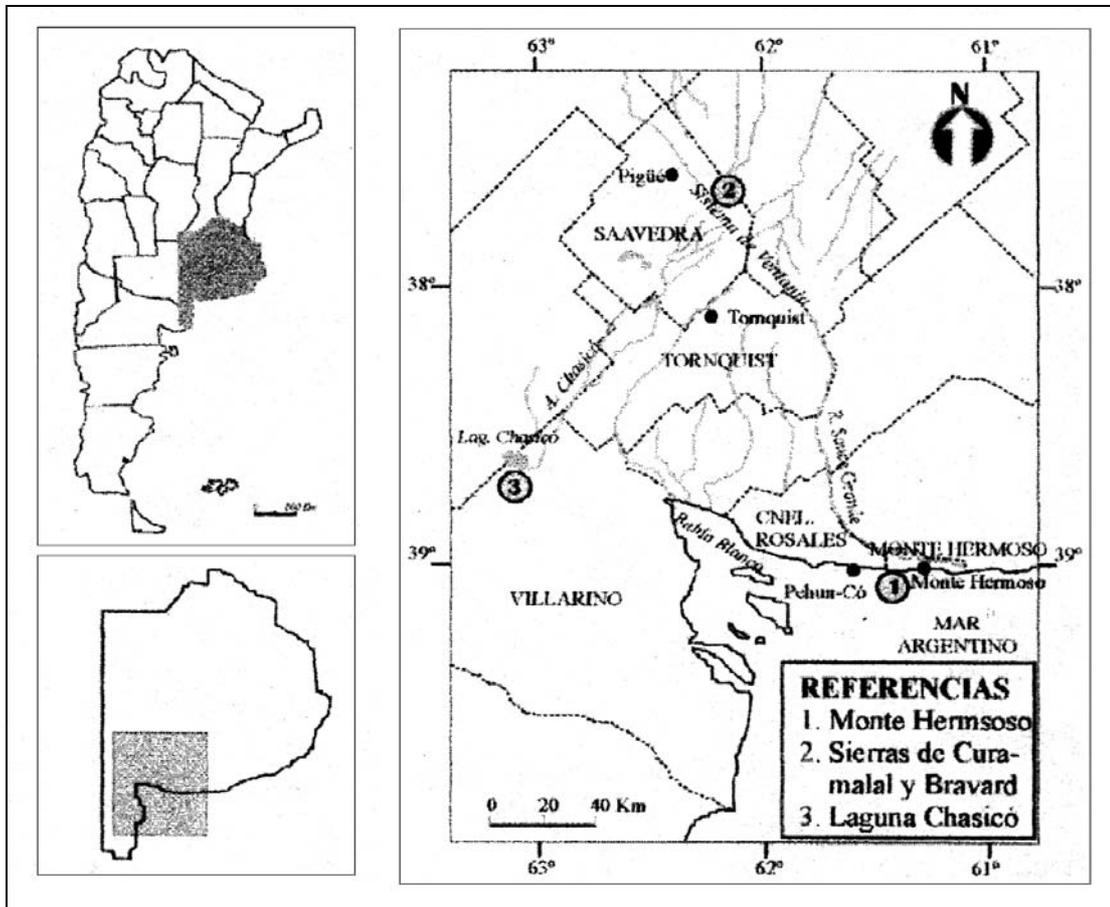
Por lo tanto, es propósito de la contribución presentar una serie de cartas temáticas correspondientes a ecosistemas ecológicamente frágiles del suroeste bonaerense -zona costera de Monte Hermoso; sector de Cura Malal y Bravard en el Sistema de Ventania y Laguna Chasicó, en los partidos de Puán y Villarino (Figura 1) - áreas seleccionadas en base a dicha condición, y señalar la importancia que las mismas adquieren dentro de un proceso de toma de decisiones a efectos de impulsar actividades bajo los principios básicos de sustentabilidad ambiental.

Al respecto se plantean los siguientes objetivos:

- Definir en las áreas seleccionadas las unidades de paisaje a utilizar como escenarios operacionales y elaborar los mapas temáticos pertinentes.
- Determinar el valor patrimonial natural-cultural de las unidades paisajísticas y producir la cartografía respectiva.
- Construir mapas de vulnerabilidad y riesgo relacionados con amenazas ambientales latentes para el desarrollo de actividades humanas.
- Sugerir, sobre la base de la cartografía obtenida y de las probables alternativas de intervención, pautas de gestión orientadas a impulsar acciones programadas tendientes al ordenamiento de actividades y usos en armonía con la oferta y restricciones ambientales de cada unidad.

Finalmente, es de destacar que cualquier modelo o propuesta de ordenación de un territorio con vistas a lograr su desarrollo sustentable debe procurar el equilibrio entre "oferta ambiental" y "demanda social" y, orientarse no sólo a resolver los problemas actuales sino también prevenir los futuros.

FIGURA 1: UBICACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO



## 2. UNIDADES DE PAISAJE Y SU VALOR PATRIMONIAL ¿BASE PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE UN TERRITORIO?

Uno de los problemas a enfrentar por la sociedad hoy, sin dudas, es el grado creciente de conflictividad que se manifiesta en la relación actividades humanas y calidad del subsistema natural que actúa como soporte de las mismas.

El equilibrio entre ambas sólo se alcanzará cuando cada actividad específica esté ubicada en el sitio apropiado es decir, cuando cada unidad territorial se desarrolle en relación con su potencialidad intrínseca y en consonancia con el contexto técnico y socioeconómico correspondiente al momento histórico considerado.

En consecuencia, la tarea de definir e inventariar unidades de paisaje -entendidas como expresión externa de un sinnúmero de procesos y relaciones e indicadores del estado de los ecosistemas - constituye un paso preliminar necesario para la gestión, planificación y ordenación de un territorio donde se intenta impulsar un proyecto de desarrollo. Además la determinación de su valor en cuanto patrimonio natural y cultural contribuye a reconocer y evaluar espacios operacionales donde impulsar o restringir acciones para el logro, no sólo del aprovechamiento sostenible de los recursos sino también con el fin de preservar relaciones y estructuras ecosistémicas básicas sin alterar el estado de fragilidad propio de todo sistema natural.

En tal sentido, *Gómez Orea, D. (1994:84)* sostiene que "... el recurso paisaje es valorable no sólo en términos de su grado de excelencia sino a través de las actividades económicas que genera o que encuentran su justificación en la presencia de un paisaje de calidad. Se trataría de una especie de valor potencial de uso, de un recurso renovable susceptible de ser inventariado, valorado y utilizado".

Por su parte, *Gómez Mendoza, J. (1999: 43)* considera que "... la relación del concepto de paisaje y su incorporación a la política territorial requieren superar los contenidos de los tratamientos sectoriales (urbanísticos, visuales, científicos, etc) e integrarlos en un objetivo común de política territorial. (...) Hay que hacer de la política del paisaje uno de los instrumentos de desarrollo local y de mejora de la calidad de vida".

De acuerdo con las conceptualizaciones mencionadas identificar, delimitar e inventariar unidades de paisaje - "parte perceptible de un sistema de relaciones subyacentes que expresan distintos procesos en los cuales intervienen componentes naturales y actores sociales y que además, constituye una fuente de información para detectar y evaluar recursos, potencialidades, impactos, conflictos y problemas ambientales que orienten el planteo de pautas de gestión". (*Zinger, A. et al 1999: 456*) - sobre la base de la dominancia de elementos estructuradores principales, facilita la obtención sectores territoriales básicos tangibles cuyo valor reside en que representan unidades espaciales donde elaborar diagnósticos tendientes a la toma de decisiones para su ordenamiento.

Asimismo es necesario destacar que, tales unidades "... constituyen no sólo una construcción teórica, sino una herramienta cartográfica y un medio para utilizar información paisajística para propósitos prácticos" (*Toledo, V. 1994: 169*).

En relación con lo expresado *Bovet Pla, M. y Ribas Vilas, J. (En Bolós, M., 1992: 69)* sostienen que "...existen tres tipos de elementos estructurales (. . .) : abióticos, bióticos y antrópicos. Cualquier paisaje responderá a una combinación determinada de

estos elementos, de modo que pueden haber tantos paisajes como posibilidades combinatorias puedan alcanzarse".

La metodología propuesta por dichos autores y adoptada en este trabajo requiere, en primer lugar, identificar los elementos que conforman y caracterizan unidades diferentes a partir del o de los elementos estructuradores dominantes, según orden de intervención en la funcionalidad de las mismas, estableciéndose categorías no excluyentes.

Los criterios para su definición son:

- paisajísticos
- geomorfológicos
- científicos
- ecológicos
- uso de los recursos
- uso del suelo

Algunos de ellos responden a indicadores del medio natural y otros a indicadores del ámbito de las actividades humanas. Teniendo en cuenta dichos criterios - pueden incidir varios de ellos en la determinación de cada mosaico particular- se identifican las diferentes unidades.(Tablas I, II y III).

La cartografía resultante se elabora a partir de las cartas de imagen y topográficas editadas por el Instituto Geográfico Militar, con fechas y escalas variadas, y el apoyo de controles de campo realizados durante el proceso de análisis.

Las unidades de paisaje, expresión cartográfica de elementos y procesos del territorio en términos comprensibles y operativos, constituyen el soporte para determinar valor patrimonial basándose en un esquema de valoración cualitativa para cada uno de los espacios y recursos a efectos de proyectar actividades humanas compatibles, desde una postura conservacionista, tendiente a evitar la emergencia de conflictos ambientales.

A los fines de concretar la operación es necesario que tales criterios, al no responder a variables mensurables, se ajusten a pautas o normas ampliamente reconocidas y aceptadas por la comunidad científica pertinente. En la elaboración de las tablas (Tablas I, IV y V) que contienen la estimación del valor de conservación para cada unidad paisajística se escogen aquellos caracteres cuya valía justifica la protección de las condiciones ambientales presentes, entre ellos están:

- Naturalidad
- Significación para la región
- Singularidad relativa de los paisajes
- Complejidad de los ecosistemas
- Grado de evolución ecológica de los ecosistemas
- Representatividad paisajística y ecológica
- Presencia de signos culturales peculiares

Con el propósito de establecer un orden valorativo para cada espacio en relación con los criterios precedentes se confecciona la siguiente escala:

- Valor de conservación bajo
- Valor de conservación medio
- Valor de conservación alto
- Valor de conservación muy alto

La aplicación de esta última, sobre la base de las unidades de paisaje ya determinadas, permite expresar el valor patrimonial natural y/o cultural de cada una. (Figuras 2,3,4).

TABLA I: IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE PAISAJE EN EL ÁREA COSTERA DE MONTE HERMOSO

ELEMENTO ESTRUCTURADOR DOMINANTE	DENOMINACIÓN DE LA UNIDAD DE PAISAJE	INDICADORES DE MAYOR RELEVANCIA	VALOR PATRIMONIAL
Pertenece al medio natural	Franja litoral arenosa, playa, cadena dunaria móvil y semimóvil con actividad turística y riesgo de degradación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Singularidad paisajística</li> <li>• Funcionalidad ecológica, área de interfase</li> <li>• Inestabilidad y dinamismo</li> <li>• Defensa natural de la costa</li> <li>• Estabilidad de la playa</li> <li>• Habitat natural de avifauna</li> <li>• Uso del suelo actual y potencial</li> </ul>	Muy alto
	Médanos fijos por comunidades herbáceas y forestales, con actividad ganadera extensiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Defensa natural de la costa</li> <li>• Regulación hídrica</li> <li>• Reserva de aguas subterráneas</li> <li>• Retención de sedimentos</li> <li>• Presencia de flora y fauna variada</li> <li>• Paisaje singular</li> </ul>	Muy alto
	Laguna del Sauce Grande, ecosistema con actividad turística variada: pesca, deportes náuticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Singularidad ecológica</li> <li>• Regulación hídrica</li> <li>• Hábitat de numerosas especies</li> <li>• Sitio de asentamiento temporal para aves migratorias</li> <li>• Presencia de ictio y avifauna</li> <li>• Fragilidad ecológica</li> <li>• Interés natural y paisajístico</li> </ul>	Muy alto
	Valle inferior del río Sauce Grande, con incipientes barrancas en alguno de sus tramos, cursos meandrosos, márgenes forestadas y desembocadura deltaica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte de agua dulce superficial el ecosistema</li> <li>• Procesos erosivos en avance</li> <li>• Presencia de flora y fauna nativa y exótica</li> <li>• Paisaje destacado</li> </ul>	Medio
	Área de bañados y lagunas interdunales: zonas húmedas en depresiones con presencia de actividad ganadera extensiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Singularidad ecológica</li> <li>• Regulación hídrica</li> <li>• Fauna y flora autóctona</li> <li>• Importante avifauna</li> <li>• Material detrítico</li> <li>• Paisaje destacado</li> </ul>	Medio
	Área de influencia litoral: planicie con actividad agrícola-ganadera extensiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad del suelo</li> <li>• Riesgo de erosión hídrica</li> <li>• Funcionalidad ecológica</li> <li>• Uso del suelo actual y potencial</li> </ul>	Medio
Pertenece al ámbito de las actividades humanas	Área urbanizada: centro de atención turístico regional, con marcada actividad estacional en relación con sus principales atractivos, playa y baños de mar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesibilidad</li> <li>• Equipamiento e infraestructura turística</li> <li>• Servicios variados</li> <li>• Uso del suelo actual y potencial</li> </ul>	Bajo

TABLA II: IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE PAISAJE EN LOS CORDONES CURA-MALAL-BRAVARD (Sistema de Ventania)

ELEMENTO ESTRUCTURADOR PRINCIPAL	DENOMINACION DE LA UNIDAD DE PAISAJE	INDICADORES DE MAYOR RELEVANCIA
Pertenece al medio natural	<i>Piedemonte, valles y abras</i> Camino, senderos turísticos y actividad agrícola-ganadera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paisaje singular</li> <li>• Fragilidad ecológica</li> <li>• Vistas panorámicas</li> <li>• Calidad visual</li> <li>• Singularidad absoluta histórico-cultural</li> <li>• Uso actual y valor potencial de uso</li> </ul>
	<i>Pliegues</i> Con presencia de formación de grutas y cavernas entre 350 y 450 m. presencia de pinturas rupestres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interés para la ciencia</li> <li>• Sitio de interés arqueológico: pinturas rupestres</li> <li>• Geomorfología singular absoluta</li> </ul>
	<i>Cordones en altura, cañadones y quebradas</i> Turismo ecológico y de aventura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionalidad ecológica</li> <li>• Cualidades visuales</li> <li>• Vistas panorámicas</li> <li>• Interés biogeográfico: endemismo de especie</li> <li>• Actividad turística rural: lúdica-deportiva</li> <li>• Rutas ecológicas</li> <li>• Interpretativa-educativa</li> </ul>
	<i>Llanura pedemontana adyacente</i> con actividades ganaderas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de suelo actual</li> <li>• Gradación edáfica: erosión hídrica - uso intensivo</li> <li>• Interés para la ciencia</li> </ul>

TABLA III: IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE PAISAJE EN LA LAGUNA CHASICÓ

ELEMENTO ESTRUCTURADOR PRINCIPAL	DENOMINACION DE LA UNIDAD DE PAISAJE	INDICADORES DE MAYOR RELEVANCIA
Pertenece al medio natural	Laguna Chasicó, ecosistema con actividad turística y riesgo de degradación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Singularidad</li> <li>• Calidad estética</li> <li>• Presencia de ictio y avifauna</li> <li>• Interés para la Ciencia</li> <li>• Uso actual y valor potencial de uso</li> </ul>
	Frente costero de Laguna Chasicó con escasa infraestructura turística	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionalidad ecológica - área de interfase</li> <li>• Grado de degradación por contaminación y procesos erosivos</li> <li>• Interés para la Ciencia</li> <li>• Número de asentamientos de prestadores de servicios</li> </ul>
	Valle inferior Arroyo Chasicó con barrancas pronunciadas y presencia de restos paleontológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Singularidad</li> <li>• Cualidades visuales</li> <li>• Presencia de fauna y flora</li> <li>• Yacimientos paleontológicos</li> <li>• Sitios de interés geológico</li> <li>• Grado de vulnerabilidad física</li> </ul>
	Monte natural degradado con ganadería extensiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Singularidad</li> <li>• Flora y fauna autóctona</li> <li>• Interés para la ciencia</li> <li>• Uso actual y valor potencial de uso</li> <li>• Grado de degradación por actividades humanas</li> </ul>
	Formaciones medianosas con actividad ganadera extensiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionalidad ecológica</li> <li>• Calidad de suelo</li> <li>• Grado de dinamismo geomorfológico</li> <li>• Uso actual y valor potencial de uso</li> <li>• Interés para la Ciencia</li> <li>• Receptividad ganadera</li> </ul>
Pertenece al ámbito de las actividades humanas	Area urbanizada: centro prestador de servicios locales con hábitat disperso y escasa infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de suelo actual</li> <li>• Diversidad de servicios prestados</li> <li>• Accesibilidad</li> <li>• Equipamiento</li> </ul>

TABLA IV: UNIDADES PAISAJÍSTICAS EN RELACIÓN A SU VALOR DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (Laguna Chasicó)

UNIDADES DE PAISAJE	VALOR DE CONSERVACION SEGÚN CRITERIOS				Estimación VALOR TOTAL
	ECOLOGICO	PRODUCTIVO	PAISAJISTICO	CIENTIFICO	
<i>Laguna Chasicó, ecosistema con actividad turística y riesgo de degradación</i>	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
<i>Frente costero laguna Chasicó con pequeñas instalaciones para el turismo</i>	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	ALTO
<i>Valle inferior Arroyo Chasicó con barrancas pronunciadas y presencia de restos paleontológicos</i>	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	ALTO
<i>Monte natural degradado con ganadería extensiva</i>	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	ALTO
<i>Formaciones medanosas con actividad ganadera extensiva</i>	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO
<i>Area urbanizada: centro prestador de servicios locales con hábitat disperso y escasa infraestructura</i>	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO

TABLA V: UNIDADES PAISAJÍSTICAS EN RELACIÓN A SU VALOR DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (Sistema de Ventania)

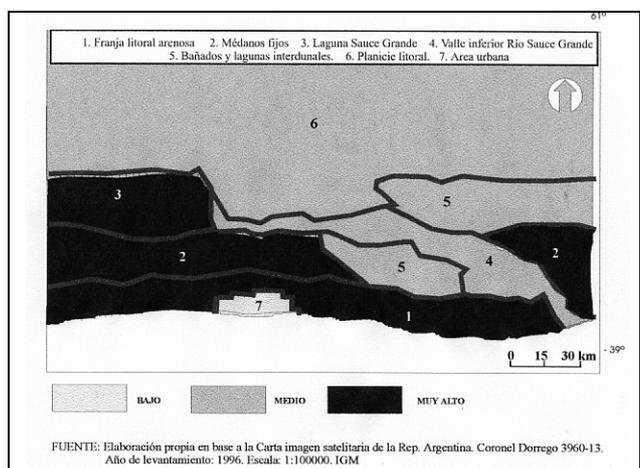
UNIDADES DE PAISAJE	VALOR DE CONSERVACION SEGÚN CRITERIOS				Estimación VALOR TOTAL
	ECOLOGICO	PRODUCTIVO	PAISAJISTICO	CIENTIFICO	
<i>Piedemonte, valles y abras</i> Caminos, senderos turísticos y actividad agrícola-ganadera	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
<i>Pliegues con presencia de grutas y cavernas</i>	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	ALTO
<i>Cordones en altura, cañadones y quebradas.</i> Turismo ecológico y de aventura	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	ALTO
<i>Llanura pedemontana adyacente</i> con actividades ganaderas	BAJO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO

Por otra parte, al profundizar el nivel de análisis, se concluye que la sola determinación de unidades paisajísticas con función de espacios operativos sería insuficiente cuando se trata de impulsar o intensificar actividades sobre un territorio. Por lo tanto, se recomienda contar además con información sobre su valor patrimonial con el objeto de no alterar la capacidad de resiliencia de los sistemas sustentadores, es decir respetando los postulados básicos de la "racionalidad ambiental".

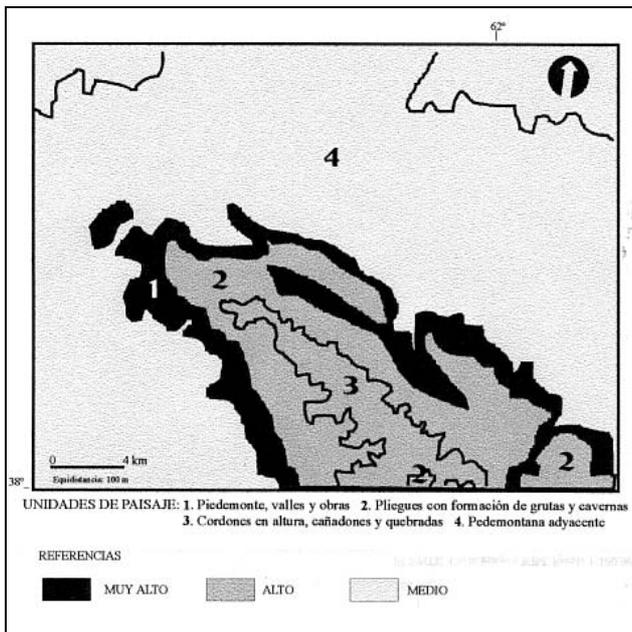
La expresión gráfica resultante indica dónde se concentra en el espacio el atributo "patrimonio natural-cultural" de mayor significación a ser preservado y, de esta manera, la posibilidad de derivación de actividades agresivas - urbanización e infraestructuras mínimas - hacia zonas con rangos menores respecto del valor mencionado.

El escenario proporcionado por las unidades de paisaje, cada una con su valor patrimonial autoriza a establecer un diagnóstico preliminar sobre la distribución de usos y actividades

FIGURA 2: UNIDADES DE PAISAJE Y SU VALOR PATRIMONIAL EN EL ÁREA COSTERA DE MONTE HERMOSO



**FIGURA 3: UNIDADES DE PAISAJE Y SU VALOR PATRIMONIAL EN LOS CORDONES DE CURA-MALAL Y BRAVARD**



compatibles o incompatibles con la vocación natural y atributos patrimoniales de los diferentes espacios operativos.

Por otra parte, durante el proceso de toma de decisiones, conviene obtener referencias sobre la oportunidad y conveniencia de respetar tanto las aptitudes intrínsecas, como las expectativas de desarrollo de cada emprendimiento, tendencias de ocupación del suelo actuales y viabilidad de concretar una gestión ambiental eficaz a efectos de elaborar pautas de manejo acordes a cada situación particular.

Una vez cumplimentado el análisis en su totalidad, recién se cuenta con una herramienta válida para la definición de estrategias que garanticen intervenciones espaciales equilibradas y ordenadas con vistas a impulsar, desde el punto de vista del ambiente, acciones sostenibles en el tiempo.

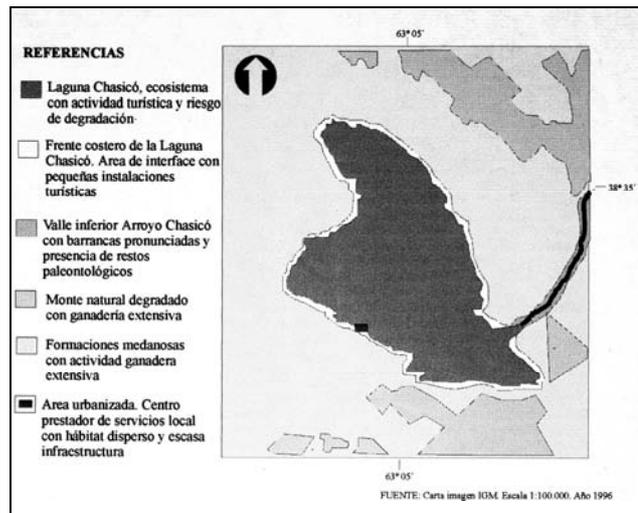
Por último, se hace notar que la finalidad de este tipo de análisis reside en indicar la vocación natural de acogida de actividades para un territorio aunque de manera alguna pretende erigirse en un diagnóstico cuyas evaluaciones resulten imperativas sino que, en todos los casos es posible reconsiderar diferentes alternativas, evaluarlas y luego actuar al efecto.

### 3. ÁREAS AMBIENTALMENTE FRÁGILES DEL SUROESTE BONAERENSE

#### 3.1. Monte Hermoso ¿un mosaico de paisajes costeros peculiares y frágiles?

El Partido de Monte Hermoso, ubicado sobre la costa atlántica los 38°59'33" de latitud sur y a 61°15'55" de longitud oeste con una superficie de 230 km<sup>2</sup>, se extiende a manera de franja paralela al mar, a lo largo de 32 km. en dirección este-oeste. Quedan incluidos en esta jurisdicción, la localidad balnearia de Monte Hermoso y las tierras que llegan hasta el norte de la laguna Sauce Grande, el tramo inferior del río homónimo y hacia el este, el balneario del mismo nombre. Limita al sur con el Océano Atlántico, al norte y al este con el partido de Coronel Dorrego y al oeste con el partido Coronel de Marina Leonardo Rosales.

**FIGURA 4: UNIDADES DE PAISAJE Y SU VALOR PATRIMONIAL EN LA LAGUNA CHASICÓ**



Su extensa playa de arena muy fina con declive suave representa no sólo su principal potencialidad ambiental sino también su mayor recurso para el aprovechamiento turístico.

En tal sentido, el litoral adyacente se presenta como un espacio singular donde la relación entre los subsistemas físico-natural, socio-económico y jurídico-administrativo no siempre se realiza armónicamente. Si a ello se suma la fragilidad de la zona costera, la situación deriva en una degradación y sobreexplotación de los recursos, donde los desequilibrios se materializan en la aparición de variadas *problemáticas ambientales*. Las mismas son consecuencia de un modelo disfuncional, en el cual la interrelación entre los recursos naturales o el entorno físico sustentador, no es capaz de garantizar la continuidad del uso o actividad económica que prevalece.

Durante las últimas décadas, la presión del turismo y de la recreación sobre el soporte físico, añadido a la urbanización costera y al desarrollo de infraestructuras contribuye a la aparición de conflictos ambientales de resolución compleja.

En este contexto, si cada unidad de paisaje (Figura 2) es la manifestación de un conjunto de características y procesos diferentes, su valor total o *valor patrimonial* surge a partir de la presencia de ciertos caracteres relevantes, agrupándose en: ecológicos, científico-culturales, productivos y paisajísticos y, su expresión gráfica (Figura 2) muestra donde se concentra el patrimonio natural de mayor peso a conservar y/o proteger, pudiendo orientar hacia sectores de menor valor de conservación usos y actividades no agresoras.

El concepto de capacidad del paisaje deriva de la concurrencia en un sector del espacio, de ciertas características y elementos ambientales significativos y representa la forma en que cada unidad puede utilizarse sin que sufra alteraciones en sus valores patrimoniales.

A esta *valoración del territorio*, en términos de "*méritos de conservación*", basada en la excelencia, significado y función de los elementos y procesos que en él se desarrollan, se debe agregar la *estimación de la potencialidad* más importante o sobresaliente, referida a las "*oportunidades que ofrece*", en cuanto recurso, soporte y receptor de desechos, para las actividades humanas.

Para el logro de estos objetivos y teniendo en cuenta los principios que orientan la denominada "*ordenación en profundidad*", las cartas temática elaboradas en el Municipio de Monte Hermoso

facilitan, sin dudas, el proceso de toma de decisiones en futuros emprendimientos. Sin embargo resulta imperioso definir simultáneamente algunas *iniciativas básicas*, tales como:

- Retrasar el frente de ocupación y evitar la edificación compacta.
- Imponer a las construcciones distancias mínimas de alejamiento desde la zona costera de riesgo.
- Exigir estudio de impacto ambiental para todo proyecto que incluya el trazado de avenidas o caminos costeros.
- Evitar la apertura de nuevas calles hacia el mar a través de las dunas litorales.
- Reglamentar la altura de la edificación en relación con la distancia al mar: a menor distancia-menor altura; lenta graduación hacia el interior.
- Circunscribir el acceso de vehículos a la playa a casos especiales.
- Evitar las playas de estacionamiento en lugares cercanos a la costa.
- Controlar el tránsito de vehículos todoterreno en la cadena dunaria.
- Evitar construcciones permanentes que mutilan el ancho de la playa.
- Evitar la degradación o destrucción de elementos característicos del litoral (dunas y vegetación autóctona)
- Procurar la reconstrucción de las dunas y su vegetación.

Como corolario de este análisis parcial, es preciso destacar tanto la necesidad de una gestión integrada para la franja costera que contemple aspectos del medio físico-natural, del aparato económico-productivo, del soporte normativo legal como de los intereses del conjunto de la sociedad. El largo plazo debe guiar las propuestas para que las generaciones futuras tengan asegurada, de hecho, lo que de derecho supone la conservación de su patrimonio.

Cualquier estrategia de intervención debe tener presente que *la zona costera es un bien público, un recurso frágil, singular desde el punto de vista territorial y de indudable valor, al que hay que proteger.*

### 3.2. Sierras de Cura Malal y Bravard (Sistema de Ventania) ¿potencialidades suficientes para el desarrollo del turismo natural-cultural?

El sistema de Ventania forma un arco con disposición noroeste-sursudeste que se extiende desde la depresión tectónica de Carhué-Vallimanca al norte con manifestaciones hacia el sur sobre la llanura circundante hasta la fosa de la bahía Blanca.

Presenta crestas redondeadas con profundos valles angostos, denominados localmente "abras". Sus pliegues son claramente visibles, con pendientes occidentales abruptas debido, probablemente, a razones de índole estructural, tal como lo expresa en sus descripciones *Harrington (19459)* cuando dice: "... probablemente estas sierras constituyen el ejemplo más puro de estructura de plegamiento conocido en el mundo...".

Se estima que los cordones tienen su origen en importantes y extensos depósitos plegados, posiblemente, en los tramos finales del Paleozoico sufriendo nuevos procesos de levantamiento durante el Mesozoico y Terciario.

En este marco, se ubican los cordones de Cura Malal y Bravard ocupando la porción occidental del Sistema. Su geomorfología se completa con la extensa llanura adyacente y un

importante número de arroyos que divergen desde los cerros en búsqueda de las lagunas Encadenadas del Oeste.

Todo el sector queda incluido en la faja zonal de clima templado: subhúmedo húmedo (*Capelli, A. et al 1995*). Sin embargo, a los efectos del estudio, es preciso aclarar que la topografía del sistema ejerce influencia sobre el mismo a través de un acentuado enfriamiento regional con inviernos fríos y riesgo de heladas tardías en primavera determinando, de tal forma, una variación local del clima en función de la altitud, exposición y pendientes.

La descripción realizada sólo pretende constituirse en la base indispensable para comprender la heterogeneidad paisajística y por ende, ecosistémica generada a partir de una geomorfología y microclimas singulares en un espacio relativamente pequeño.

Los atributos mencionados, lejos de comportarse como un aspecto negativo para la apropiación humana del espacio, han sido motivo de atracción desde tiempos remotos, hecho corroborado a través de los signos culturales - pinturas rupestres - existentes en grutas y cavernas, hoy valorados como patrimonio cultural a conservar.

En cuanto a la diversidad ecosistémica aludida se resalta que las comunidades bióticas pertenecientes a los diferentes biotopos desarrollan estrategias variadas y específicas para hacer frente tanto a variaciones climáticas, diurnas y/o estacionales, como a una topografía sumamente accidentada.

En tal sentido, es de destacar la fragilidad intrínseca de cada ecosistema producto de procesos evolutivos y adaptaciones especiales para sobrevivir en ambientes muchas veces hostiles, los cuales muestran hoy un encanto paisajístico peculiar - fundado principalmente en las condiciones naturales exhibidas - que es muy apreciado por ciertos sectores del turismo en especial aquellos demandantes no sólo de sitios tranquilos sino también de paisajes bellos.

Reconociendo que el área objeto de análisis ha sido recientemente incorporada a la actividad turística y que, en razón de ello, aún muestra ambientes cuasi naturales parece oportuno plantear la utilización y explotación de sus recursos bajo los principios elementales del desarrollo sustentable.

En tal caso, la identificación de unidades de paisaje teniendo en cuenta los factores estructuradores más relevantes (Tabla II), junto a la determinación de su valoración patrimonial (Tabla IV) y la comunicación de los resultados a través de una carta temática síntesis (Figura 3) permite contar con unidades operativas de intervención para impulsar acciones tendientes a mantener la armonía entre funciones ecosistémicas y actividades humanas.

Dentro de este marco, un análisis somero de los primeros resultados obtenidos autoriza a afirmar que se individualizan, al menos, cuatro unidades de paisaje claramente diferenciadas, las cuales muestran potencialidades y restricciones para el desarrollo del turismo como actividad alternativa en un distrito tradicionalmente agrícola-ganadero. Destacándose además, como poseedora de un valor patrimonial ambiental muy alto la correspondiente al "pedemonte, valles y abras". En consonancia con estas apreciaciones y debido a la singularidad de los paisajes, su valor patrimonial y el frágil equilibrio ecosistémico detectado en casi todas las unidades se advierte sobre la necesidad de realizar rápidamente un estudio de capacidad de carga turística, en especial, para los sectores con alto valor patrimonial natural en

función de preservar la resiliencia de los sistemas naturales con adaptaciones específicas para disfrute de generaciones futuras.

### 3.3. Reserva Natural Provincial Laguna Chasicó Unidades de paisaje como espacios operativos

La Laguna Chasicó, ubicada en el Partido de Villarino a 25 metros por debajo del nivel del mar y con aproximadamente 6050 hectáreas de superficie, constituye el receptor final de una cuenca hídrica que nace en la Sierra de Cura Malal (Sistema de Ventania). Es además el mayor atractivo turístico regional en cuanto centro de pesca deportiva. Sin embargo, existen otros factores para el desarrollo del turismo, tales como: la existencia en sus cercanías de una formación vegetal monoespecífica de caldén (*Prosopis caldenia*), única en la provincia de Buenos Aires; la permanencia de ciertas especies de la fauna nativa calificadas como vulnerables a nivel provincial, otras en peligro de extinción y algunas exclusivas del caldenal. Asimismo, el hallazgo de restos arqueológicos y paleontológicos en cercanías del arroyo homónimo permite la reconstrucción e interpretación paleoambiental del suroeste bonaerense.

El problema fundamental hoy, en el área, es la ausencia de racionalidad ambiental y cultural en el emprendimiento de actividades para el aprovechamiento del recurso.

Asimismo, conviene recordar que el estado cuasi natural exhibido por las unidades paisajísticas correspondientes a la laguna y su entorno opera como testimonio del comportamiento de la naturaleza durante cientos de años, atributo que las convierte - en contraposición con la crisis ambiental existente en los grandes centros urbanos - en el destino deseado por un creciente número de personas en búsqueda de sitios y actividades diferentes a las habituales para gozar del tiempo libre. Esta particularidad del atractivo puede causar la pérdida del mismo como resultado de una intensidad de uso no controlada y, en ocasiones, no acorde con su capacidad de carga debido al importante número de turistas que lo visitan, sobre todo, durante los "fines de semana largos", quienes contribuyen con sus actitudes a la progresiva degradación del principal recurso: la laguna.

Con el propósito de evitar o minimizar efectos nocivos sería aconsejable incorporar la gestión ambiental en el proceso de toma de decisiones para futuros proyectos de desarrollo incluyendo tácticas de manejo conformes a cada situación.

En este contexto, sería oportuno además, ingresar en tal proceso, los principios básicos del *desarrollo sostenible*, los cuales conducen a "...mejorar la calidad de vida sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sostienen, entendiendo por capacidad de carga de un ecosistema la capacidad que tiene para sustentar y mantener al mismo tiempo la productividad, adaptabilidad y capacidad de renovabilidad de los recursos". (Venturini, E. 1998:31).

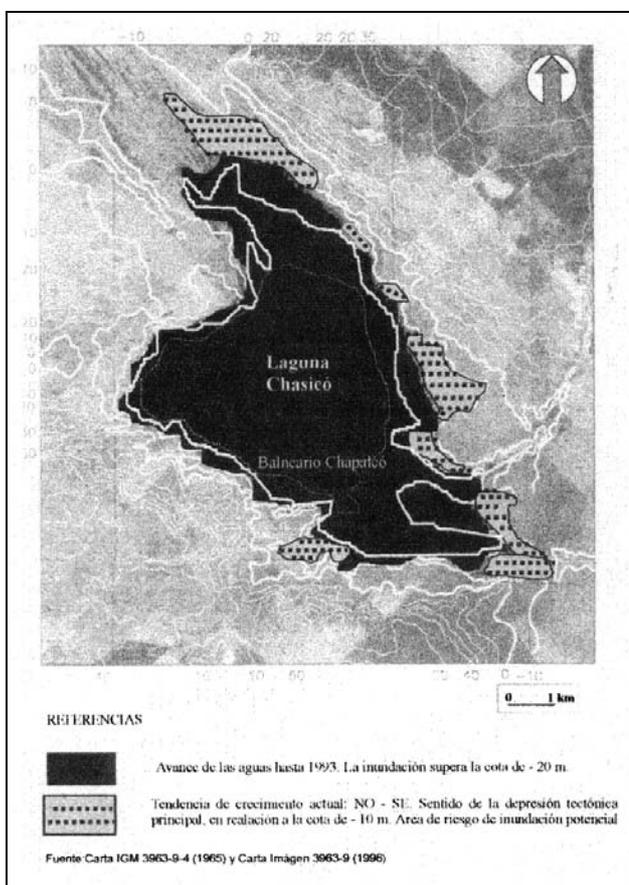
La reciente declaración de "Reserva Natural de Objetivos Definidos Mixtos" para Laguna Chasicó y sectores adyacentes implica que dicho espacio está bajo las condiciones establecidas por la Ley Provincial 10.907 de 1990. En consecuencia la gestión de futuros usos y acciones se halla limitada a lo establecido por la Ley de referencia, por ello resulta imperioso, en función de los emprendimientos existentes y proyectados, ordenar aquellas cuestiones vinculadas con el turismo en general, el desarrollo urbano, la tenencia de la tierra y las visitas educativas, entre las más importantes.

En tal sentido, la identificación de unidades de paisaje (Tabla III) y su valor como "*recurso ambiental*" individual (Tabla IV)

- en consonancia con la conceptualización elaborada por Venturini, E. (1998: 52) que dice: "... el recurso ambiental es el conjunto de bienes naturales y culturales (materiales e intangibles)... ( ) que poseen un valor excepcional como capital social a proteger y conservar para el goce actual y futuro y para reafirmar la identidad de las sociedades vinculadas" - además de la comunicación mediante la cartografía respectiva (Figura 4) permiten contar con la herramienta básica necesaria para iniciar el proceso.

Otra carta fundamental, en este caso específico, es la que señala las áreas con riesgo de inundación (Figura 5) a efectos de evitar disfuncionalidades y daños como los ocurridos en la década de 1990, cuando se debió abandonar un importante proyecto turístico a causa del ingreso inusitado de agua al sistema el que produjo el crecimiento de la laguna con los consecuentes perjuicios sobre la infraestructura existente y modificación de las propiedades originales del cuerpo de agua.

**FIGURA 5: AREA DE RIESGO DE INUNDACIÓN EN LAGUNA CHASICÓ**



Llegado este punto de la investigación resulta necesario advertir que para impulsar un proceso de gestión ambiental en el área es indispensable incorporar principios básicos de ordenación, en este caso encuadrados dentro de las normas establecidas por la Ley de Reservas Naturales, los cuales deben constituirse en el punto pie inicial para encarar dicha tarea. En tal sentido se establecen al menos dos situaciones espaciales peculiares a tener en cuenta:

- Áreas reconocidas como bienes patrimoniales de alto valor para su conservación.
- El sector urbanizable con capacidad para la recepción y permanencia de turistas y habitantes estables.

En consonancia con lo expuesto, las intervenciones espaciales a llevar a cabo deberán regirse tanto por los postulados esenciales de la racionalidad ambiental como por la información proporcionada por las unidades paisajísticas y el mapa de riesgo de inundación.

Como corolario de este estudio parcial, se puede afirmar que los espacios con mayor valor patrimonial a ser protegidos sólo permiten realizar, sin limitaciones, actividades relacionadas con la conservación, mientras que las vinculadas con el turismo exigen restricciones o, de lo contrario, estudios de impacto ambiental previo a su implementación. Se repara, por otra parte que, la unidad menos frágil a las acciones humanas es la "formación medanosa con predominio de ganadería extensiva", y por lo tanto, hacia donde deberían orientarse todas aquellas actividades, si bien necesarias, agresivas para el ambiente según los principios básicos de la conservación.

En función del análisis efectuado, el marco operativo para las intervenciones debería contemplar entonces, tanto la *protección del patrimonio natural como la conservación del patrimonio paleontológico y arqueológico y el desarrollo controlado del medio urbanizado*. En este último caso, el diseño de un esquema de ordenamiento ambiental urbano requiere, en una primera instancia, el control concertado de loteos, la incorporación de sistemas adecuados para el tratamiento de efluentes líquidos y residuos sólidos y la introducción de infraestructura y equipamiento social. En forma paralela, sería conveniente delinear pautas que regulen la apertura indiscriminada de tierras a la ocupación urbana, la organización y localización de sitios para la estadía de turistas y/o grupos escolares visitantes y la creación de un centro de interpretación ambiental donde se encuentren desarrolladas las diferentes fases comportamentales y funcionales del sistema natural Laguna Chasicó. Para lograr estos objetivos en función de un verdadero desarrollo sustentable de la Reserva todas las acciones descriptas deben estar coordinadas dentro de un plan de desarrollo urbano-ambiental integral.

## 5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BOVET PLA, M. Y RIVAS VILAS, J., 1992.  
Clasificación por dominancia de elementos.  
*En Bolos, M. (Directora) Manual de Ciencia del Paisaje. Masson S.A. Barcelona. España. 69-80.*
- CAPELLI, A. Y CAMPO, A., 1995.  
La transición climática en el sudoeste bonaerense.  
*SIGEO N° 5. Serie Monografías Dpto de Geografía UNS. Bahía Blanca.*
- GÓMEZ OREA, D.; 1994.  
Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el medio físico.  
*Editorial Agrícola Española, S. A. Madrid. España. 237 pp.*
- GOMEZ MENDOZA, J. Y OTROS, 1999.  
Los paisajes de Madrid: naturaleza y medio rural.  
*Editorial Alianza y Fundación Caja Madrid. España. Pp 301.*
- HARRINGTON, H. J., 1947.  
Explicación de las Hojas Geológicas 33m y 34m. Sierras de Cura Malal y Ventana.  
*Servicio Nacional de Minería y Geología. Boletín 68: 1-43.*
- TOLEDO, V., 1995.  
Tres problemas en el estudio de la apropiación de los recursos naturales y sus repercusiones en la educación.  
*En Leff, E. (Comp.) Ciencias Sociales y Formación Ambiental. Gedisa/UNAM/PNUMA. Madrid. 157-178.*
- VENTURINI, E., 1998.  
Utilización turística sustentable de los espacios naturales.  
*Revista Aportes y Transferencias. Año 2. Vol. 2. Centro de Investigaciones Turísticas. FCE y S. UNMdP. 29-44.*
- ZINGER, A. S. Y OTROS, 1999.  
Unidades geoespaciales: un instrumento para la investigación y la enseñanza en Geografía.  
*Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas (ISSN 0717-3946). Santiago de Chile. 455-463.*

## 4. CONCLUSIONES

A partir de los casos de estudio presentados en esta investigación se observa que:

- Las tres áreas constituyen ecosistemas frágiles que exhiben caracteres y funciones adaptativas especiales como resultado del ensayo de múltiples estrategias evolutivas para mantener la estabilidad y, en consecuencia sobrevivir en ambientes inestables.  
Cada una de ellas y, aún sus diferentes unidades de paisaje, presentan potencialidades y restricciones específicas que actúan como condicionantes de las actividades humanas.
- La apropiación del espacio - esencialmente en dos de los casos analizados: ecosistema costero de Monte Hermoso y Laguna Chasicó - se produjo en forma espontánea a partir de la valoración de ciertas potencialidades ambientales peculiares, sin un adecuado conocimiento sobre la función cumplida por los sistemas naturales generándose distintos grados de deterioro de los mismos y conflictos asociados cuya resolución requiere de inversiones de magnitud variable.
- La identificación de unidades de paisaje complementadas con la determinación de: su valor patrimonial natural y/o cultural y los riesgos naturales o antrópicos a los que cada una de ellas está sujeta, permite - a través de la elaboración de las cartas sintéticas respectivas - establecer la base desde la cual diseñar políticas de manejo para lograr un aprovechamiento adecuado de los recursos que sustentan las actividades humanas.

Por último, estamos en condiciones de afirmar que del *espacio contemplado al espacio consumido* se observan múltiples transformaciones, en ocasiones, generadoras de sucesivos conflictos ambientales los cuales sólo podrán ser abordados convenientemente cuando se conozca e interprete la importante función que cumplen los sistemas sustentadores como insumos del desarrollo, los riesgos a los que se hallan expuestos y se introduzca en futuros proyectos el concepto de conservación de los valores patrimoniales.



# Deslizamiento rotacional en el Cerro Inti Huasi

## Departamento Pringles, provincia de San Luis

Sales, Daniel <sup>1</sup> - Origlia, Daniel <sup>2</sup> - Yenes Ortega, Mariano <sup>3</sup> - Gardini, Carlos <sup>1-4</sup>

### Resumen

*El deslizamiento rotacional del Cerro Inti Huasi se ha desarrollado en una sucesión de rocas volcánicas y metamórficas, a partir de grietas de tracción localizadas principalmente en brechas volcánicas de avanzado grado de alteración y resistencia a la compresión simple baja a muy baja. Se observaron diferentes comportamientos en los flancos izquierdo y derecho del deslizamiento. Los bloques caídos de las rocas volcánicas fueron basculados generando una pequeña cuenca endorreica. En la zona terminal del deslizamiento se observó la acumulación de bloques andesíticos en un frente de 12 metros de altura y un ancho aproximado de 40 metros, que fueron deslizados aproximadamente 10 metros de su sector original como consecuencia del arrastre del material de cabecera. Se observaron grietas secundarias que afectan a las metamorfitas con una dirección perpendicular a la dirección del deslizamiento. El material transportado cubre una superficie aproximada de 10.000 m<sup>2</sup>. Se realizó un levantamiento topográfico en detalle del área de estudio, lo que permitió posteriormente realizar un análisis de estabilidad retrospectiva y residual del deslizamiento mediante el método de Bishop Simplificado.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar el deslizamiento del Cerro Inti Huasi distante aproximadamente a 100 kilómetros al NO de la ciudad Capital de San Luis y próximo a la localidad de La Carolina, Departamento Pringles (Fig. 1a).

Este deslizamiento es uno de los más importante de la provincia de San Luis, y aunque no afecta a obras de infraestructura alguna, se encuentra adyacente a la Gruta de Inti Huasi, reconocida por su patrimonio arqueológico y situada en la ladera opuesta a la deslizada.

Los estudios geológicos llevados a cabo en el área de estudio, están relacionados con la sierra Grande de San Luis, que está conformada por un basamento ígneo-metamórfico de edad Precámbrica a Paleozoico inferior (Kilmurray y Dalla Salda, 1977; Ortiz Suárez et al., 1992; von Gosen y Prozzi, 1998; Sims et al., 1998; Llambías et al., 1998). Posteriormente se formaron las rocas volcánicas del Complejo volcánico Traquítico - Andesítico de edad Terciaria (Llambías y Brogioni, 1981).

### 2. CARACTERIZACION GEOLÓGICA Y GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES

Los afloramientos que intervienen en el área del deslizamiento pertenecen a rocas metamórficas y volcánicas, además de cuerpos ígneos intrusivos y depósitos modernos (Fig. 1b).

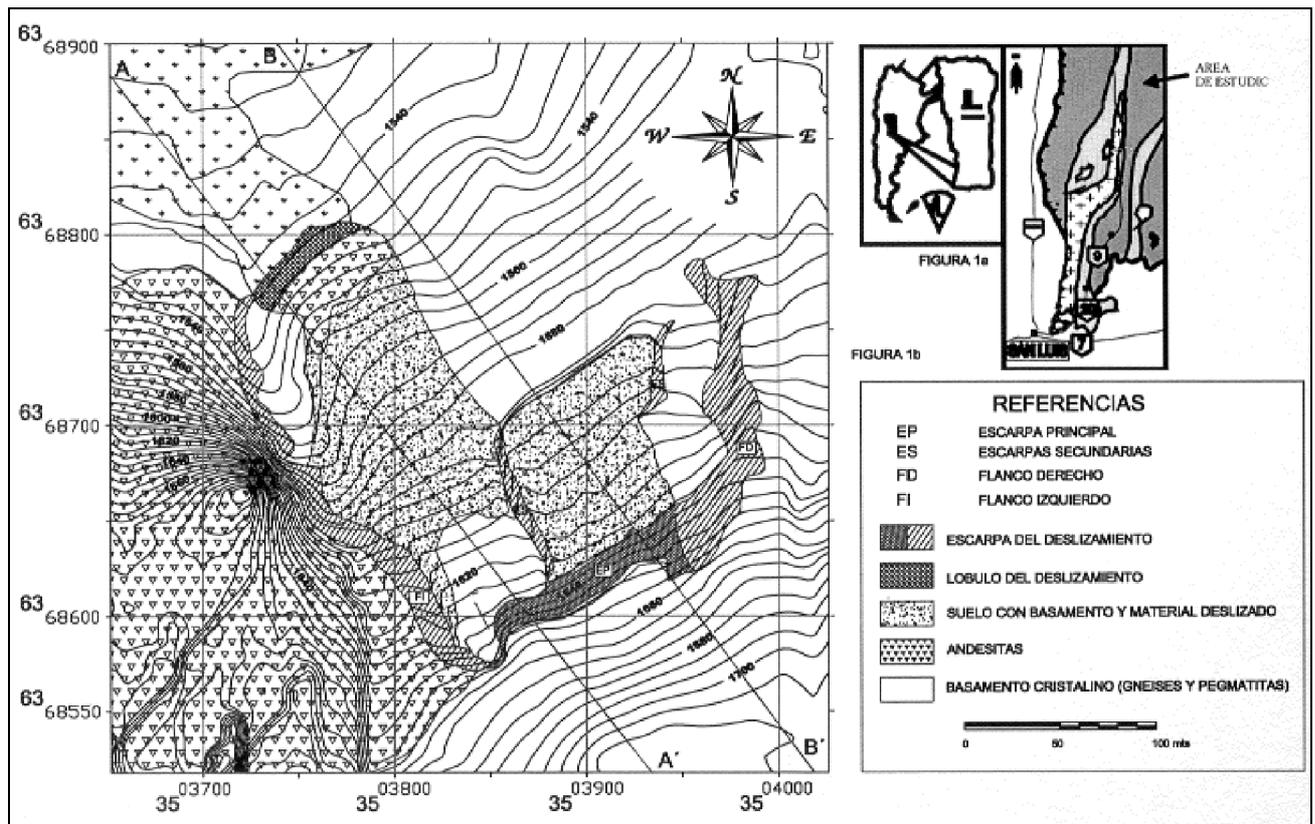
Las rocas metamórficas están representadas principalmente por gneises y en escasa proporción esquistos y anfibolitas que actúan como roca de caja de los cuerpos volcánicos.

Los gneises predominan arealmente con una foliación variable en dirección 265° a 315° e intensidad de buzamiento entre 35° y 46° SO. Tienen contacto neto con los afloramientos volcánicos y pegmatíticos.

Entregado: 13 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 12 de Setiembre de 2001

1. Universidad Nacional de San Luis, Departamento de Geología, Chacabuco 917, 5700 San Luis. e-mail: sales@unsl.edu.ar
2. Universidad Nacional de Río Cuarto, Departamento de Geología, Ruta 36 Km. 601, Río Cuarto, Córdoba.
3. Universidad de Salamanca, Departamento de Geología, Plaza de la Merced s/n 37008, Salamanca, España.
4. Conicet

FIGURA1: a) mapa ubicación, b) mapa geológico area de deslizamiento



Las rocas metamórficas en su conjunto presentan un importante grado de alteración, generando una resistencia al golpe del martillo media a baja y con un fracturamiento principal que coincide con la foliación predominante. En el sector de la escarpa secundaria tienen resistencia muy baja, con avanzado grado de degradación mecánica que genera una coloración rojiza a la roca (Fig. 2, punto A).

Los afloramientos andesíticos se presentan en bloques de diferentes tamaños en el sector de cabecera y punta del deslizamiento, y sobre el margen izquierdo del mismo. Del análisis de las discontinuidades se pueden diferenciar los siguientes parámetros geomecánicos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1977):

Si bien el tamaño de los bloques definidos por este sistema es variable, son muy abundantes los bloques menores a 1 m<sup>3</sup>.

Las brechas volcánicas afloran en el frente de arranque del deslizamiento y en un reducido afloramiento sobre la margen izquierda del mismo. Se pueden distinguir dos niveles diferentes.

El nivel inferior presenta una matriz andesítica con clastos no mayores de 4 centímetros, mientras que el nivel superior contiene bloques de hasta 40 centímetros de lado. En ambos casos la brecha tiene muy baja resistencia al golpe del martillo y se encuentra totalmente alterada (Fig. 2, punto B).

Por encima de las brechas se pueden observar depósitos estratificados de materiales de origen piroclástico.

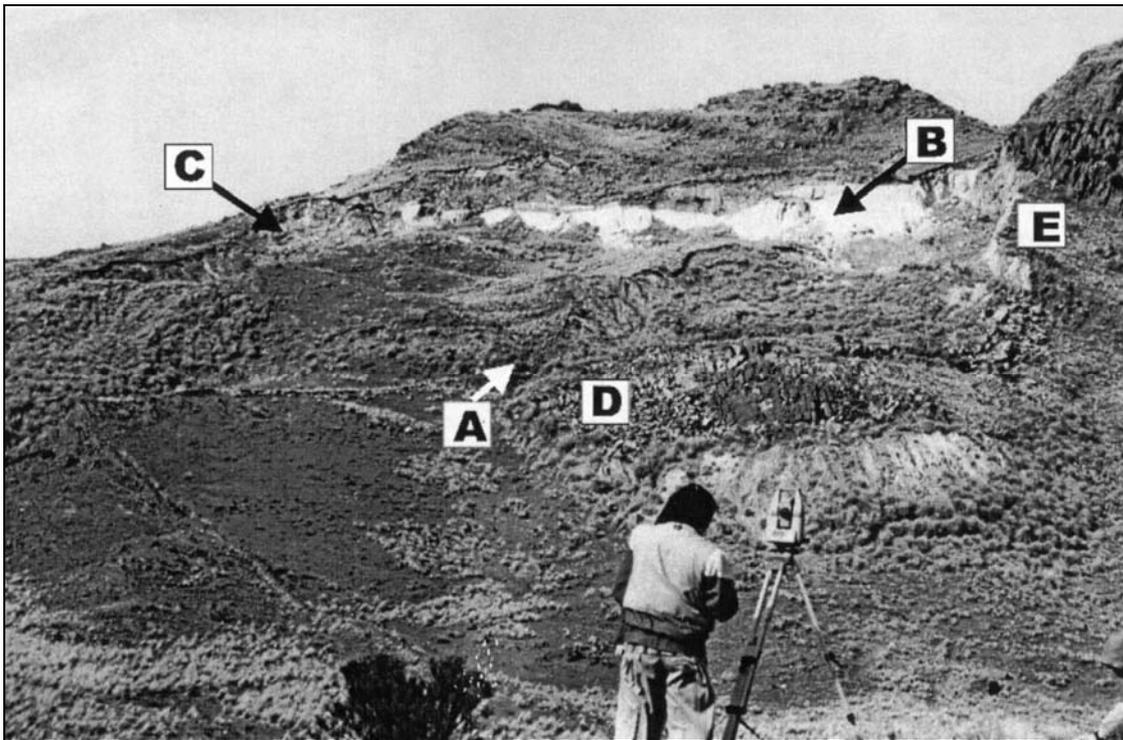
Las pegmatitas se encuentran en una reducida proporción en el área de estudio y afloran en la margen derecha del deslizamiento, en contacto neto con las metamorfitas y las brechas volcánicas. La roca se presenta maciza, sin alteración y con una resistencia a la compresión simple alta.

Por último, el Cuaternario está representado principalmente por depósitos coluviales y loessoides, que rellenan principalmente las zonas más bajas del área de estudio y cubren parcialmente en el sector del deslizamiento, a los materiales transportados.

TABLA 1: PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN ROCAS LÁVICAS DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA

PARAMETROS	Andesitas	Andesitas	Andesitas
Orientación	25°/42° NO	260°/72° SE	317°/ 71° NE
Espaciamiento	20 a 50 cm	50 a 60 cm	20 a 50 cm
Persistencia	media - alta (10 mts.)	media (4 mts.)	Media (2 mts.)
Rugosidad	media	media	media
Apertura	abiertas (2 milímetros)	abiertas (7 milímetros)	Abiertas (4 mm)
Relleno	no	no	no
Humedad	no	no	no

**FIGURA 2:** A) escarpa secundaria, B) escarpa principal (brechas volcánicas), C) flanco derecho (gneises y pegmatitas), D) afloramiento de bloques andesíticos, E) flanco izquierdo (andesitas)



### 3. DESCRIPCIÓN DEL DESLIZAMIENTO

El deslizamiento del Cerro Inti Huasi ocurrió en Octubre del año 1978 según un informe expeditivo realizado por *Blasco y Laborda (1979)*. Comentarios recogidos de los pobladores del lugar coinciden en que se produjo en una época de abundantes precipitaciones pluviales.

El deslizamiento se genera a partir de grietas de tracción localizadas principalmente en brechas volcánicas, de resistencia a la compresión simple muy baja y avanzado grado de alteración, que ocupan actualmente el sector de la escarpa principal o cabecera del deslizamiento. Como consecuencia de la inestabilidad del macizo rocoso a partir de la generación de las grietas, se produjo la caída del material que afectó a los afloramientos lávicos y metamórficos adyacentes, los que acompañan como material deslizado, generando la forma típica del deslizamiento con un sector de coronación o escarpa principal y ambos flancos laterales. El sentido del deslizamiento es en dirección NO y afecta a los materiales que afloran de diferentes maneras, tal como se observan en ambos flancos (Fig. 2).

En la escarpa principal, la caída de los bloques volcánoclasticos produce un plano de falla subvertical, que actualmente tiene una longitud deslizada entre 6 y 20 metros, que varía en todo el tramo de la escarpa principal de 120 metros de longitud aproximada (Fig. 1b, Fig. 2, punto B).

En el sector central hacia el flanco derecho, se puede observar que los materiales deslizados (brecha volcánica) generaron una pequeña cuenca endorreica, producto del basculamiento de los bloques caídos que fueron retenidos por afloramientos metamórficos de mayor resistencia y posteriormente cubiertos por depósitos modernos con una importante cobertura vegetal (fig. 1b).

**FIGURA 3:** GRIETAS DE TRACCIÓN QUE AFECTAN A ROCAS METAMÓRFICAS



En la parte superior de la escarpa en la zona de cabecera, se observaron reactivaciones de deslizamientos superficiales sin la presencia de grietas de tracción y que afectan a rocas metamórficas muy alteradas de baja resistencia y a depósitos aluviales. En el mismo sector, pero en el límite inferior del deslizamiento, se observaron dos grietas de tracción paralelas entre sí y con una distancia entre ellas de 9 metros que afectan a las rocas metamórficas. La dirección de las grietas es de  $110^\circ$  y con inclinación vertical a subvertical. Poseen una apertura máxima de 40 centímetros, en un recorrido de 9.20 metros y una profundidad observable de 2.60 metros (fig. 3).

Hacia el flanco izquierdo, la escarpa principal presenta su máxima expresión. Es la zona de mayor volumen de material transportado, producto de una pronunciada alteración y degradación mecánica del macizo rocoso. En este sector, el deslizamiento fue generado por una componente de movimiento rotacional y traslacional. El área deslizada está limitado por el flanco izquierdo y una escarpa secundaria que actúa como límite derecho. La exposición de la escarpa secundaria, muestra afloramientos lávicos en su sector superior, y metamórficos en el sector medio a inferior de la escarpa, con una potencia máxima de 2,5 metros. Ambas litologías se encuentran con alto grado de degradación mecánica, de coloración rojiza y sin la presencia de material volcánico. Por encima de la escarpa muestra depósitos coluviales de hasta 70 centímetros de potencia. Hacia el tramo inferior del área deslizada, se preservan en bloques las brechas volcánicas caídas.

La remoción del material hacia la zona de menor altitud desestabiliza un afloramiento andesítico que se antepone a la masa deslizada, provocando el transporte de sus bloques 10 metros de su sector original. Este afloramiento presenta un frente de 12 metros de altura y un ancho aproximado de 40 metros, en donde se caracteriza el estilo de acomodamiento de sus bloques con tamaños de hasta 10 metros cúbicos (Fig. 2, punto D).

Estos bloques están en contacto con depósitos terminales del deslizamiento, constituidos principalmente por el mismo material metamórfico de la escarpa secundaria, compuestos por partículas finas que contienen clastos angulares y de diferentes

tamaños de gneises, distribuidos aleatoriamente. Estos depósitos afloran en un ancho coincidente con el afloramiento de andesitas, con longitud de 20 metros en la dirección de la masa movilizada y una potencia que varía entre 2 y 3 metros, siendo el sector más terminal del deslizamiento observándose su disposición radial (Fig. 2).

El flanco derecho tiene una longitud aproximada de 140 metros y es menor que el flanco izquierdo. Los afloramientos afectados por el material deslizado están constituidos por pegmatitas y gneises. El volumen de material deslizado en este sector es de menor proporción que los del flanco izquierdo y ello se debe a la litología y resistencia de los materiales (Fig. 1b).

El flanco izquierdo se preserva a través de una longitud de 250 metros, paralelo a la dirección del deslizamiento y esta constituido principalmente por andesitas con resistencia al golpe del martillo medio y parcialmente alterada (Fig. 2, punto E). La altitud varía entre 3 y 5 metros.

#### 4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se ha realizado un análisis retrospectivo de la estabilidad de la ladera afectada mediante el Método de Bishop Simplificado (1955), a partir de una estimación razonable de las características resistentes de los materiales involucrados en el fenómeno.

Para llevarlo a cabo se ha utilizado el programa informático PCSTABL 6.0 de la Universidad de Purdue (USA), que realiza un análisis de estabilidad de taludes en dos dimensiones mediante métodos de equilibrio límite.

El estudio de estabilidad se ha realizado en dos cortes paralelos de dirección NO-SE (Fig. 1b). La geometría del área deslizada es diferente en cada uno de los dos cortes; así en el corte A-A' (Fig. 4) la superficie de deslizamiento tiene una gran extensión y, consecuentemente, existe una gran acumulación de material deslizado; mientras que en el corte B-B' (Fig. 5) la superficie de deslizamiento y el material deslizado tienen una menor extensión. Esta diferencia geométrica posiblemente se deba a que el tipo de material involucrado en el deslizamiento es diferente en cada uno de los flancos del deslizamiento.

FIGURA 4: ESQUEMA DEL CORTE A-A'

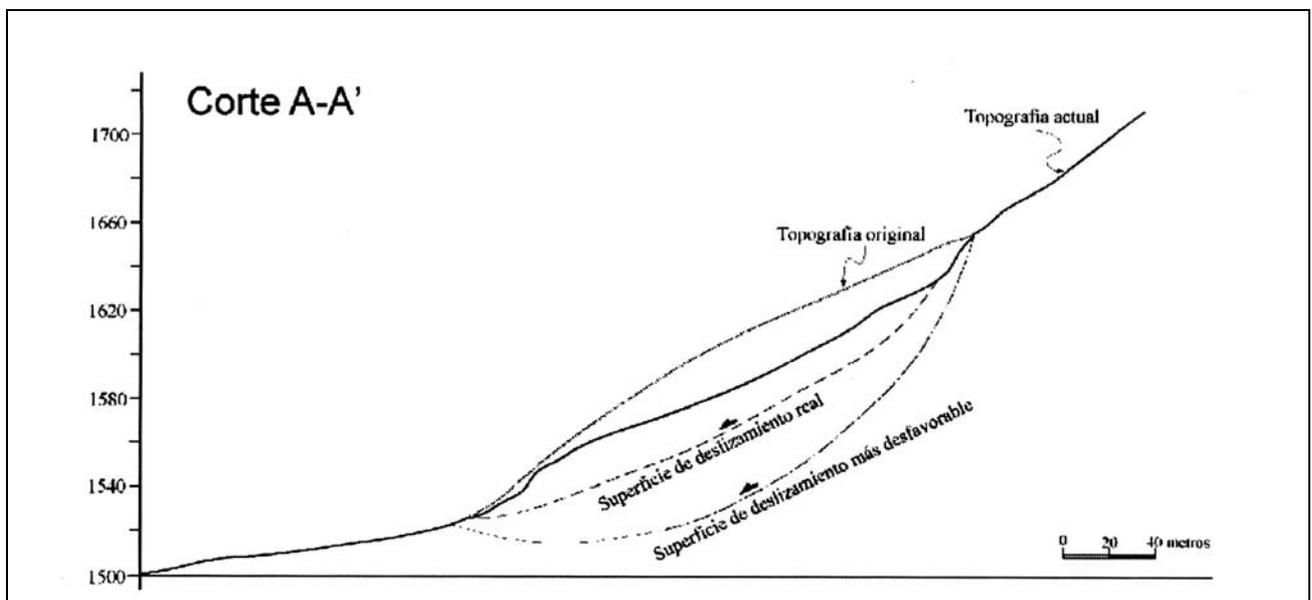
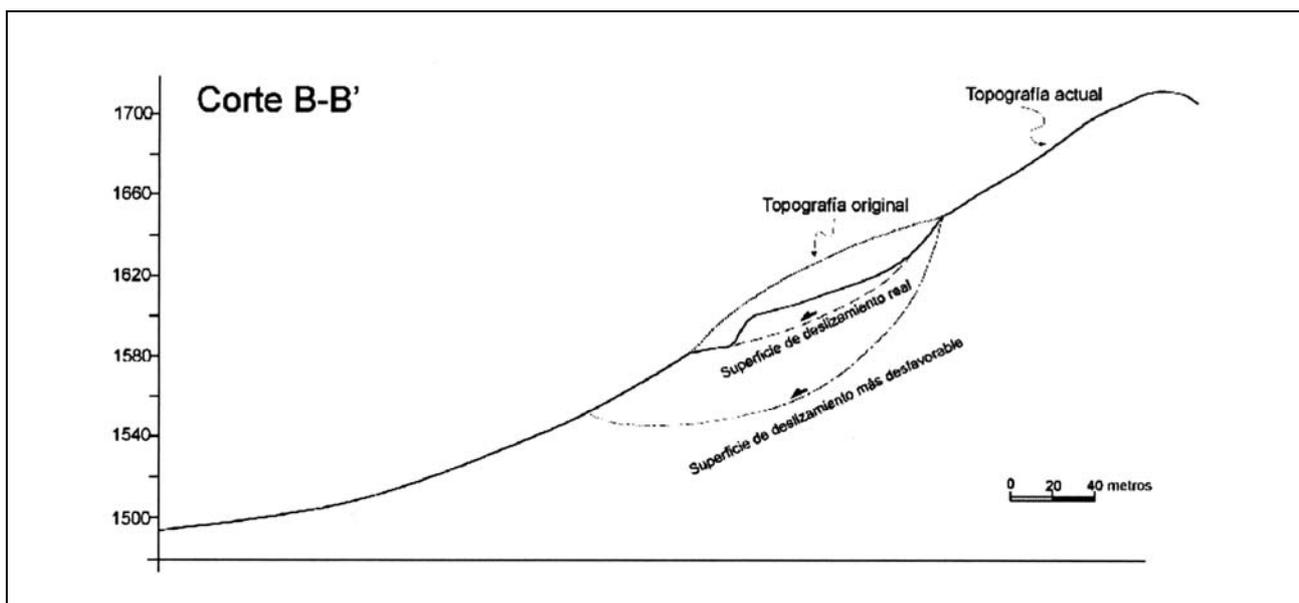


FIGURA 5: ESQUEMA DEL CORTE B-B'



En cada uno de los cortes se han realizado dos tipos de análisis:

**Análisis retrospectivo:** a partir de una reconstrucción de la geometría de la ladera original (previa al deslizamiento), del conocimiento de la existencia de grietas de tracción en la cabecera del deslizamiento y partiendo del hecho de que todo el material debía estar saturado en el momento en que se produjo el deslizamiento, se han obtenido unos parámetros resistentes medios (cohesión efectiva y ángulo de rozamiento interno efectivo) para todo el macizo rocoso.

**Análisis residual:** a partir de la geometría actual del área deslizada, de los parámetros resistentes obtenidos en el análisis retrospectivo y de unos parámetros resistentes residuales supuestos, se analizó la posibilidad de que se produzcan reactivaciones en las superficies de deslizamiento.

**Corte A-A'**

Para realizar el análisis retrospectivo es necesario realizar una reconstrucción razonable de la ladera original previa al deslizamiento, como se puede ver en la figura 4. Para ello se determinó una serie de parámetros:

**Peso específico:** se ha supuesto un peso específico medio para todo el macizo rocoso en esta zona de 26 kN/m<sup>3</sup>. Es un valor normal para macizos formados fundamentalmente por brechas y andesitas altamente alteradas.

**Peso específico saturado:** se ha supuesto un valor de 28 kN/m<sup>3</sup>.

**Parámetros resistentes:** para obtener estos parámetros se ha estimado que la calidad del macizo según la Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979) varía entre la Clase IV y V; es decir, el valor del RMR puede variar entre 20 y 40. Para esta clase de macizos Bieniawski propone los siguientes parámetros resistentes: cohesión efectiva 98 kN/m<sup>2</sup> y ángulo de rozamiento interno efectivo de 15°.

**Grado de Saturación:** se han supuesto condiciones de humedad extrema (Sr = 100%). Esto se justifica por el hecho de que en este tipo de deslizamiento, se desencadenan en épocas de fuertes lluvias que originan la saturación de los materiales,

provocando un aumento considerable de las presiones intersticiales dentro del macizo rocoso.

Con todos estos condicionantes se ha analizado la superficie real del deslizamiento (Fig. 4), obteniéndose un factor de seguridad de 0,979; es decir muy próximo a la unidad. Esto indica la validez de los parámetros utilizados en el análisis:

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$	$\phi'$
26	28	98	15

Otro estudio realizado es la determinación de la superficie de rotura circular más desfavorable; es decir, la que genera un factor de seguridad más bajo. Esta superficie no tiene por que coincidir con la superficie real.

Para hacer este análisis se han utilizado los parámetros obtenidos en el estudio anterior. Se han estudiado 100 superficies de rotura potenciales, con la única limitación de que todas ellas tenían su zona de salida en la cabecera real del deslizamiento, ya que se ha comprobado la existencia de grietas de tracción en esta zona, lo que debió condicionar la generación del deslizamiento.

De las 100 superficies analizadas, la más desfavorable es la dibujada en la Figura 4 que ha dado un factor de seguridad de 0,836. Esta superficie no coincide con la superficie real del deslizamiento (Fig. 4). El hecho de que el deslizamiento real se produjera por un plano más superficial que la superficie modelada, puede indicar la existencia de una alteración superficial del macizo rocoso que favorezca la generación del deslizamiento a favor de la superficie de contacto entre el material alterado y no alterado.

Finalmente se ha realizado un análisis residual de la ladera a partir de la geometría actual y de los siguientes parámetros:

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$	$\phi'$
Macizo rocoso	26	28	98	15
Material deslizado	28	28	50	13

Con estos parámetros y en condiciones de total saturación se ha obtenido un factor de seguridad para la superficie de deslizamiento actual de 0,982. Esto indica que la situación actual del material deslizado en cuanto a geometría y parámetros resistentes residuales, hacen que las posibles oscilaciones del nivel freático en la zona, como consecuencia de fuertes lluvias, sean suficientes para hacer que el factor de seguridad se reduzca y se puedan producir reactivaciones en la superficie de deslizamiento original o en otras asociadas.

#### Corte B-B'

En este corte se ha seguido la misma metodología que en el corte anterior. Así, en primer lugar, se ha realizado una reconstrucción de la geometría original de la ladera (Fig. 5). Se utilizaron los siguientes parámetros:

Peso específico: en este sector del deslizamiento se observa una mayor abundancia de gneises altamente fracturados y, en algunos casos, alterados. Para estos materiales se ha estimado un peso específico medio de 24,5 kN/m<sup>3</sup>.

Peso específico saturado: se ha supuesto un valor de 27 kN/m<sup>3</sup>.

Parámetros resistentes: en este caso también se ha estimado un valor del RMR variable entre 20 y 40. Sin embargo, en este sector se utilizará un valor de la cohesión más bajo debido al tipo de litología dominante. Así los parámetros resistentes utilizados han sido: cohesión efectiva 70 kN/m<sup>2</sup> y ángulo de rozamiento interno efectivo de 15°.

Grado de saturación: igual que en el caso anterior se ha supuesto un grado de saturación del 100%.

En estas condiciones, la superficie real del deslizamiento (Fig. 5) ha proporcionado un factor de seguridad de 1,098; es decir, muy próximo a la unidad, lo que confirma la validez de los parámetros utilizados en el análisis.

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$	$\phi'$
24,5	27	70	15

Por otro lado, la superficie más desfavorable en esta zona, representada en la Figura 5, presenta un factor de seguridad de 0,798. En este caso la superficie más desfavorable también tiene una profundidad mayor que la superficie real.

Finalmente, para el análisis residual se han utilizado los siguientes parámetros:

## 6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BANDINI, P. Y SALGADO, R., 1999.

PCSTABL 6.0 for Dos, User's Manual.

Purdue University, U.S.A., 183 pág.

BLASCO, J. Y LABORDA, M., 1979.

Inspección expeditivo,

Inédito. San Luis

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1977.

Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.

Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, Document N° 4.

KILMURRAY, J. Y L. DALLA SALDA, 1977.

Caracteres estructurales y petrológicos de la región central y sur de la sierra de San Luis.

Revista Centenario del Museo de La Plata, 3:167-178.

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$	$\phi'$
Macizo rocoso	24,5	27	70	15
Material deslizado	24,5	28	30	13

Con estos parámetros y en condiciones de humedad extrema, se ha obtenido para la superficie actual del deslizamiento un factor de seguridad de 1,067.

## 5. CONCLUSIONES

El deslizamiento del cerro Inti Huasi se generó en el contacto entre un basamento ígneo-metamórfico y material volcánico de edad terciaria mediante componentes de movimientos rotacional y traslacional.

El deslizamiento es generado a partir de grietas de tracción localizadas principalmente en los afloramientos volcánicos con avanzado grado de alteración y baja resistencia a la compresión simple. Esto generó una escarpa principal de 120 metros de longitud y un plano de falla subvertical con un desplazamiento variable entre 6 y 20 metros.

Hacia el flanco derecho, el deslizamiento presenta menor longitud y los bloques volcánicos caídos fueron retenidos por un basamento más resistente en la parte inferior del deslizamiento, sufriendo un basculamiento lo que originó una pequeña cuenca endorreica a través de una componente de movimiento rotacional.

Hacia el flanco izquierdo, el deslizamiento presenta mayor longitud, donde el material deslizado desestabiliza un afloramiento andesítico y provoca un desplazamiento de 10 metros mediante una componente de movimiento traslacional.

El resultado de la modelización arrojó un factor de seguridad de 0,979 para el corte A-A' y de 1,098 para el corte B-B. El estudio de 100 superficies de rotura potenciales, permite deducir que la más desfavorable es aquella cuyo factor de seguridad es de 0,836 (corte A-A') y 0,798 (corte B-B'). Esto indica, que en ambos casos el macizo rocoso se encuentra en un estado inestable y que cualquier modificación de los parámetros resistentes o geométricos podrían reactivar el deslizamiento. El deslizamiento real ocurrió en un plano más superficial que la superficie modelada, esto puede indicar la existencia de una alteración superficial del macizo rocoso que favoreció la generación del deslizamiento a favor de la superficie de contacto entre el material alterado y el no alterado, y entre el contacto basamento y material volcánico.

LLAMBIAS, E. Y N. BROGIONI, 1981.

Magmatismo Mesozoico y Cenozoico.

En: M. Yrigoyen (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Luis. Relatorio 8º Congreso Geológico Argentino: 101-115.*

LLAMBIAS, E., A. SATO, A. ORTIZ SUAREZ Y C. PROZZI, 1998.

The granitoids of the Sierra de San Luis.

In: Pankhurst, R.J. & Rapela, C.W. (eds): *The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications, 142:325-341.*

Ortiz Suarez, A., Prozzi, C. y Llambias, E., 1992.

Geología de la parte sur de la Sierra de San Luis y Granitoides asociados, Argentina.

*Estudios Geológicos, 48: 269-277.*

SIMS, J.P, IRELAND, T.R., CAMACHO, A., LYONS, P., PIETERS, P.E., SKIRROWS, R.G., STUART-SMITH, P.G. & MIRÓ, R., 1998.

U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. implications for the Proto-Andean margin of Gondwana.

En: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds.) *The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications, 142: 259-281.*

VON GOSEN, W. Y PROZZI, C., 1998.

Structural evolution of the Sierra de San Luis (Eastern Sierras pampeanas, Argentina): implications for the Proto-Andean margin of Gondwana.

En: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds.) *The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications, 142: 235-258.*



# Carta de ocupación de la tierra y zonificación preliminar de la porción inferior de la cuenca del arroyo Pozanjón del Norte

Cerro Colorado, Córdoba

Schwindt, G. - Argüello, L.

## Resumen

*Las comunidades vegetales del área de amortiguamiento de la Reserva Cultural-Natural Cerro Colorado evidencian en su conformación el impacto antrópico actual y pasado. Se analiza el estado actual de la vegetación y su rol en la capacidad productiva y de regulación ambiental en unidades productivas ubicadas en el paraje Las Trancas.*

*Se escogió la cartografía de ocupación de la tierra (Etienne, 1982) como elemento de síntesis a los efectos de valorar el impacto de las actividades humanas sobre las comunidades vegetales de la región. La estructura de la vegetación, su fisonomía y la composición florística se constituyeron en parámetros sencillos que indican la intensidad y el tipo de manejo al que ha sido sometido el sistema.*

*A partir de las fotografías aéreas a escala 1:20.000 se detectaron unidades fisonómicas, cada comunidad se caracterizó, según la metodología, por la estructura vertical y horizontal y la especie dominante. Se relevaron además, variables del ambiente natural y social que permitieron definir los principales parámetros biofísicos que condicionan la vegetación y el tipo e intensidad de actividad antrópica (pastoreo, tala, rolado, cultivo, etc.). Esta última variable se ponderó de acuerdo a un escalar de artificialización que varía de 1 a 9 según la intensidad del impacto.*

*El área analizada presenta 35 unidades con moderada a elevada artificialización y no se encontraron sitios con artificialización nula.*

*En función de las características de las comunidades vegetales y del impacto de las actividades humanas se elaboraron cartas de capacidad productiva, de regulación de aguas y procesos erosivos y de potencial recreativo-turístico. Finalmente, se realizó una zonificación preliminar a los efectos de promover un uso productivo sustentable.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las áreas de amortiguamiento de zonas bajo protección (Reservas Naturales, Parques, Monumentos Naturales o Culturales, etc.) abarcan espacios de uso heterogéneos y diversos. Estos requieren de un sistema de manejo que integre las actividades

productivas con las de protección de recursos y promueva el desarrollo local (Aumedes, 1989).

Según Gallopín (1990) desarrollarse implica que las personas alcancen a satisfacer plenamente sus necesidades tanto materiales como espirituales y que el ambiente natural y social donde se hallan inmersas pueda conservar sus propiedades. Desarrollo, por lo tanto, significa armonizar el crecimiento de lo natural con lo económico y lo social, en estrategias globales donde los conocimientos de los distintos actores sociales se sumen a las aptitudes y potencialidades que el medio tiene a través de un uso integrado y planificado del mismo (Gaete Martínez, 1995).

Entregado: 14 de Setiembre de 2001 ■ Aceptado: 14 de Diciembre de 2001

Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables (CERNAR)  
F.C.E.F. y N., Universidad Nacional de Córdoba.  
Av. Vélez Sarsfield 299, 5000 Córdoba.  
e-mail: guilleschwindt@uol.com.ar

Este estilo de producción necesariamente requiere conocer la base natural y social y ensayar técnicas que se ajusten progresivamente al ambiente combinando habitabilidad con flujo constante de materia y energía. De esta manera, una vez logrado un balance entre externalidades e internalidades que permita la construcción y complejización de los nexos; el sistema ambiental, articulado e integrado, se flexibilizará y diversificará propulsando valores, conocimientos y acciones cada vez más cercanos al medio. Así, en un ajuste permanente de los flujos de producción éste crecerá desde sus estructuras minimizando la dependencia y asegurando su mantenimiento en el tiempo.

El diagnóstico del estado del ambiente natural proporciona un punto de partida desde el cual proyectar acciones adecuadas que puedan ser valuadas periódicamente y minimicen los riesgos e incertidumbres futuros (Long, 1974).

Los sistemas naturales y en especial la vegetación, dada su permanencia en el espacio y en el tiempo, evidencian en su estructura y funcionamiento los impactos naturales o antrópicos. La complejización o simplificación de nexos determinan la aparición de especies y diseños que indican la evolución luego de un disturbio. Así, la aparición o desaparición de determinadas especies, los dominantes, cambios en el dosel y en la cobertura del suelo, solos o en su conjunto, se constituyen en indicadores de la historia evolutiva sistémica.

De esta manera, considerar la arquitectura y composición de las comunidades vegetales y tener un conocimiento lo más acabado posible de las acciones que les dieron origen posibilita comprender la respuesta de las comunidades. Ello, permitirá ajustar el uso de los recursos a la capacidad del ambiente, evitando y atemperando las acciones sinérgicas o a largo plazo, que hoy ponen en riesgo la integridad sistémica.

El presente trabajo es una primera aproximación al estado del ambiente natural de predios ubicados en el área de amortiguamiento de un área protegida con un importante patrimonio natural y social. Se busca mejorar el estado de situación de las áreas que rodean este espacio de conservación, brindar bases ambientales para su manejo y monitoreo y expandir los valores ecológicos de la misma al resto de la región.

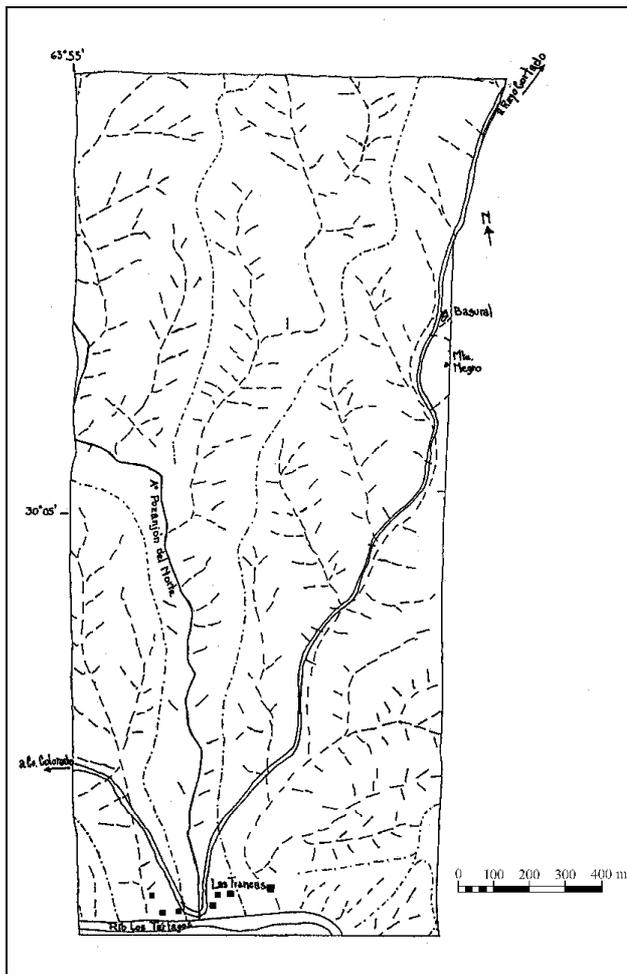
## 2. METODOLOGÍA

En una primera instancia se efectuó un diagnóstico ambiental del área para lo cual se recopiló información climática, histórica y de manejo. Luego se elaboraron cartas temáticas analíticas y sintéticas a partir de fotografías aéreas a escala aproximada 1:20.000 de 1970. Estas se actualizaron mediante fotografías aéreas a escala aproximada 1:50.000 de 1987 e imágenes satelitales a escala 1:250.000 de 1996, dada la imposibilidad de contar con fotografías aéreas actuales de la zona.

La fotointerpretación permitió en una primera instancia delimitar el drenaje y conjuntamente con las hojas catastrales IGM a escala 1:50.000, elaborar un mapa de base donde se ubica el río Los Tártafos, el arroyo Pozanión del Norte, las vías de escurrimiento superficial, área poblada y toponimia local (Fig. 1).

Luego se definieron unidades homogéneas de vegetación. Siguiendo los lineamientos propuestos por Long (1974) y Etienne (1982) cada unidad se recorrió a campo y se caracterizó según el número de estratos, cobertura, especies dominantes y el grado de artificialización que presentaban. Se consideraron para la descripción fisonómica cinco tipos biológicos: leñoso alto, leñoso bajo, herbáceo, palma y suculenta. Estos tipos biológicos se

FIGURA 1: DRENAJE, CURSOS DE AGUA, CAMINOS Y POBLADO DEL ÁREA DE ESTUDIO



clasificaron por la altura máxima que alcanzó la vegetación en cada estrato, el grado de cobertura y las especies dominantes. Además, se relevó el tipo e intensidad de uso del suelo actual y pasado a través de un escalár que contempla nueve grados de artificialización que varían de 1 a 9 según la intensidad del impacto. Si la intensidad del impacto es elevada oscila entre 8 y 9, si es intermedia entre 4 y 5 y si es baja entre 1 y 3 (Tabla 1).

A partir de estos datos se confeccionó un mapa de ocupación de la tierra a escala 1:20.000 (Fig. 2), se tipificó cada unidad encontrada (Tabla 2) y se obtuvo el porcentaje de ocupación de las mismas a partir de la superficie de cada comunidad vegetal mediante el método de la cuadrícula (Tabla 3).

Además, en cada unidad se relevaron parámetros abióticos que condicionan la distribución de la vegetación (pendiente, exposición, altura, suelo expuesto y rocosidad). Estos permitieron delimitar condicionantes naturales, definir los límites y mejorar la descripción de la vegetación.

Los datos proporcionados por los mapas temáticos y los parámetros bióticos y abióticos relevados permitieron obtener los espacios protectores de cuencas y suelos, de elevada diversidad, productivos y de servicios que se valoraron mediante un escalár cualitativo de muy bajo a muy alto (1 a 5).

La oferta de pasturas, madera y leña se sintetizó en un mapa de capacidad productiva (Fig. 3), la regulación de procesos de captación de agua y erosión en un mapa de protección de

TABLA 1: ESCALAR DE GRADOS Y SUBGRADOS DE ARTIFICIALIZACIÓN

1. Vegetación sin alterar	3.17. Tala intensa y residuos intenso	8. Invernaderos y parques
2. Vegetación poco modificada	3.18. Tala liviana e invasión intensa	8.1. Invernaderos
2.1. Tala liviana	3.19. Tala moderada e invasión liviana	8.2. Parques y plantaciones
2.2. Tala liviana y pastoreo liviano	3.20. Tala moderada e invasión moderada	8.2.1. Plazoletas
2.3. Tala liviana y pastoreo moderado	3.21. Tala moderada e invasión intensa	8.2.2. Plazas y jardines públicos
2.4. Tala liviana y pastoreo intenso	3.22. Tala intensa e invasión liviana	8.2.3. Parques
2.5. Tala liviana y pisoteo liviano	3.23. Tala intensa e invasión moderada	8.2.4. Predios recreativos
2.6. Tala liviana y pisoteo moderado	3.24. Tala intensa e invasión intensa	9. Zonas urbanizadas
2.7. Tala liviana y pisoteo intenso	3.25. Fuego	9.1. Zonas sin edificar
2.8. Tala liviana y residuos liviano	3.26. Topado	9.1.1. Baldíos
2.9. Tala liviana y residuos moderado	4. Cultivos abandonados o anuales de secano	9.1.2. Estacionamientos y plazas de maniobras
2.10. Tala liviana y residuos intenso	4.1. Cultivos abandonados	9.1.3. Desmonte para edificar
2.11. Tala liviana e invasión liviana	4.2. Bosque artificial abandonado	9.2. Asentamiento con áreas verdes internas
2.12. Tala liviana e invasión moderada	4.3. Cultivo anual de secano	9.2.1. Barrio 100-80 % de verde
2.13. Tala moderada y pastoreo liviano	5. Cultivo anual con riego o perenne de secano	9.2.2. Barrio 80-50 % de verde
3. Vegetación muy modificada	5.1. Bosque artificial coetáneo	9.2.3. Barrio 50-10 % de verde
3.1. Tala moderada y pastoreo moderado	5.2. Bosque artificial multietáneo	9.3. Asentamiento sin áreas verdes internas
3.2. Tala moderada y pastoreo intenso	5.3. Monte medio artificial	9.3.1. Barrio arbolado 100-80 %
3.3. Tala moderada y pisoteo liviano	5.4. Monte bajo artificial	9.3.2. Barrio arbolado 80-50 %
3.4. Tala moderada y pisoteo moderado	5.5. Arboricultura de secano	9.3.3. Barrio arbolado 50-10 %
3.5. Tala moderada y pisoteo intenso	5.6. Vitivinicultura de secano	9.3.4. Barrio arbolado 10-5 %
3.6. Tala moderada y residuos liviano	5.7. Cultivo con riego	9.3.5. Barrio arbolado - 5 %
3.7. Tala moderada y residuos moderado	5.8. Cultivo forrajero	9.4. Áreas altamente intervenidas
3.8. Tala moderada y residuos intenso	6. Cultivo perenne con riego	9.4.1. Zona industrial
3.9. Tala intensa y pastoreo liviano	6.1. Arboricultura con riego	9.4.2. Aeropuerto
3.10. Tala intensa y pastoreo moderado	6.2. Vitivinicultura con riego	9.4.3. Vías de comunicación
3.11. Tala intensa y pastoreo intenso	7. Cultivos intensivos	9.5. Minería
3.12. Tala intensa y pisoteo liviano	7.1. Vivero forestal	9.5.1. Minería manual
3.13. Tala intensa y pisoteo moderado	7.2. Vivero ornamental	9.5.2. Minería mecánica
3.14. Tala intensa y pisoteo intenso	7.3. Cultivos bajo plástico	
3.15. Tala intensa y residuos liviano	7.4. Horticultura	
3.16. Tala intensa y residuos moderado		

recursos (Fig. 4) y la oferta de paisaje, visuales y espacio para la recreación en una carta de potencial recreativo-turístico (Fig. 5).

En función de los mapas elaborados y de la diversidad biológica de cada comunidad se realizó una zonificación preliminar de los predios mediante la cual se definieron los espacios de uso intensivo, extensivo, protección y de recuperación (Fig. 6).

### 3. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada a 63° 54' de longitud Oeste y 30° 04' de latitud Sur en la zona de amortiguamiento de la Reserva Natural-Cultural Cerro Colorado, distante 3 km al Este de la localidad del mismo nombre, en el Departamento Río Seco, porción meridional de la Sierra del Norte.

Si bien *Capitanelli* (1979) caracteriza el clima del sector como de dominio semidesértico próximo a Seco con precipitaciones medias que varían de 700 a 800 mm, temperatura media anual de 22° C y sin período libre de heladas, la presencia del cordón montañoso de Cerro Colorado determina el incremento de precipitaciones y la existencia de aportes pluviales ocultos como el de nieblas y neblinas provocando condiciones microclimáticas particulares.

El predio ocupa la porción media y final de la subcuenca del arroyo Pozanjón del Norte y de la subcuenca Las Trancas que desembocan al sur en el río Los Tártaos. Los distintos grados de fractura y fallas del zócalo granítico definen el sentido Norte-Sur del arroyo Pozanjón del Norte y del avenamiento de la primera subcuenca y la dirección Noreste-Sudoeste del

drenaje de la segunda subcuenca que presenta una amplia área colectora central (Fig. 1).

*Herrero* (2000) cita para la zona la presencia de superficies peneplanizadas, laderas, terrazas fluviales y valles de fondo plano. El sector Norte presenta un paisaje heterogéneo dominado por lomadas suaves y pequeños valles de fondo plano con orientación predominante Este-Oeste; en la porción Sudoeste el arroyo estructura un paisaje de lomas peneplanizadas con profundas quebradas y escasas terrazas fluviales; mientras que, el sector Sudeste las lomadas acompañan amplios valles de fondo plano.

Las características ambientales anteriormente descritas han permitido el desarrollo de distintas comunidades vegetales que presentan especies que toleran la sequía con otras propias de climas más húmedos. Según *Luti* (1979) el área se encuentra en un ecotono entre los distritos Serrano y de Llanura del domo Chaqueño. *Sayago* (1969) ubica al sector en el límite del piso B o forestal caracterizado por bosques de 8 a 10 metros de altura dominados por mato (*Myrcianthes cisplatensis*) y molle (*Litbraea ternifolia*) y el piso A caracterizado en este sector por la presencia de bosques dominados por algarrobos (*Prosopis spp.*) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) con cardón (*Stetsonia coryne*) y molle blanco (*Bumelia obtusifolia*).

Producto de este ecotono los bosques originales presentaban distinta dominancia alternando mato (*Myrcianthes cisplatensis*), molle (*Litbraea ternifolia*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y algarrobo blanco (*Prosopis alba*) según su ubicación en el gradiente topográfico.

El desarrollo diferencial de la vegetación y el tipo de roca madre han determinado también la presencia de un gradiente edáfico con suelos de origen sedimentario o por meteorización del basamento granítico que presentan distintos grados de desarrollo según la roca madre y el uso.

Las comunidades originales han sido transformadas por la actividad humana en un conjunto de comunidades boscosas dominadas por molle (*Litbraea ternifolia*) y mato (*Myrcianthes cisplatensis*), arbustivas con predominio de garabato (*Acacia prae-cox*), piquillín de las sierras (*Condalia montana*) y *Mimosa farinosa* y pastizales y herbazales dominados por *Stipa spp.*, *Digitaria californica* o *Sellaginella sellowii*.

#### 4. HISTORIA DEL USO DEL SUELO

Las actividades humanas en la zona datan desde antes del período hispánico, tal como lo testimonian más de cien yacimientos arqueológicos y cientos de pinturas rupestres presentes en los aleros de la Reserva Natural-Cultural Cerro Colorado.

Sin embargo, la presencia de asentamientos permanentes es reciente, el sector de estudio presenta desde inicios de siglo pasado en el extremo Sur un núcleo poblacional denominado Las Trancas. Este se consolidó luego de la década del cincuenta y hoy esta constituido por una población estable de 12 personas que desarrollan actividades agropecuarias y de servicio y una población transitoria de 17 personas que usan el área solo en verano (Argüello, 1999 *ined.*).

Desde los orígenes del asentamiento se realizan actividades agrícola-ganaderas en el sector utilizándose los bajos con fines agrícolas y las lomadas para provisión de recursos madereros, calóricos y alimenticios.

A inicios del siglo veinte se produjeron talas de magnitud en la zona evidenciadas en la toponimia local y en las fuentes de estadísticas vitales. Así, en 1919 ya se menciona el asentamiento de El Desmonte en la cuenca adyacente al área en estudio (R. C. Rayo Cortado L1 1919).

El trazado de nuevos caminos de acceso a la localidad de Cerro Colorado, en la década del cuarenta, determinó cambios en el sector, ya que la ruta que cruza el área dejó de ser la principal de entrada a la localidad y con ello, disminuyó el flujo de personas por el sector.

Sin embargo, es en ese momento cuando se produce el máximo impacto antrópico con la extracción masiva de los bosques del sector Este de los arroyos La Quebrada y de la cuenca en estudio.

Una vez eliminadas las comunidades boscosas, matorrales de distinta envergadura cubrieron el sector disminuyendo el valor forestal; por lo cual, se introdujo ganado caprino conjuntamente con vacuno y equino. Esta excesiva carga ganadera determinó la aparición de situaciones de profundo deterioro en las comunidades vegetales y el suelo de vastos sectores.

Por otra parte, el agotamiento del sistema de producción forestal tradicional sumado al atractivo creciente de las ciudades provocó la emigración masiva de población de la región en la década del setenta. Ello, determinó que los sectores destinados a cultivos dejaran de utilizarse como áreas productivas y disminuyó la carga ganadera. Por otra parte, el cambio de actividad agrícola-ganadera a turística, operada por la Reserva Cultural-Natural desde 1930 a la actualidad y los bajos precios del ganado vacuno han llevado lentamente a una disminución del peso agrícola y ganadero en la zona y a un incremento del rol de servicios.

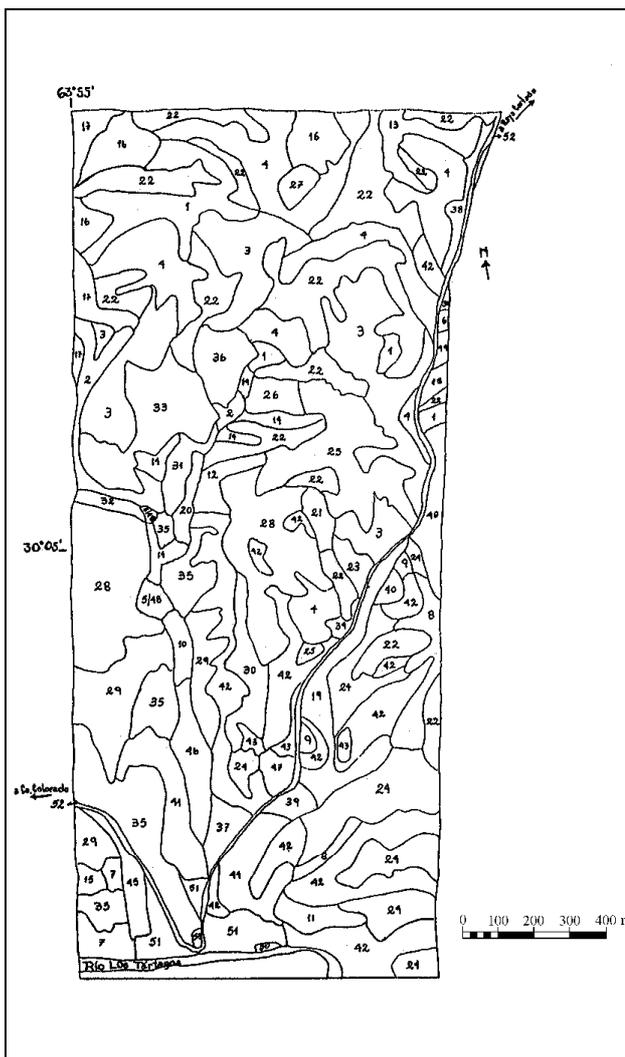
El área pertenece a dos familias que promueven estilos de manejo diferentes, reflejados en el estado de los campos.

Los productores del sector Oeste realizan históricamente prácticas agrícola-ganaderas intensivas, en especial en el sector Sur dada la mayor oferta de tierra y agua. Sin embargo, en los últimos años las condicionantes económicas han llevado a disminuir el número de cabezas de ganado, hoy circunscripto a unos pocos ejemplares vacunos y equinos. Las áreas de cultivo han quedado reducidas a su mínima expresión. Algunas de ellas, abandonadas hace más de diez años, hoy se usan con fines recreativos. El productor del sector Este por su parte, destina el predio exclusivamente a ganadería extensiva, aún en áreas antiguamente cultivadas, existiendo solo una mayor presión ganadera en las inmediaciones de los pozos de agua del sector Sur.

En esta zona se han producido incendios de distinta magnitud en los últimos veinte años que han agravado la situación de deterioro de las áreas con escasa cobertura vegetal y elevada pendiente. Así, en muchos sectores la erosión ha determinado el afloramiento de la roca madre.

Por otra parte, el basural de la localidad de Cerro Colorado está ubicado en el sector Noreste de este último predio. Se depositan a cielo abierto sin ningún tratamiento los residuos desde hace más de diez años afectando suelo, agua, aire y las comunidades biológicas del sector. La frecuente práctica de quema de los desechos ha provocado dos incendios que se extendieron a las comunidades del Este del camino a Rayo Cortado.

FIGURA 2: OCUPACIÓN DE LA TIERRA DEL ÁREA DE ESTUDIO (referencias en tabla 2)



**TABLA 2: UNIDADES DE OCUPACIÓN DE LA TIERRA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Nº	Grado de Artificialización	Formación Vegetal	Especies Vegetales Dominantes	Suelo expuesto(%)	Roca (%)	Pendiente (%)
1	2.2.2	Bosque	Myrcianthes cislplatensis y Lithraea ternifolia	-	40	60
2	2.2.7	Bosque	Myrcianthes cislplatensis, Condalia montana, Celtis tala y Prosopis alba	50	50	100
3	3.3.1	Bosque Abierto	Myrcianthes cislplatensis, Celtis tala y Prosopis alba	20	5	-
4	3.3.1	Bosque Abierto	Myrcianthes cislplatensis, Celtis tala y Prosopis alba	20	5	-
5	2.2.2	Bosque Abierto	Prosopis alba y Celtis tala	40	60	45
6	2.2.2	Bosque Abierto	Myrcianthes cislplatensis, Condalia montana y Acacia cavem	20	20	30
7	2.2.13	Bosque Abierto	Prosopis alba y Aspidoesperma quebracho-blanco	-	10	-
8	3.3.1	Bosque Abierto	Celtis tala, Myrcianthes cislplatensis, Prosopis alba y Lithraea ternifolia	10	-	30
9	2.2.13	Bosque Bajo	Myrcianthes cislplatensis y Aspidoesperma quebracho-blanco	-	40	40
10	3.3.11	Bosque Bajo	Celtis tala, Prosopis alba y Acacia cavem	60	-	-
11	3.3.1	Arbustal con Árboles	Condalia montana, Acacia cavem, Lithraea ternifolia, Ruprechtia apetala y Celtis tala	40	40	-
12	3.3.1	Arbustal con Árboles	Condalia montana, Acacia praecox, Celtis pallida, Ruprechtia apetala, Celtis tala, Myrcianthes cislplatensis y Prosopis alba	30	-	40
13	3.3.1 / 3.3.25	Arbustal con Árboles	Ruprechtia apetala, Acacia cavem, Acacia praecox, Myrcianthes cislplatensis, Lithraea ternifolia y Prosopis alba	20	10	-
14	2.2.6 / 3.3.25	Arbustal Abierto con Árboles	Condalia montana, Acacia cavem, Celtis pallida, Prosopis alba y Celtis tala	40	60	40
15	2.2.13	Arbustal con Árboles	Acacia cavem, Celtis pallida, Condalia buxifolia y Lithraea ternifolia	-	40	-
16	3.3.10	Arbustal Abierto con Árboles	Aloysia gratissima, Acacia cavem, Celtis pallida, Condalia sp., Myrcianthes cislplatensis, Celtis tala y Fagara coco	10	-	-
17	3.3.1	Arbustal con Árboles	Condalia buxifolia, Condalia montana, Acacia cavem, Myrcianthes cislplatensis, Celtis tala y Aspidoesperma quebracho-blanco	-	10	40
18	3.3.25	Arbustal Abierto con Árboles	Condalia montana, Schinus molle, Myrcianthes cislplatensis y Celtis tala	-	5	-
19	4.4.1	Arbustal Abierto con Árboles	Acacia cavem, Celtis pallida, Aloysia gratissima, Prosopis alba, Celtis tala, Myrcianthes cislplatensis y Schinus spp.	20	-	5
20	3.3.1	Arbustal con Árboles Aislados	Condalia montana, Acacia praecox, Acacia cavem, Aloysia gratissima y Prosopis alba	-	-	40
21	3.3.9	Arbustal con Árboles Aislados	Condalia montana, Ruprechtia apetala, Acacia praecox, Celtis tala y Aspidoesperma quebracho-blanco	10	30	40
22	2.2.13	Arbustal con Árboles Aislados	Ruprechtia apetala, Condalia montana, Acacia praecox, Celtis pallida y Celtis tala	10	20	-
23	3.3.1	Arbustal con Árboles Aislados	Acacia cavem, Condalia buxifolia, Condalia montana, Celtis tala y Prosopis alba	20	10	15
24	3.3.2	Arbustal con Árboles Aislados	Acacia cavem, Celtis pallida y Celtis tala	40	10	20
25	3.3.1	Arbustal con Árboles Aislados	Condalia montana, Condalia buxifolia, Ruprechtia apetala, Myrcianthes cislplatensis y Aspidoesperma quebracho-blanco	35	20	35
26	3.3.1	Arbustal con Árboles Aislados	Condalia montana, Condalia buxifolia, Ruprechtia apetala y Prosopis alba	35	20	40
27	2.2.2	Arbustal Abierto	Ruprechtia apetala, Condalia montana, Condalia buxifolia y Acacia cavem	30	10	40
28	3.3.10	Arbustal con Árboles Aislados	Condalia montana, Acacia cavem, Celtis tala, Lithraea ternifolia, Aspidoesperma quebracho-blanco, y Prosopis alba	20	-	-
29	3.3.10	Arbustal con Árboles Aislados	Celtis pallida, Ruprechtia apetala, Acacia cavem, Lippia turbinata, Prosopis alba, y Aspidoesperma quebracho-blanco	5	20	-
30	3.3.1	Arbustal con Árboles Aislados	Acacia cavem, Condalia montana, Celtis tala y Aspidoesperma quebracho-blanco	10	30	40
31	3.3.1	Arbustal con Árboles Aislados	Ruprechtia apetala, Acacia cavem, Condalia montana, Celtis pallida, Celtis tala y Prosopis alba	20	-	3
32	3.3.11	Arbustal con Árboles Aislados	Acacia cavem, Condalia buxifolia, Condalia montana, Ruprechtia apetala y Prosopis alba	70	-	-
33	3.3.11 / 3.3.25	Arbustal con Árboles Aislados	Celtis pallida, Acacia cavem y Celtis tala	40	-	-
34	3.3.1 / 3.3.25	Arbustal con Árboles Aislados	Condalia montana, Condalia buxifolia, Acacia cavem, Lithraea ternifolia, Prosopis alba, Myrcianthes cislplatensis y Celtis tala	20	10	25
35	3.3.11 / 3.3.25	Arbustal con Árboles Aislados	Acacia cavem, Celtis tala y Prosopis alba	40	-	-
36	3.3.10 / 3.3.25	Arbustal Abierto	Acacia cavem, Condalia montana y Ruprechtia apetala	30	40	40
37	3.3.1	Arbustal con Árboles Aislados	Acacia cavem, Aloysia gratissima, Prosopis alba y Celtis tala	5	-	20
38	3.3.10	Arbustal con Árboles Aislados	Acacia cavem, Condalia montana, Condalia buxifolia, Celtis tala y Myrcianthes cislplatensis	-	10	-
39	4.4.1	Arbustal Abierto con Árboles Aislados	Acacia cavem, Celtis pallida, Aloysia gratissima, Prosopis alba, Celtis tala y Myrcianthes cislplatensis	20	-	5
40	3.3.1	Arbustal Bajo Abierto con Árboles Aislados	Aloysia gratissima, Acacia cavem, Condalia buxifolia, Schinus molle, Schinus polygamus, Prosopis alba y Celtis tala	-	30	-
41	3.3.11 / 3.3.25	Arbustal Bajo Abierto con Árboles Aislados	Celtis pallida, Acacia cavem y Celtis tala	50	-	-
42	3.3.25	Arbustal Abierto	Acacia cavem, Aloysia gratissima, Parthenium hysterophorus, Acalypha communis y Baccharis ulicina	40	40	20
43	3.3.25	Arbustal Abierto	Aloysia gratissima, Parthenium hysterophorus, Acalypha communis y Baccharis ulicina	40	40	20
44	4.4.1	Arbustal Abierto	Acacia cavem, Celtis pallida y Aloysia gratissima	20	-	5
45	4.4.1 / 8.2.4	Arbustal Bajo Abierto	Acacia cavem y Celtis pallida	10	-	5
46	3.3.14	Arbustal-Herbazal	Acacia cavem Selaginella sellowii, Stipa spp. y Parthenium hysterophorus	-	80	-
47	3.3.10	Pastizal-Herbazal con Árboles Aislados	Selaginella sellowii, Aristida sp., Dichondra repens-repens, Hypis mutabilis, Acacia cavem y Baccharis ulicina	50	70	-
48	3.3.5	Roqueal-Pastizal con Árboles y Arbustos Aislados	Stipa spp., Acacia cavem, Celtis pallida, Aspidoesperma quebracho-blanco y Lithraea ternifolia	-	80	100
49	3.3.17	Basural-Pastizal con Árboles	Stipa sp., Bidens subalternans, Solanum album, Aloysia gratissima y Schinus polygamus	-	-	-
50	5.5.1	Bosque de Introcuidas	Ligustrum sinense, Gleditsia triacanthos, Melia azedarach y Salix babylonica	90	-	-
51	9.2.2	Doméstico y Peridoméstico	-	-	-	-
52	9.4.3	Camino	-	-	-	-
53	9.5.1	Cantera	-	-	-	-

## 5. DIAGNÓSTICO DEL AMBIENTE NATURAL Y OCUPACIÓN DE LA TIERRA

Las comunidades vegetales reflejan un conjunto de variables naturales y antrópicas y en su origen estructuraban su desarrollo en función de la oferta diferencial de agua y nutrientes; por lo cual, había comunidades vegetales más desarrolladas en las laderas con exposición Sur o en los bajíos.

La carta de ocupación de la tierra indica que son escasas las comunidades en buen estado, en general estas están distribuidas en laderas con cierto grado de dificultad para el acceso tanto del hombre como del ganado; siendo muy escasos los bosques con buena cobertura presentes en los bajíos debido al intenso uso dado a la zona (Fig. 2). Los escasos remanentes boscosos de laderas presentan buen desarrollo estructural a pesar de su elevada pendiente (60 %) y rocosidad (40 %) y están dominados por mato (*Myrcianthes cisplatensis*), molle (*Lithraea ternifolia*) y algarrobo blanco (*Prosopis alba*) (Tabla 2).

De las 53 unidades encontradas 35 tienen de moderada a elevada intensidad de uso y solo 4,26 % son bosques en mediano estado. La tala intensa ha afectado 52,55 % de las unidades y la tala moderada 38,1 % de las mismas. Se destaca el elevado porcentaje que alcanzan las unidades que presentan tala intensa y fuegos reiterados (37,59 %), de las cuales 84 % tienen elevados valores de suelo expuesto (entre 40 y 60 %). Este tipo de actividades impacta principalmente a los componentes leñosos, los árboles que no fueron talados han sido destruidos por los incendios reiterados, en especial en la zona Sur.

Los cambios de uso de los últimos años han permitido una lenta recuperación de las comunidades vegetales. Sin embargo, la ausencia de pie madre y el fuerte impacto pasado determinaron la aparición de comunidades leñosas de bajo porte. Dominan fisonómicamente los arbustales con 71,38 % de cobertura; sin embargo, estos no son homogéneos ni estructural ni florísticamente. Los distintos tiempos de uso del ecotono boscoso se manifiestan en una disminución de los componentes arbóreos y arbustivos más altos que se traducen en una paulatina pérdida de estratos. A medida que el impacto antrópico aumenta las comunidades pasan de arbustivas altas con árboles, dominadas por piquillín de la sierra (*Condalia montana*), manzano del campo (*Ruprechtia apetala*) y espinillo (*Acacia caven*) y árboles de molle (*Lithraea ternifolia*) tala (*Celtis tala*) y algarrobo blanco (*Prosopis alba*), a comunidades arbustivas bajas con escasa cobertura de suelo dominadas por espinillo (*Acacia caven*) y herbáceas indicadoras de deterioro como *Selaginella sellowii* y *Parthenium hysterophorus* (Tabla 3).

El uso intensivo en áreas de lomadas determina la aparición de un patrón regular en la parte superior apareciendo comunidades dominadas por arbustos bajos y herbáceas rústicas (unidades 42 y 43) con elevado suelo expuesto y rocosidad (40 % respectivamente). En las lomadas con mayor inaccesibilidad las cumbres están dominadas por un arbustal de manzano del campo (*Ruprechtia apetala*) y garabato (*Acacia praecox*) (unidad 22).

Se destaca la situación de la comunidad 46 donde tala y pisoteo intensos han determinado que solo 20 % de la unidad presente cobertura vegetal, siendo el 80 % restante roca madre expuesta. La regolita sometida a un pisoteo intenso se desgrana con facilidad provocando fuertes procesos erosivos que se agravan en el invierno donde la cobertura vegetal es prácticamente nula.

Así, el sector Sudeste en especial el vinculado al arroyo Pozanjón del Norte presenta las unidades más alteradas. En el sector Oeste solo las unidades ligadas al peridoméstico y pozo de agua presentan elevado deterioro.

TABLA 3: SUPERFICIE Y COBERTURA DE LAS UNIDADES DE LA CARTA DE OCUPACIÓN DE LA TIERRA

Unidad N°	Superficie (ha)	Cobertura (%)
1	6,85	2,98
2	2,95	1,28
3	17,60	7,66
4	20,20	8,79
5	0,40	0,18
6	0,10	0,04
7	1,88	0,82
8	3,20	1,39
9	0,42	0,18
10	1,01	0,45
<b>Total</b>	<b>54,61</b>	<b>23,77</b>
11	1,45	0,63
12	1,32	0,57
13	2,23	0,97
14	2,37	1,03
15	0,51	0,22
16	5,25	2,28
17	4,14	1,80
18	0,47	0,20
19	4,08	1,78
<b>Total</b>	<b>21,82</b>	<b>9,48</b>
20	0,75	0,33
21	0,87	0,38
22	25,62	11,15
23	0,85	0,37
24	14,41	6,27
25	8,03	3,49
26	1,27	0,55
27	0,84	0,37
28	17,06	7,43
29	8,58	3,73
30	2,48	1,08
31	1,38	0,60
32	0,58	0,25
33	6,53	2,84
34	0,36	0,16
35	11,65	5,07
36	2,50	1,09
37	1,19	0,52
38	0,98	0,43
39	0,95	1,44
40	2,32	1,01
41	3,43	1,49
42	23,57	10,26
43	1,06	0,46
44	3,30	0,41
45	1,66	0,72
<b>Total</b>	<b>142,22</b>	<b>61,90</b>
46	2,71	1,18
47	0,78	0,34
48	0,40	0,18
<b>Total</b>	<b>3,89</b>	<b>1,70</b>
49	0,23	0,10
<b>Total</b>	<b>0,23</b>	<b>0,10</b>
50	0,12	0,05
<b>Total</b>	<b>0,12</b>	<b>0,05</b>
51	4,01	1,75
<b>Total</b>	<b>4,01</b>	<b>1,75</b>
52	0,11	0,05
<b>Total</b>	<b>0,11</b>	<b>0,05</b>
53	2,72	1,18
<b>Total</b>	<b>2,72</b>	<b>1,18</b>

Las comunidades próximas al camino (24 unidades en total) con distinta composición y estructura parecen no estar influenciadas mayormente por el mismo, a excepción del efecto barrera frente a los incendios. Sin embargo, el estado general de las comunidades vegetales ha afectado profundamente la dinámica hídrica. El elevado suelo expuesto (entre 50 y 35 %) de algunas unidades como las 42, 25, 43, 47 y 35 y moderado suelo

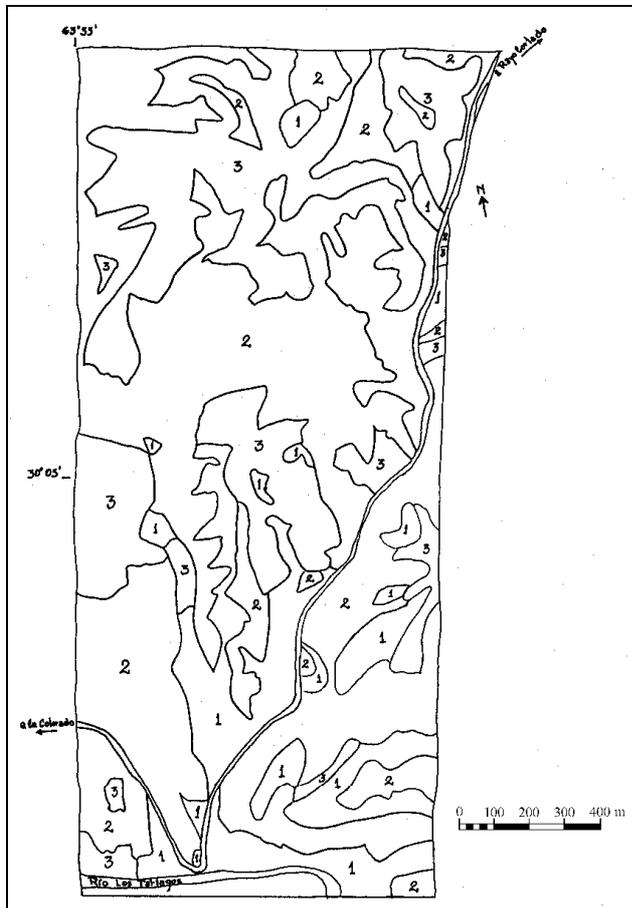
expuesto de las restantes (20 %) ha generado procesos carcávicos en las márgenes Norte del camino por encausamiento de las aguas superficiales. Además, el cambio de uso del suelo de ganadero a recreativo como el provocado en la unidad 45 puede agravar esta situación a causa de una mayor intensidad de pisoteo.

Los bajíos, en general, están cubiertos por comunidades vegetales sucesionales (unidades 19, 39, 44, 45) producto de la disminución del uso agrícola. La roturación intensa pasada define los actuales pastizales dominados por paja brava (*Stipa sp.*) o pastizales con arbustos dominados por paja brava (*Stipa sp.*) y espinillo (*Acacia caven*). El tipo de uso condiciona el ingreso de los componentes arbóreos, a pesar de la disponibilidad de nutrientes, agua, semillas y de la escasa presión ganadera. Los bajíos actualmente cultivados se circunscriben al peridoméstico (unidad 51), y son utilizados solo para subsistencia de la unidad familiar.

Por su parte, el basural (unidad 49) esta cubierto por una comunidad de gramíneas y herbáceas rústicas anuales como amor seco (*Bidens subalternans*) y por especies tolerantes al pisoteo y depósito de residuos como gramillón (*Paspalum spp.*) y gramilla (*Cynodon dactylon*). Pisoteo y quemas frecuentes y la presencia de residuos no degradables y patógenos en cantidad impactan fuertemente al sistema natural, en especial al paisaje.

El uso como cantera de extracción de áridos es reciente y muy localizado afectando la pequeña terraza fluvial del arroyo en el extremo Sur (unidad 53). El principal problema lo constituye el acceso a la misma que agrava los procesos carcávicos vinculados al camino en el sector Noreste.

**FIGURA 3: CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LAS COMUNIDADES VEGETALES DEL ÁREA DE ESTUDIO:** 1: muy baja, 2: baja, 3: mediana, 4: alta y 5: muy alta

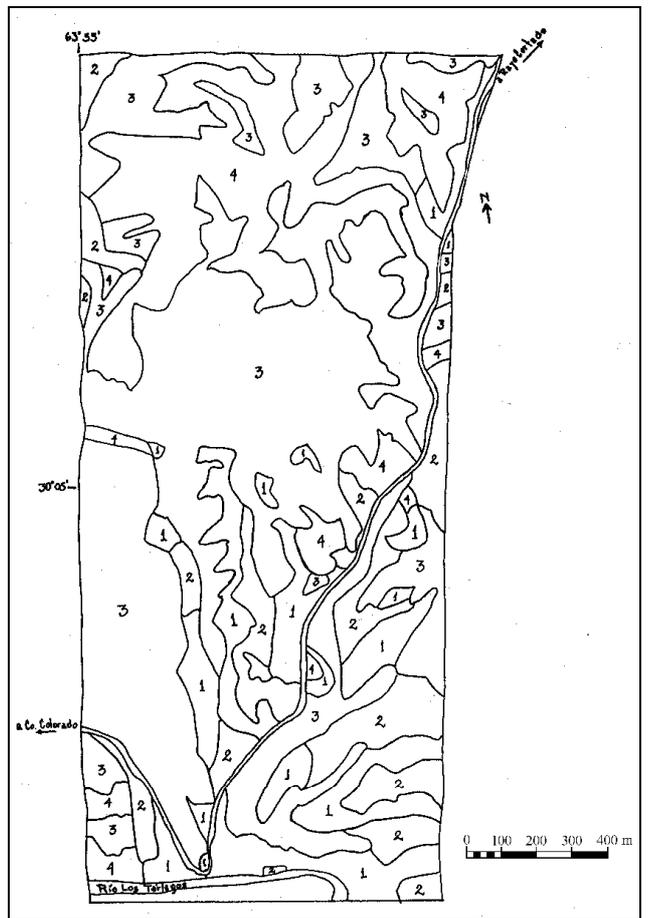


## 6. ZONIFICACIÓN PRELIMINAR

La carta de ocupación de la tierra permitió conocer las características reales del paisaje y las condiciones de utilización de los recursos y el espacio por el hombre, posibilitó evaluar el estado actual de los recursos, espacializar acciones y definir sectores de uso más apropiados de los recursos.

Por su parte, la carta de capacidad productiva (Fig. 3) indica que los sectores con mayores valores de recursos están vinculados al estado de las comunidades vegetales. De este modo, coincidentemente con la carta de ocupación de la tierra el sector Sur presenta bajos valores de los recursos madera y leña e intermedios para las pasturas, en especial en la zona Este.

**FIGURA 4: CAPACIDAD DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE LAS COMUNIDADES VEGETALES DEL ÁREA DE ESTUDIO:** 1: muy baja, 2: baja, 3: mediana, 4: alta y 5: muy alta

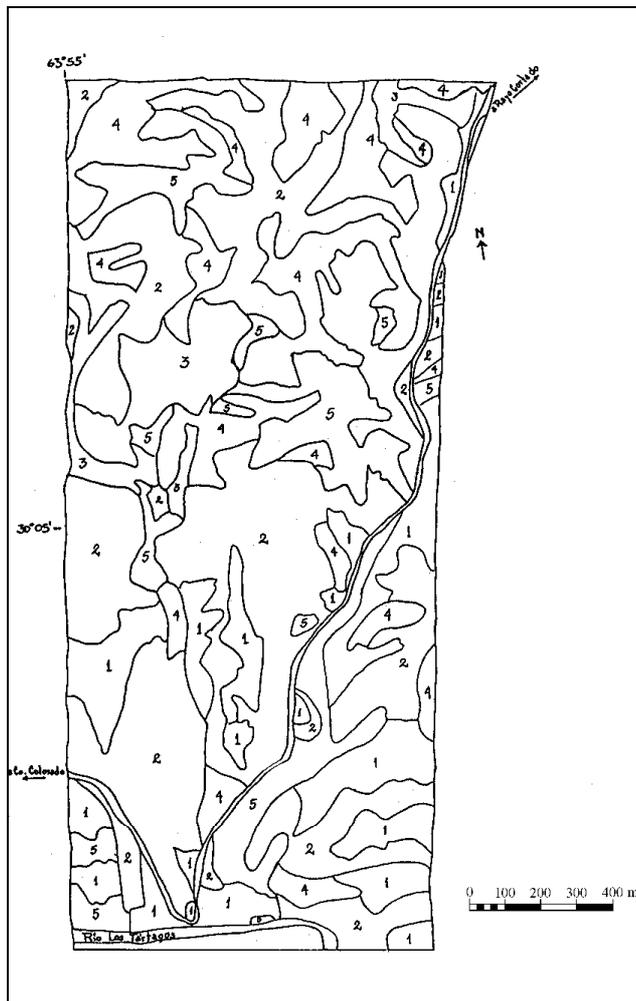


En el mapa de capacidad de protección de recursos (Fig. 4) esta polaridad es menos evidente, los sectores con bajos valores se circunscriben a los sectores relacionados con lomadas muy deterioradas de la cuenca baja, en especial el sector adyacente al arroyo Pozanjón del Norte.

En ambos mapas se destaca la ubicación e influencia del basural tanto por el impacto negativo sobre los recursos adyacentes como por su influencia en el colector de aguas.

Al valorar el potencial recreativo-turístico (Fig. 5) se manifiestan aptitudes heterogéneas en toda el área, dado que estos no solo responden al estado de los recursos, si no a las condiciones geomorfológicas, en especial las topográficas, que definen puntos de elevado valor paisajístico o con posibilidades de recreación y vida en la naturaleza.

**FIGURA 5: POTENCIAL RECREATIVO-TURÍSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO: 1: muy bajo, 2: bajo, 3: mediano, 4: alto y 5: muy alto**



A partir de la superposición de mapas se elaboró una zonificación preliminar que permite ordenar las actividades; así, se pusieron en juego los valores naturales, en especial el estado y la diversidad de las comunidades vegetales, con las potencialidades que el área presenta y se definieron cuatro zonas con diferente intensidad de uso.

El sector Norte dado su valor biológico y de cobertura de cuencas se destinó a la protección. A pesar de tener potencialidades recreativas las unidades que presentaban este valor (unidades 1, 22 y 16) estaban alejadas de las vías de acceso obligando a transitar entre otras de mejor estado y poniendo en riesgo el frágil equilibrio existente. Se recomienda en la zona de protección evitar el uso del sector o restringir la carga ganadera del mismo.

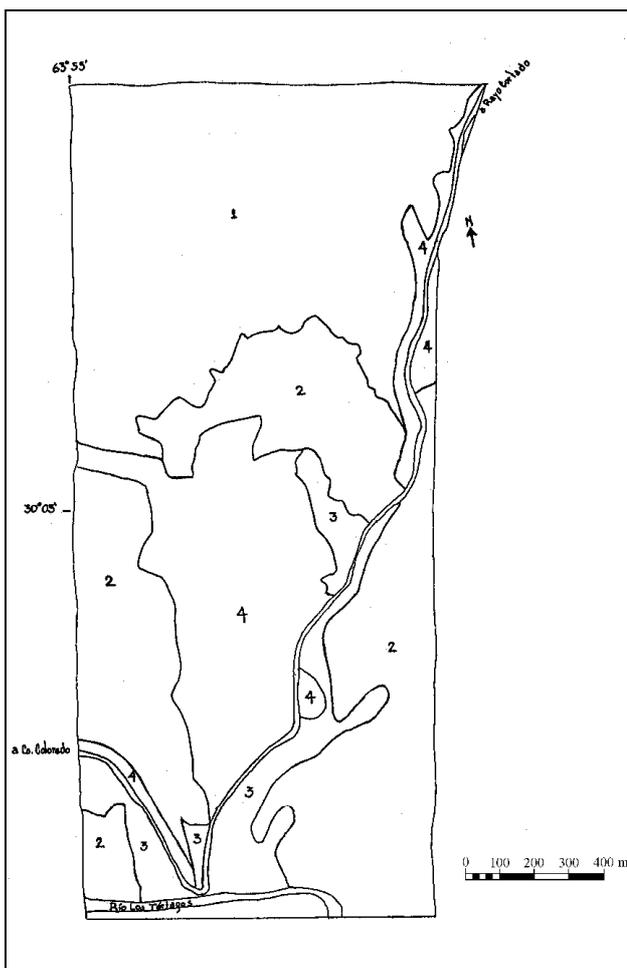
Las áreas destinadas a un uso extensivo cubren un amplio espectro de actividades; mientras que las ubicadas al Este y Oeste tienen aptitudes fundamentalmente agropecuarias de subsistencia, las ubicadas en la porción media y en el extremo Sudoeste son predominantemente recreativo-turísticas. La accesibilidad,

valores naturales y bajo riesgo para las personas y para el sistema determinan que estas últimas sean los únicos sectores a tal fin. El uso en estas zonas debe limitarse a una carga liviana, controlando los accesos al agua, en especial en el sector Este de modo de proteger las zonas de mayor pendiente del periribera.

Las áreas de uso intensivo posibilitan un desarrollo agrícola-ganadero o turístico de mayor envergadura. Las características topográficas, ubicación por debajo de los colectores, disponibilidad hídrica o cercanía al río y el estado general del sistema permiten el desarrollo de actividades de mayor impacto. Aún con estas aptitudes se deben cuidar los sitios donde la intensidad de las actividades será mayor, controlando el pisoteo y los posibles focos de incendio.

Finalmente, las zonas de recuperación abarcan las áreas más deterioradas, tanto por erosión como por depósito de residuos. Se recomienda en las mismas la exclusión de todo tipo de actividad y la implementación de acciones de remediación y reforestación a los efectos de controlar los procesos de deterioro, en especial los de pérdida de suelo.

**FIGURA 6: ZONIFICACIÓN PRELIMINAR DEL ÁREA DE ESTUDIO: 1: zona de protección, 2: zona de uso extensivo, 3: zona de uso intensivo y 4: zona de recuperación**



## 8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ARGÜELLO, L. 1999.  
Ambiente y Población en la Reserva Cultural-Natural Cerro Colorado.  
*Área Matrimonial y Migración Centro de Estudios Demográficos. Cuba (en prensa)*
- AUMEDES, J. 1989.  
En Áreas Silvestres Protegidas y Comunidades Locales en América Latina.  
*Documento Técnico N° 17. Proyecto FAO/PNUMA*
- CAPITANELLI, R. 1979.  
Geomorfología.  
*En: J.B. Vázquez, R.A. Miatello y M. E. Roqué (eds.) Geografía Física de la Provincia de Córdoba. Ed. Boldt. 213-296 pp. Argentina.*
- ETIENNE, M. 1982.  
Descripción de la Vegetación mediante la Cartografía de Ocupación de Tierras.  
*Conceptos y Manual de Uso Práctico. Fac. Cs. Agr. Veter. y Forestales. Chile.*
- GAETE MARTINEZ, S. (ED.) 1995.  
Desarrollo sostenible Aproximaciones Conceptuales.  
*UICN / Natura. Quito. Ecuador.*
- GALLOPÍN, G. 1990.  
Prioridades Ecológicas para el Desarrollo Sostenible en América Latina .  
*En: Programa de Medio Ambiente. Latinoamérica Medio Ambiente y Desarrollo. San Carlos de Bariloche. Argentina.*
- HERRERO, S. 1999.  
Tafonización en las Areniscas del Cerro Colorado (Sierra Norte, Provincia de Córdoba),  
con Especial Referencia a los Aleros con Pinturas Rupestres.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina, 54 (2): 123-131.*
- LONG, G. 1974.  
Diagnostic Phyto-écologique et Aménagement du Territoire.  
*I. Principes Généraux et Méthodes. Masson et Cie. France.*
- LUTI, R., BERTRÁN DE SOLÍS, M.A., GALERA, F.M., MÜLLER DE FERREYRA,  
N., BERZAL, M. NORES, M., HERRERA, M.A. Y J.C. BARRERA 1979.  
Vegetación.  
*En: J.B. Vázquez, R.A. Miatello y M. E.*
- REGISTRO CIVIL 1919.  
Registro Civil de Rayo Cortado.  
*Tomo I. Acta 25. Córdoba. Argentina.*
- SAYAGO, M. 1969.  
Estudio Fitogeográfico del Norte de Córdoba. Bol. Acad. Nac. Ciencias.  
*T XLVI. Acad. Nac. Ciencias. 123-429 pp. Argentina.*



## Polvo de acería

### Su incorporación en matrices cementicias

Señas, L.<sup>1</sup> - Maiza, P.<sup>1-2</sup> - Marfil, S.<sup>1-3</sup> - Valea, J.<sup>1</sup>

#### Resumen

*Decenas de miles de toneladas de polvos de acería son desechados anualmente por la industria, acopiados al aire libre y sobre el suelo perjudicando al medio ambiente.*

*El objeto del presente trabajo es caracterizar un polvo de desecho industrial y evaluar su comportamiento cuando es incluido en una matriz de mortero cementicio para su estabilización.*

*Se analizó la composición química del material a fin de conocer los elementos presentes, en especial la presencia de especies contaminantes. Por difracción de rayos X se identificaron las estructuras de las sustancias y su grado de oxidación.*

*Se utilizó microscopía electrónica de barrido con el propósito de observar las formas y el tamaño de las partículas así como la composición química por EDAX.*

*Este material se incluyó en diferentes morteros de matriz cementicia, de relación agua/cemento 0,40; 0,50; 0,60 en porcentajes de 5, 10 y 15 % respecto al peso del cemento.*

*Se moldearon barras normalizadas y se realizaron cortes delgados de cada una. Se estudiaron las características de la pasta para cada porcentaje de adición, comparándolas con la muestra patrón.*

*Se analizaron los elementos lixiviados del mortero y la implicancia que produce en el medio ambiente.*

#### 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina se deshechan más de 27.000 toneladas de polvos de acería al año, como resultado de procesos de fusión en hornos eléctricos. Estos polvos contienen una amplia variedad de elementos, incluyendo Zn, Pb, Cd y Cr, que son considerados peligrosos por la EPA (Environmental Protection Agency), por lo que su depositación podría provocar al menos la contaminación del agua. (Dominguez et al. 1996).

Es escasa la bibliografía acerca de los procesos de alteración y degradación de polvos solidificados y estabilizados y su

comportamiento en el tiempo. Los trabajos realizados en general se limitan a verificar la performance y durabilidad de los materiales construidos con ellos (Klich et al. 1999).

El propósito del presente trabajo es caracterizar un polvo de acería y evaluar su comportamiento en matrices cementicias así como determinar el grado de lixiviación y los componentes que serían liberados al medio. Esto permitirá utilizar un material de desecho, asegurando por un lado la calidad del mortero y por otro estableciendo condiciones de uso para garantizar la seguridad del medio ambiente.

#### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con un polvo de acería de una industria de la Prov. de Bs. As. El material se caracterizó por difracción de rayos X, SEM - EDAX y análisis químico. Se utilizó un difractor Rigaku D max III-C, computarizado, con radiación de Cu K $\alpha$  y monocromador, con 35 Kv y 15 mA. La composición

Entregado: 06 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 09 de Octubre de 2001

1. Profesor Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca. TE: 0291-4595184. FAX: 0291-4595148. email: smarfil@criba.edu.ar - cuatroplumas@terranel.com.ar

2. Investigador Principal CONICET.

3. Investigador Adjunto s/d CIC.

química fue analizada por ICP y EDAX. La morfología y el tamaño de partícula fue observado en un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM.

El material se incluyó en morteros de matriz cementicia, con relaciones agua/cemento 0,40; 0,50; 0,60 en porcentajes de 5, 10 y 15 % respecto al peso del cemento. Se moldearon barras normalizadas y se realizaron cortes delgados de cada una, los que fueron estudiados en un microscopio petrográfico Olympus BH-2, con video cámara SONY para captura y digitalización de imágenes a través del IMAGE PRO PLUS. Se estudiaron las características de la pasta para cada porcentaje de adición, comparándolas con la muestra patrón.

Se realizaron ensayos de lixiviación. Las características de las probetas patrón y con diferentes porcentajes de adiciones

fueron evaluadas con esteromicroscopio trinocular Olympus SZ - CTV. El análisis químico de la solución luego de los ensayos de lixiviación se realizó por ICP.

### 3. RESULTADOS

#### Caracterización del polvo

##### *Análisis químico:*

Los resultados del análisis químico se muestran en la tabla 1 donde es posible observar que el material está constituido en forma predominante por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , con abundante  $\text{CaO}$  y  $\text{ZnO}$ . La pérdida de peso por ignición (LOI) fue de 9.1 %.

Se analizaron 48 elementos complementarios y las tierras raras. No se incluyen en este informe ya que no hay antecedentes para su comparación.

**TABLA 1. ANÁLISIS QUÍMICO DEL POLVO DE ACERÍA**

Composición (%)											
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	MnO	MgO	CaO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	ZnO	LOI
54.77	5.85	1.58	2.70	4.33	9.10	0.38	1.02	0.10	0.34	10.50	9.10
ppm											
Cr	Ni	Cu	As	Ba	V	Mo	Sn				
1720	164	948	22	210	137	44	310				

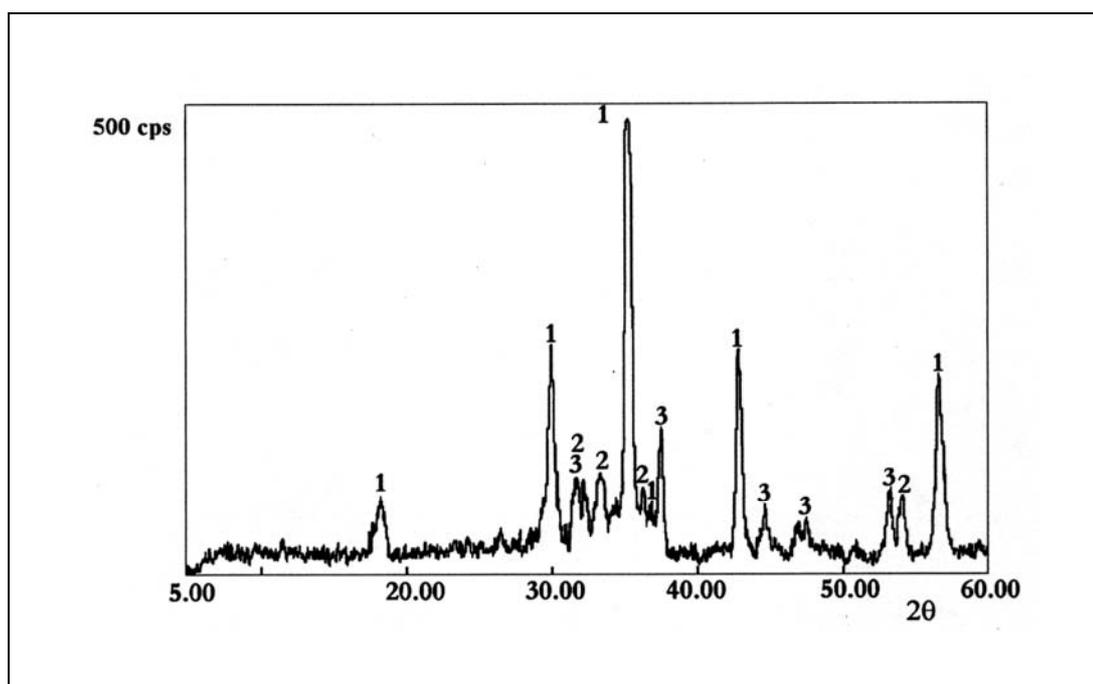
#### *Difractometría de rayos X*

El análisis por rayos X permitió determinar que el polvo de acería analizado está constituido en forma predominante por un compuesto que por su estructura cristalina se podría adjudicar a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (19-629) y/o magnesioferrita ( $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ ) (ICDD 36-398), con cantidades subordinadas

de cincita ( $\text{ZnO}$ ) (36-1451) y hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (33-664). En la figura 1 se muestra el difractograma obtenido.

Si bien la magnetita y la magnesioferrita son espinelas isomorfas, se concluyó que la mayor parte del material analizado es magnetita debido a sus características químicas y ferromagnéticas.

**FIGURA 1: DRX DEL POLVO DE ACERÍA. 1: Magnesioferrita - magnetita; 2: hematita; 3: cincita**

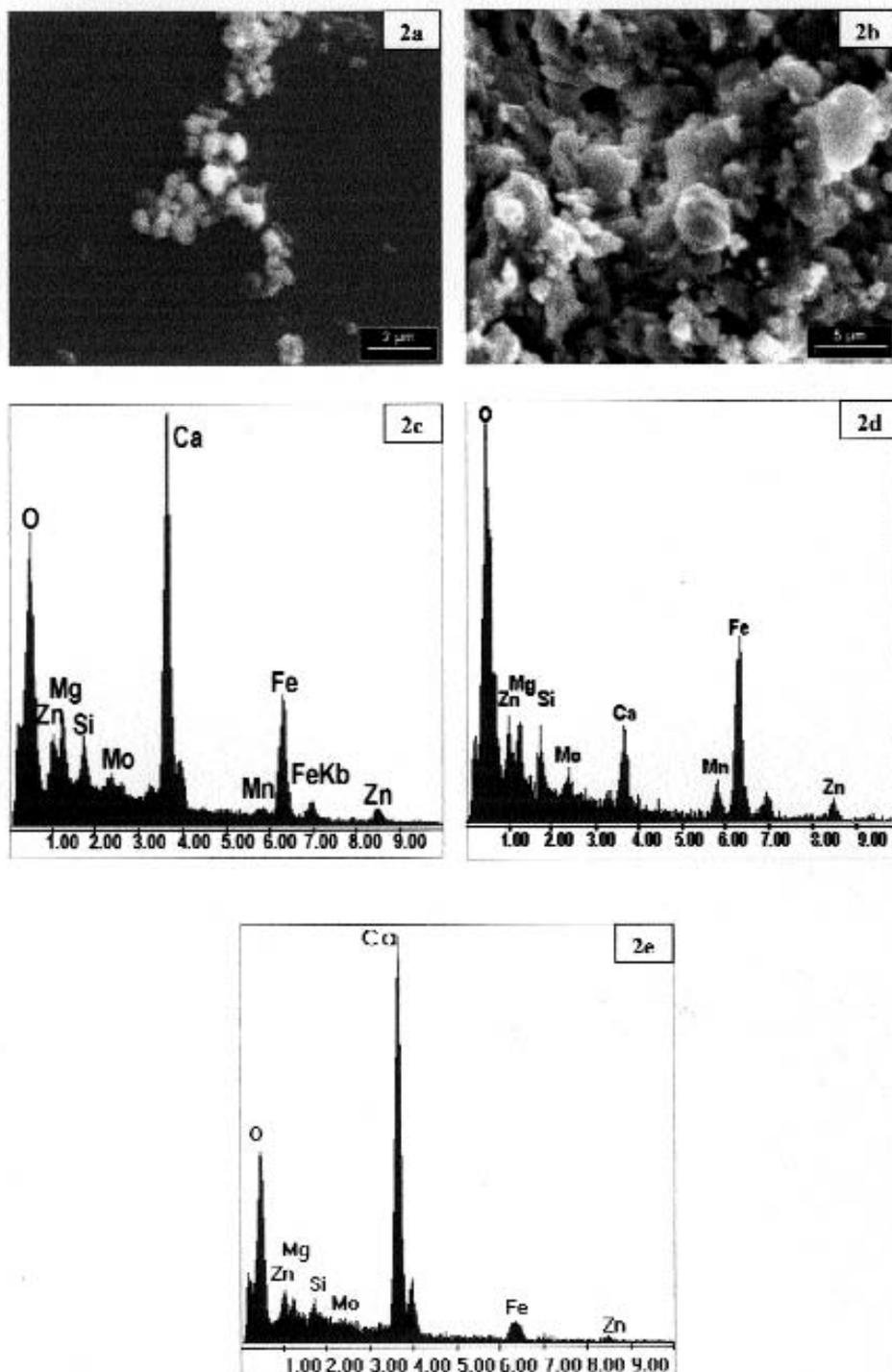


*Microscopía electrónica de barrido - EDAX*

El material fue dispersado a fin de poder determinar el tamaño de las partículas. En la figura 2a se observa que las partículas del polvo son en general esféricas, si bien aparece un material de hábito planar. El tamaño es muy pequeño (predomina el menor de 1 μ). Los resultados obtenidos del análisis del tamaño de grano varían mucho dependiendo del método de dispersión y del contenido de humedad. En la figura 2b se muestra

una imagen del polvo natural (sin dispersar), en la que puede observarse partículas esféricas y placas. Se analizó su composición química global por EDAX identificándose Ca predominante con cantidades menores de Fe, O, Si, Mg, Zn, Mn y escasa cantidad de Mo. (Figura 2c). El análisis de la composición de las partículas esféricas indica un predominio de Fe, asociado con Ca, Si, Mg, Zn y escaso Mo, como se observa en la figura 2d. Las formas planares están constituidas principalmente por Ca y O, adjudicados a portlandita (figura 2e).

**FIGURA 2: SEM - EDAX.** a: partículas de polvo dispersado. b: polvo natural. c: EDAX del material de la figura 2b. d: EDAX de las partículas esféricas. e: EDAX del material planar



### *Incorporación del polvo en morteros*

El mortero (mezcla de agua, arena y cemento) es un material plástico en estado fresco y que endurece en presencia de agua, dada la reacción del aglutinante que es hidráulico (Papadakis, 1988)

Para su elaboración se utilizó agua destilada, arena natural del río Paraná, y cemento Pórtland normal CP40 proveniente de la provincia de Buenos Aires.

La arena cumple con la norma IRAM 1633 "Arena normal" en cuanto a las características mineralógicas y de granulometría.

Se moldearon muestras prismáticas de sección cuadrada de 40x40x160 mm siguiendo la metodología dada por la norma IRAM 1622.

La elaboración del mortero se hizo mecánicamente como así también el moldeo y compactación de las probetas. Las muestras así obtenidas se desmoldaron y se curaron, sumergiéndolas hasta el momento del ensayo en agua a 20° C. Estas probetas se utilizaron para ensayos de flexión y compresión.

Se hicieron juegos de tres barras para ensayos a siete días, tres para veintiocho días de edad y tres para ensayos petrográficos. Resumiendo, de cada tipo de mortero se moldeaban nueve probetas prismáticas.

Las muestras para realización de ensayos de lixiviación se hicieron en moldes de vidrio cilíndricos de 160mm de largo x 14 mm de diámetro. Se compactó el mortero en tres capas con una varilla de vidrio. Las probetas se retiraron del molde en el momento en que se iba a comenzar el ensayo. De cada pastón se obtuvieron tres muestras.

Al trabajar con moldes de vidrio se logran probetas con buena terminación superficial y sin defectos visibles de llenado, ya que a priori se pueden observar discontinuidades o burbujas y corregir dichos defectos durante el moldeo.

### *Morteros empleados*

Se dosificaron tres morteros diferentes, manteniendo siempre constante la clase de cemento, calidad del agua de mezclado y curado, y tipo de arena. Solo se varió la relación agua/cemento. Es de hacer notar que según lo enunciado por Abrams (6), la resistencia de un mortero u hormigón es función del cociente entre la cantidad de agua y de cemento (a mayor relación menor resistencia mecánica). Para este trabajo se tomaron tres valores de agua/cemento 0,40; 0,50 y 0,60, con ello se lograron matrices cementicias de distinto comportamiento mecánico.

Se dosificaron otros morteros tomando los proyectados y adicionándole los polvos contaminantes en diferentes proporciones (5; 10 y 15 % del peso del cemento). Es así que a los tres morteros patrones se agregaron nueve morteros con adición.

La elección de la cantidad de adición fue empírica ya que la bibliografía no hace referencia a porcentajes ideales máximos para estabilizar.

Con las barras normalizadas se realizaron ensayos mecánicos, petrográficos y de lixiviación. Se confeccionaron cortes delgados de cada una y se estudiaron las características de la pasta para cada porcentaje de adición, comparándolas con la muestra patrón.

### *Estudio de fragüe*

Es sabido que un aglomerante hidráulico cuando se mezcla con agua para obtener una pasta de consistencia normal

(IRAM 1612), presenta sucesivamente dos fenómenos distintos que se desarrollan en el tiempo (Klich *et al.*, 1999).

- Aumento relativamente brusco de viscosidad acompañada de elevación de la temperatura de la pasta: comienzo de fragüe.
- Transformación progresiva y regular de la pasta en un bloque rígido: fin de fragüe y comienzo de endurecimiento.

Los fenómenos indicados se vieron alterados en las pastas debido a la presencia de los polvos que contenían cinc, que aun en débiles concentraciones como 1/10000 retardan el principio de fragüe (Papadakis *op cit.*).

Los compuestos de cinc, solubles en agua, actúan por reacción química, retardando la hidratación de los granos de cemento. Se hicieron ensayos comparativos de los tiempos de fragüe de pastas elaboradas con distintos porcentajes de adición, con respecto a los obtenidos para la pasta normal correspondiente al aglomerante. Los resultados obtenidos indicaron un gran retraso en el principio de fragüe de las pastas que contenían adiciones.

Lógicamente el fenómeno descrito para pastas se puso de manifiesto en los morteros. Estos comenzaban a fraguar, luego de haber transcurrido aproximadamente veinte horas de su amasado. Debido a este retraso, las probetas podían ser desmoldadas a las cuarenta y ocho horas, respetando el hecho de que el mortero permanecía en estado fresco aproximadamente un día, y se contaban los días para su ensayo a partir de la fecha en que la probeta comenzaba a estar en estado sólido.

Durante el período en que el mortero permaneció en estado fresco no se manifestó fenómeno de exudación alguno.

El tiempo de comienzo de fragüe se vio retardado en todas las probetas que contenían polvo pero este retraso aumentaba levemente con la relación agua/cemento y el porcentaje de adición. Resumiendo: las muestras que tuvieron comienzos de fragües más retardados son las correspondientes a relación a/c: 0,60 y cantidad de polvo 15%.

### *Estudio de las resistencias mecánicas*

Las probetas prismáticas se ensayaron a flexión (IRAM 1622) simplemente apoyadas en los extremos y cargándolas en el centro. El ensayo se realizó en muestras de siete y veintiocho días de edad conservadas según lo indicado anteriormente.

Luego del ensayo de flexión las dos mitades del prisma se conservan húmedas, se colocan placas metálicas de apoyo sobre las caras laterales de moldeo para hacer un perfecto contacto con la prensa, y se comprimen hasta la rotura.

Cada valor obtenido en ensayos de flexión, a una determinada edad, se llama módulo de rotura y en este trabajo es el promedio de tres determinaciones, y cada resultado de compresión es el promedio de seis determinaciones. Ningún valor individual puede tener diferencia, en más o menos 10% del promedio, de ser así se descarta el ensayo.

En todos los ensayos de flexión se vio que los morteros con polvo tienen un módulo de rotura algo superior (10%) con referencia a los patrones. En cambio los ensayos de compresión de morteros con adición arrojaron resultados semejantes respecto a los sin adición. Esto se debe, a que en general todas las variaciones que se producen en la estructura de poros se ponen rápida y claramente de manifiesto en los ensayos donde existen fibras traccionadas, no haciéndose notar de igual forma cuando toda las fibras están comprimidas

### Petrografía del mortero

Se estudiaron con microscopio de polarización las probetas patrón con relación a/c 0.4, 0.5 y 0.6 y se las comparó con las que contenían diferentes porcentajes de polvo.

Debido a que no se observaron diferencias entre las probetas elaboradas con diferentes relaciones agua cemento, la descripción se hará en forma genérica haciendo énfasis en los diferentes porcentajes de adiciones.

En todos los casos estudiados el mortero presenta muy buena compacidad y adherencia con los clastos del agregado. Se observaron escasas microfisuras, delgadas y vacías, consideradas normales por contracción durante el frague. En la figura 3 se muestran las imágenes de los morteros con relación a/c 0.50. 3a corresponde a la muestra patrón donde es posible observar el buen estado de la pasta, los contactos con la arena son netos, no se observan bordes de reacción.

De la comparación de las muestras patrón con las que contienen polvo de acería se observó un aumento en la carbonatación de la pasta y mayor porosidad aunque los poros son en general de menor tamaño. En las barras con 15 % de adición los poros se presentan parcial o totalmente rellenos de carbonato de calcio. Este fenómeno también se observó en los contactos con los agregados y en el mortero, aunque en este último caso el carbonato se distribuye homogéneamente sellando los interespacios vacíos.

La figura 3b corresponde al mortero a/c 0.50 con 5 % de adición donde se observan características similares a la muestra patrón. En la figura 3c (con 10 % de polvo) es posible notar un incremento en la porosidad así como carbonatación, principalmente en la pasta. En la figura 3d se observa la probeta con

15 % de adición, donde es abundante la carbonatación (c), tanto en la pasta como en los contactos agregado - mortero y en las paredes de las cavidades de aire. Es notable el incremento en la porosidad (p).

### Ensayos de lixiviación

Las probetas con relación a/c 0.4 y 0.6 y las que contenían 15 % de polvo de acería respecto del cemento, fueron sometidas a un tratamiento en autoclave a 150 °C, 150 atmósferas de presión en agua destilada durante 24 horas. Los porcentajes de pérdida de peso en las probetas con relación a/c 0.4 se incrementaron de 3.84 % en la muestra patrón a 6.72 % en la muestra con 15 % de adición. Los resultados cuando se trabajó con relación a/c 0.6 fueron similares (3.86 % y 6.07 % respectivamente).

Con estereomicroscopio pudo observarse que la superficie externa de las probetas con adición presentaban depositación de sales principalmente de calcio y cinc. Muestran un claro proceso de decoloración. Sobre cortes transversales, pueden observarse las texturas y los efectos que provocó el tratamiento, especialmente sobre el sector cementicio. Las figuras 4a y b corresponden a las probetas patrón con relación a/c 0.4 y 0.6 y las 4c y d muestran las características que presentan luego de ser tratadas en los ensayos de lixiviación. Sólo se observa una leve degradación el material de la interfase. En las figura 4e y f pueden reconocerse las texturas de las probetas con 15 % de adición de polvo de acería y en las figuras 4g y h el estado final luego del tratamiento. El cemento y la adición han sido movilizados con intensidad.

El líquido residual luego de realizados los ensayos de lixiviación se analizó por ICP. Los resultados se muestran en la tabla 2.

**TABLA 2: ANÁLISIS QUÍMICO DEL LÍQUIDO RESIDUAL, DE LOS ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN (PPB)**

Probeta	Ca	V	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
a/c 0.4								
Patrón	7150	55	0.8	150	0.112	68.3	68.6	11.5
15 % polvo	122000	278	230	880	0.800	-	860	200
a/c 0.6								
Patrón	2970	478	6010	152	0.165	22.0	28.0	13.2
15 % polvo	340000	82.8	41600	1240	1.700	40	1210	330

De los resultados obtenidos puede observarse un notable incremento en el contenido de Ca, Cu, Zn, Fe, V y Cr. Se registró una pequeña variación en el contenido de Co y un comportamiento errático en el Ni.

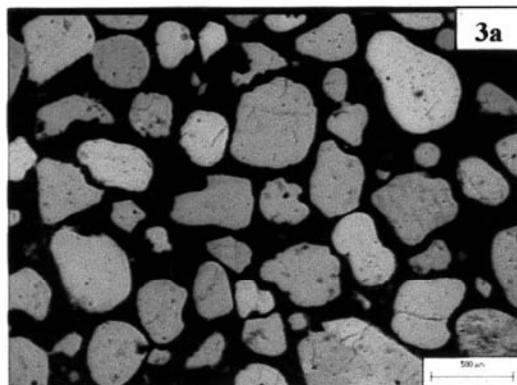
## 4. CONCLUSIONES

- La incorporación de polvos contaminantes en matrices cementicias sería altamente beneficioso desde el punto de vista de la conservación del medio ambiente ya que se lograría su estabilización, aunque debe considerarse que su degradación en el tiempo puede provocar la migración de elementos contaminantes.
- De los resultados de los ensayos mecánicos puede concluirse que las propiedades mecánicas no se ven alteradas aunque se produjo un incremento en la resistencia a la flexión en las probetas con polvos, fenómeno que no se

manifestó en los ensayos de compresión. No se evaluaron las modificaciones que provocarían en la trabajabilidad del mortero.

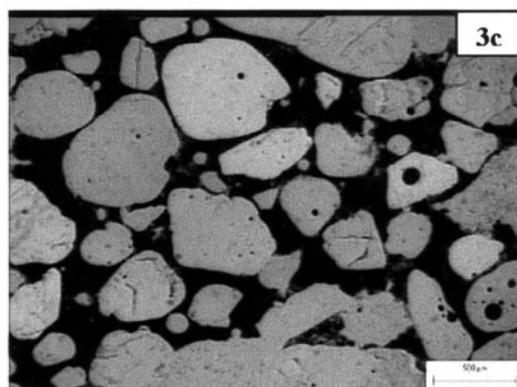
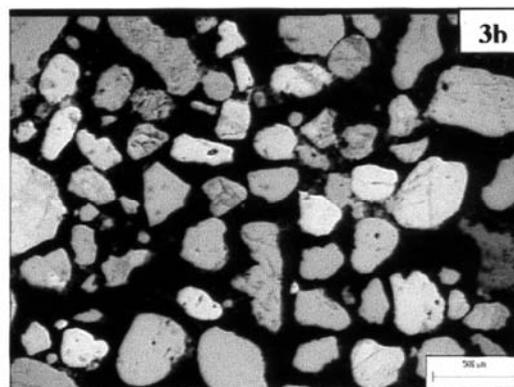
- Se produjo un retardo en el comienzo de fragüe en todas las probetas que contenían polvo y este retraso aumentaba levemente con la relación agua/cemento y el porcentaje de adición. Esto es debido a la presencia de ZnO en el polvo.
- En el estudio petrográfico se observó un incremento en la carbonatación y en la porosidad del mortero al aumentar el contenido de polvo.
- Los ensayos de lixiviación permitieron identificar elementos liberados al medio tales como Ca, Cu, Zn, Fe, V y Cr. El aumento del contenido de elementos lixiviados de las probetas analizadas se debe, a que éstos forman parte de los polvos y al incremento de la permeabilidad del mortero como consecuencia de la mayor porosidad.

**FIGURA 3: PETROGRAFÍA DEL MORTERO.  
MICROSCOPIA DE POLARIZACIÓN SOBRE LAS PROBETAS CON RELACIÓN ACUA/CEMENTO 0.50**



a. Mortero patrón.

b. Imagen de la muestra del mortero con 5 % de adición de polvo de acería.



c. Mortero con 10 % de adición de polvo.

d. Probeta con 15 % de polvo de acería. Se observa un incremento en la porosidad y carbonatación de la pasta.

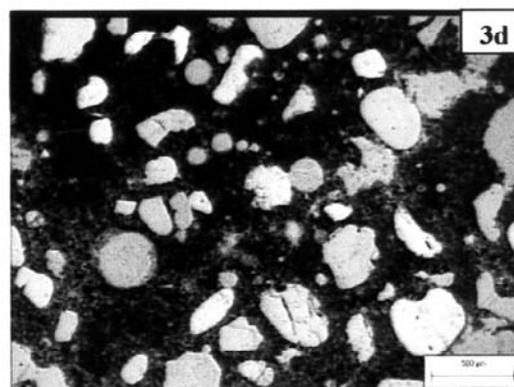
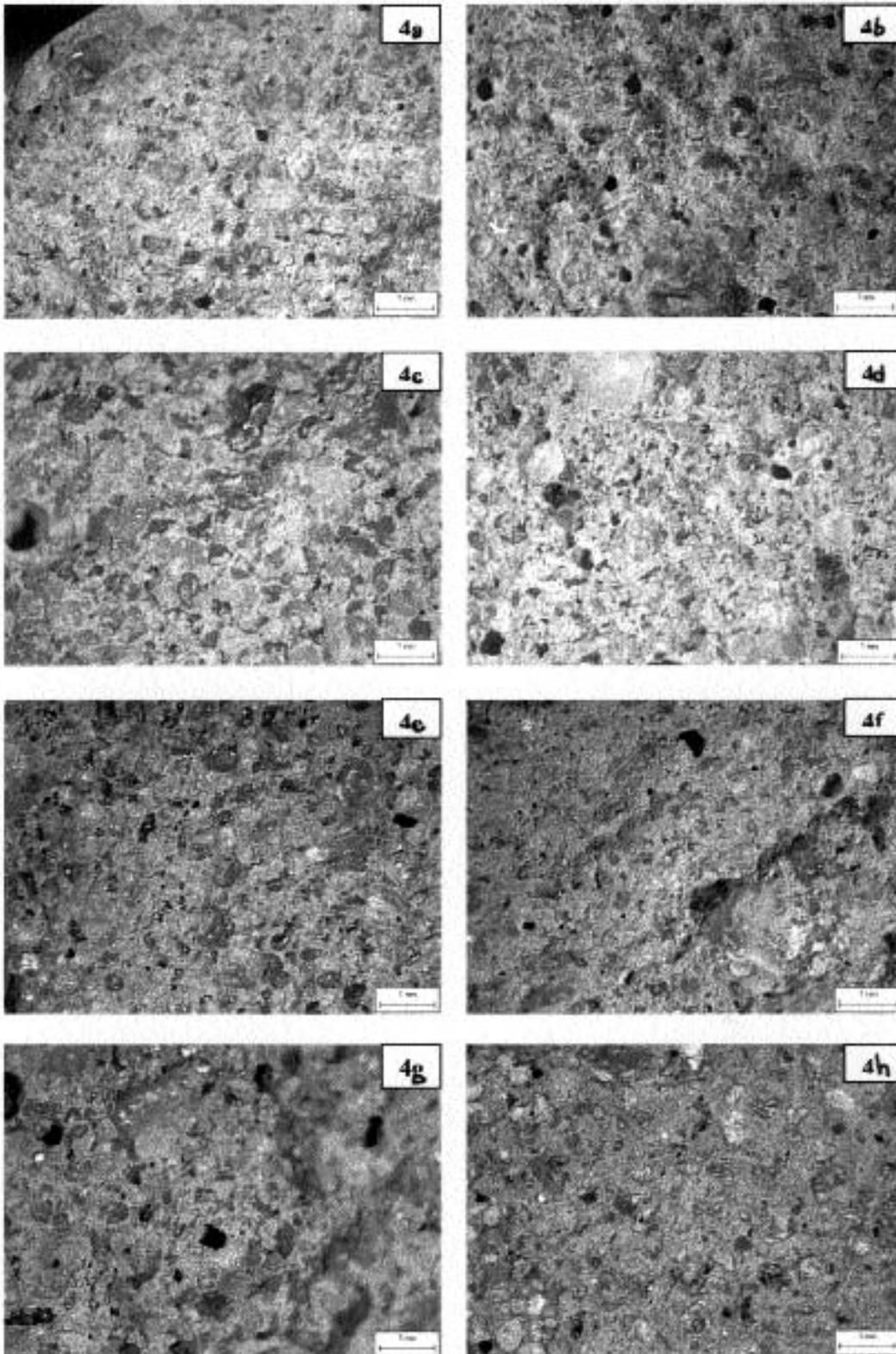


FIGURA 4: OBSERVACIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO DE LA SUPERFICIE DE LAS PROBETAS LUEGO DE LOS ENSAYOS DE LIVIXIACIÓN



- Se considera necesario incrementar los ensayos a fin de evaluar la movilidad de los elementos involucrados para poder predecir el comportamiento que tendrán hormigones estabilizados con este tipo de polvos en el tiempo. Este ensayo permitirá evaluar el período de degradación de los morteros y/u hormigones con el transcurso del tiempo.
- Es importante destacar que los morteros u hormigones elaborados con estos polvos deberían estar identificados, por ejemplo con un colorante, para evitar que al ser reciclados

liberen elementos contaminantes, que en una primera etapa estuvieron estabilizados, al ser expuestos a condiciones de lixiviación.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. y al CONICET por el apoyo brindado y al Sr. Rodolfo Salomón por la colaboración en la compaginación de las fotomicrografías.

## 6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- DOMÍNGUEZ E. A. AND R. ULLMANN. (1996).  
Ecological bricks made with clays and steel dust pollutants.  
*Applied Clay Science*. 11. 237-249.
- ICDD (1993).  
International Centre for Diffraction Data.  
*Mineral powder diffraction file. Databook*.
- IRAM 1612 (1982).  
Cemento Portland. Determinación de consistencia de pasta normal  
*Instituto de Racionalización argentino de Materiales*.
- IRAM 1622. (1973).  
Cemento Portland.  
*Método de determinación de la resistencia a la compresión y flexión*.
- IRAM 1633. (1965).  
Arena natural.
- KLICH I; B. BATCHELOR; L. P. WILDING AND L. R. DREES. (1999).  
Mineralogical alterations that affect the durability and metals containment of aged solidified and stabilized wastes.  
*Cement and Concrete Research*. 29. 1433-1440.
- NEVILLE Y BROOKS. (1998).  
Tecnología del concreto.  
*Ed. Trillas*.
- PAPADAKIS, M. (1988).  
Fabricación, características y aplicaciones de los diversos tipos de cemento.  
*Editores Técnicos S.A.*



# Evaluación preliminar de la inundación (crecida) repentina del 13 de abril de 2001 en la localidad de El Trapiche

## San Luis, Argentina

Tognelli, Gabriel <sup>1</sup> - Morosini, Augusto <sup>2</sup> - López, Fabio <sup>2</sup> - Vega, Eduardo <sup>2</sup>

### Resumen

La cuenca del río Trapiche, coordenadas Gauss Krugger X= 3.480.000, X= 3.496.000 Y= 6.334.000, Y= 6.340.000, está formada por las subcuencas del arroyo Virorco y Las Aguilas, cuyas nacientes se ubican en la vertiente oriental de las sierras de San Luis y drenan sus aguas hacia el este hasta alcanzar su nivel de base local conformado por el Dique de La Florida.

La localidad de El Trapiche se ubica a 40 Km. al noreste de la ciudad capital de San Luis, enclavada en la cuenca baja del río homónimo, se destaca por sus bellezas naturales y paisajísticas lo que le confiere una característica de pueblo con una dinámica económica fundamentada en el turismo.

En el presente trabajo se analizan los efectos que dio origen la creciente repentina ocurrida el 13 de Abril de 2001, la que ocasionó la pérdida de importantes daños materiales sin pérdidas de vidas humanas debido a que se produjo al mediodía lográndose evacuar a aquellas personas que corrían mayor riesgo. Para llevar a cabo este objetivo se realiza una evaluación preliminar de la situación de amenaza y de riesgo que presenta la localidad basado en un análisis geológico, geomorfológico e hidrológico de la cuenca, como así también vegetación y suelos.

Para el análisis geológico se tuvo en cuenta la litología y las estructuras geológicas que han condicionado el desarrollo, evolución y dinámica actual de la cuenca.

El análisis geomorfológico se llevó a cabo en dos escalas de trabajo, una basada en las fotografías aéreas a escala 1:20.000 (año 1963) de toda la cuenca, que conjuntamente con el plano de relevamiento planialtimétrico permitió describir las características morfométricas lineales, areales y de relieve. La otra a escala 1:6.000 (año 1998) abarca el sector centro urbano de la localidad de El Trapiche la que permitió confeccionar un mapa geomorfológico-hidrológico detallado y determinar a partir de éste los sectores de mayor vulnerabilidad.

Por otra parte se estudiaron desde el punto de vista hidrológico, y a partir de una estación telemétrica, (destruida por esta creciente), las intensidades de las precipitaciones, que conjuntamente con los perfiles transversales realizados en el campo y utilizando los coeficientes de rugosidad de Manning del cauce, se estimó la velocidad de flujo.

El conjunto de datos obtenidos permitió determinar los caudales máximos probables de este evento.

Entregado: 18 de Octubre de 2001 ■ Aceptado: 05 de Diciembre de 2001

1. Universidad Nacional de San Luis; Departamento de Geología, Chacabuco y Pedernera, 1<sup>er</sup> piso. - 5700 - San Luis.  
e-mail:tognelli@unsl.edu.ar
2. Universidad Nacional de San Luis; Departamento de Geología, Chacabuco y Pedernera 1<sup>er</sup> piso. - 5700 - San Luis.  
e-mail:fabio22ls@yahoo.com

### 1. INTRODUCCIÓN

La frecuencia e intensidad con que las inundaciones repentinas están afectando a distintas localidades de la provincia de San Luis, en particular a El Trapiche, hace necesario un estudio que determine la vulnerabilidad y el riesgo de los elementos a este tipo de amenazas naturales e identifique un programa



**FOTOGRAFÍA 2: DESTRUCCIÓN FORESTAL Y DE ZONAS DE RECREACIÓN**



**FOTOGRAFÍA 3: VIVIENDA QUE MUESTRA EN SUS PAREDES EL NIVEL DE CRECIDA**



## **2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **Ubicación geográfica**

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento Pringles, Provincia de San Luis, República Argentina. La localidad de El Trapiche se ubica a 40 km al noreste de la ciudad capital de San Luis, se accede a la misma desde la ciudad capital a través de la ruta provincial N°20 hasta llegar a la localidad de El Volcán, desde allí se transita 20 Km. por ruta N°9 hasta llegar a El Trapiche.

La cuenca del río Trapiche, coordenadas Gauss Krugger X= 3.480.000, X= 3.496.000 Y= 6.334.000, Y= 6.340.000, está formada por las subcuencas del arroyo Virorco y Las Aguilas, cuyas nacientes se ubican en la vertiente oriental de las sierras de San Luis y drenan sus aguas hacia el este hasta alcanzar su nivel de base local conformado por el Dique de La Florida.

## **3. METODOLOGÍA**

El trabajo se llevó a cabo a partir de un análisis en dos escalas una regional y otra local. El análisis a escala regional (1:100.000

complementándose con fotografías aéreas a escala 1:20.000), correspondió a la definición de las características generales de la cuenca que tienen una influencia directa sobre las inundaciones repentinas, ellas son: clima (temperaturas, precipitaciones etc.) relieve (pendientes) geología (litología y estructuras geológicas que condicionaron el desarrollo, evolución y dinámica de la actual cuenca), geomorfología cuantitativa y red de drenaje (donde se describen las características lineales y areales de la cuenca).

Esta etapa del trabajo se llevó a cabo fundamentalmente en gabinete y está basado en el análisis del trabajo de *Cruz Coronado y Piccirilli (1982)*, quienes describen la geomorfología cuantitativa de la cuenca del Río Quinto a la que pertenece la cuenca del río El Trapiche. Por otro lado se complementaron estos datos con un análisis bibliográfico y cartográfico publicado e inéditos.

El análisis a escala local se realizó con base en las fotografías aéreas color, escala 1:6.000, tomadas en el año 1998 por la provincia para el relevamiento fotogramétrico para la actualización del padrón catastral de zonas urbanas. De ellas se obtuvo un mapa geomorfológico, a la misma escala, con énfasis en las geoformas de origen fluvial, tales como niveles aterrazados, lecho ordinario o de inundación actual, etc. Por otro lado se realizaron tareas de campo como levantamiento topográfico de perfiles transversales del río en distintos sectores donde se encontró evidencia del nivel de crecida (restos de vegetación en alambrados, depósitos fluviales, marcas en las paredes de las viviendas, etc.) y su vez la presencia de todos los elementos geomorfológicos como niveles de terrazas y aquellos producidos por el hombre como las carreteras y viviendas.

Dichos perfiles sirvieron de base para calcular las áreas inundadas. Se aplicó la ecuación de Manning para determinar la velocidad del flujo. Estos datos sirvieron para estimar el caudal en las distintas secciones transversales relevadas.

Se realizaron entrevistas con lugareños que habitan a la vera del río, principales damnificados y con autoridades municipales con el fin de obtener datos históricos de eventos similares.

La superposición de mapas temáticos (catastro, carretera, topográfico, geomorfológico, etc.) se realizó con el programa ILWIS 2.1, SIG, los que permitieron delimitar las zonas urbanizadas afectadas por la crecida y la realización de los mapas finales.

#### 4. CLIMA

El clima de la zona en estudio, de acuerdo a las características climáticas del centro del territorio argentino donde está ubicada es de tipo semiárido.

La temperatura media anual que presenta ésta zona (Estación La Florida) es de 17,4°C, siendo la máxima temperatura media mensual para el mes de enero con 23,1°C y la mínima media anual para el mismo periodo es de 11.4°C para el mes de junio.

Las temperaturas máximas se presentan en el mes de diciembre con valores de 42°C y las mínimas durante el mes de junio con valores de -6°C. Estos valores muestran una gran amplitud térmica llegando a ser la misma de 48°C.

El módulo pluviométrico anual medio para el período 1950/81, es de 649,7mm, con una desviación típica de 61mm (*Cruz Coronado y Piccirilli 1982*). El área del río o cuenca Trapiche que abarca 144 Km<sup>2</sup> está comprendida entre las isoyetas de 650 y 700 mm. (*Esdeco S.R.L 1970*).

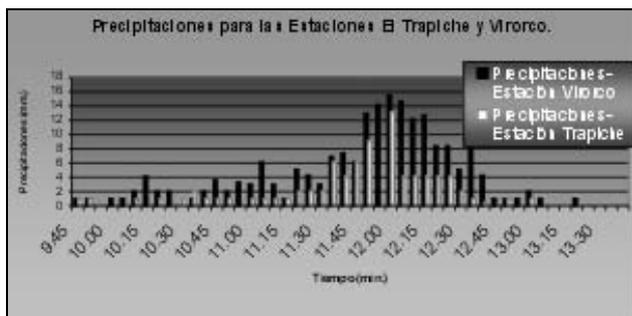
El 47,24% de las precipitaciones en la zona de estudio se produce en los meses de diciembre, enero, febrero; el 25,13% en los meses de setiembre, octubre, noviembre; el 22% durante los meses de marzo, abril, mayo y el 5,29% para los meses de junio, julio y agosto (*Cruz Coronado y Piccirilli 1982*).

En el cuadro N° 1 se muestran las intensidades máximas por hora e intensidades máximas en 5 min. en la hora para las estaciones pluviométricas de Viorco y El Trapiche.

**CUADRO N° 1: INTENSIDADES MÁXIMAS PARA CADA HORA E INTENSIDADES MÁXIMAS EN 5 MINUTOS EN CADA HORA PARA LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS VIORCO Y TRAPICHE**

Intervalos(hs)	Viorco			Trapiche		
	Intensidad Total (mm)	Int.Max en 5 mm	Hora	Intensidad Total (mm)	Int.Max en 5 mm	Hora
09:45 - 10:40	17,1	4,1	10:15	8	2	10:35
10:45 - 11:40	48,7	7,4	11:40	22,2	6,1	11:35
11:45 - 12:40	122,7	15,5	12:00	52,9	13,2	12:00
12:45 - 13:40	7	2	13:00	3,5	1	12:55; 13:05

**FIGURA N° 2: HISTOGRAMA PARA LAS ESTACIONES EL TRAPICHE Y VIORCO PARA EL DÍA 13-04-2001**



#### 5. GEOLOGÍA

La zona de estudio se encuentra ubicada en el sector suroeste de la Sierra de San Luis, serranía austral de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Orientales (*Ramos 1998*).

Litológicamente el área está constituida por basamento cristalino formado por rocas metamórficas de grado bajo a medio, rocas ígneas plutónicas de diferentes ciclos magmáticos paleozoicos y complejos máficos y ultramáficos, cuyas edades van desde Cámbrico inferior hasta el Devónico, asociados a filones pegmatíticos y diques aplíticos. La secuencia estratigráfica comienza con los esquistos, gneises, metacuarcitas y metareniscas del Complejo Metamórfico Pringles de edad Cámbrico Superior, mientras que las filitas, cuarcitas y metavolcanitas integran la

Formación San Luis de edad Cámbrico inferior la cual se encuentran al este de la zona de estudio. La dirección de equistocidad es N-S.

Emplazados en una zona de cizalla a lo largo de una faja milonítica de dirección NNE-SSW se encuentran los Complejos máficos y ultramáficos de los cuerpos de las Aguilas, Virorco, La Melange etc de edad de intrusión Ordovícica inferior. Las rocas ígneas se clasifican como granitoides sincinemáticos.

Una posterior etapa intrusiva donde se emplaza el Granito El Trapiche ocurre en el Ordovícico Superior que intruye al complejo metamórfico.

El granito La Escalerilla de edad Devónica temprana, correspondería al ultimo evento intrusivo (Ortiz Suarez et al., 1992., Sims et al. 1997., Amancay Martínez, 1999., Morla, P, 2001).

Culminando la secuencia estratigráfica se presentan depósitos eólicos y fluviales compuestos de gravas, arenas y limos de edad Holocena relleno de bajos topográficos como el de la localidad de El Trapiche (Mapa N° 2).

Estructuralmente las Sierras de San Luis al formar parte del Sistema de las Sierras Pampeanas responden a una estructura de bloques basculados durante el ciclo Ándico, ocurrido en el Mioceno inferior que limitan depresiones longitudinales cubiertas por relleno sedimentario.

Esto produjo cordones controlados por fallas inversas de alto ángulo de orientación meridiana, cuyo bloques presentan un borde occidental elevado y un flanco oriental con suave pendiente hacia el este. También se encuentran fracturamiento normal atrás del frente de falla principal

Los principales rasgos estructurales de la zona de la cuenca del río Trapiche, están representados por:

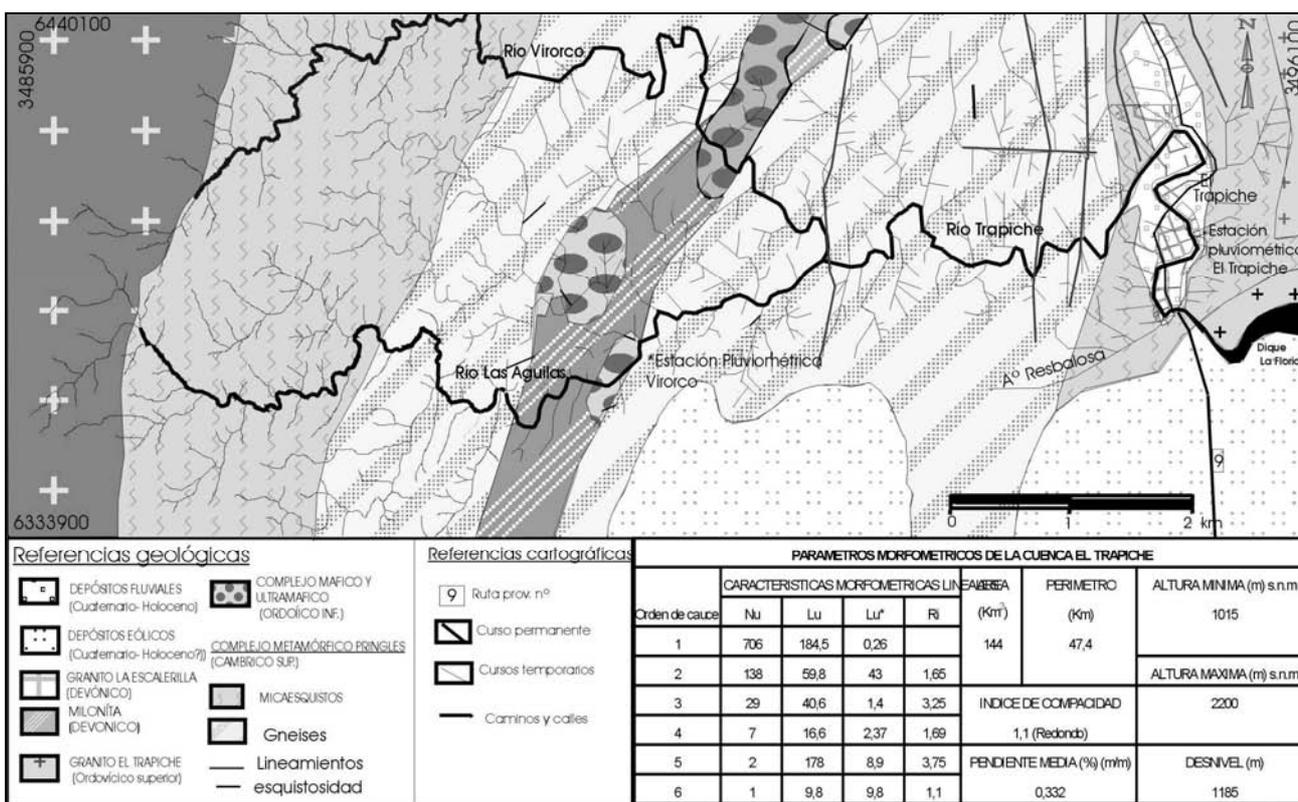
- a) Estructuras de deformación esencialmente dúctil que caracteriza a la fabrica interna de las rocas del basamento cristalino. Estas deformaciones han sido el resultado de diversos episodios tectomagmáticos ocurridos durante el Paleozoico inferior. (Kilmurray y Dalla Sada 1977; Criado Roque et al. 1981b; Ortiz Suárez et al. 1992; Sims et al. 1997).

En las diferentes unidades metamórficas del basamento de la sierra de San Luis, se destaca una estructura planar dominante de rumbo NNE-SSO y buzamiento de alto ángulo al E y O.

- b) Estructuras de deformación frágil de los macizos cristalinicos, dependientes de las ultimas reactivaciones ocurridas durante la orogenia andina.

Se reconocen varios lineamientos regionales de importancia, al menos cuatro de rumbo N-S, dos de dirección NW-SE y E-W.

FIGURA 3: MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL TRAPICHE



6. GEOMORFOLOGÍA

Regionalmente los rasgos geomorfológicos de la Provincia de San Luis responden a un control estructural conocido como estructura de bloques y depresiones longitudinales, destacan dos grandes áreas:

- 1. Serranías
- 2. Planicies

Las áreas de serranías se estructuran en bloques con diferente desplazamiento vertical y una variada inclinación de bloques. En éste ambiente las mayores alturas se concentran en el sector NW, hasta que finalmente se hunde en los depósitos pedemontanos y loessoides de la Depresión Oriental.

Las áreas de planicies están constituidas por los vestigios de una antigua superficie regional de erosión, es decir, una peneplanicie resultante de un ascenso compresional que estructuró la

serranía y mediante procesos de erosión ésta planicie alcanzó la forma actual.

La reconstrucción de la antigua superficie de erosión sugiere que su pendiente general se incrementa desde el norte del área (4°E) hacia el sur (hasta 8°E) y si bien no se han podido distinguir desmembramientos tectónicos de este plano, es visible una brusca disminución de la pendiente, generando una charnela en la paleotopografía ubicada en coincidencia aproximada con el eje definido por la zona de cizalla El Totoral - Los Tapiasles (Costa 1992 ; Costa et al. 1998).

El otro elemento morfológico son las ruinas de aparatos volcánicos terciarios.

Localmente el curso superior del Río Trapiche es sinuoso, con pendiente media a alta, corriendo "encajonado" en abruptas gargantas con perfiles en V controladas por la litología y/o estructura. El río Trapiche tiene dirección oeste-este en este tramo.

La cuenca alta, conformada por los ríos Virorco y Las Águilas posee un diseño fluvial dendrítico, en especial en aquellos de orden inferior; se pone así de manifiesto la influencia litológica propia de ambientes de basamento cristalino.

Hay un predominio de los lineamientos estructurales en el tramo inferior y medio del río Trapiche; de este modo fracturas, lineamientos, diaclasas, planos de esquistocidad o foliación, determinan la localización del curso fluvial y la dirección norte-sur. Cambia la pendiente y se establece un régimen meandrónico

de baja sinuosidad, controlado por cerros aislados de bloques de basamento que no han permitido la conformación de una amplia llanura de inundación (fig. 7). Un factor importante como control estructural habría sido la intrusión del granito El Trapiche que obstaculiza el curso. Cabe destacar también que la pendiente en este sector es menor que en la cuenca alta y media, factor que se ve reflejado en el cambio de la dinámica del río, menor poder de transporte (régimen energético menor), está evidenciado en depósitos sedimentarios producto de la descarga fluvial con niveles aterrizados donde está asentada la población. Por último el río desemboca en el sector oeste del embalse La Florida, donde se encuentra su nivel de base local.

Del estudio de la geomorfología fluvial de la cuenca baja (zona de mayor interés debido a los objetivos del trabajo) se distinguen 2 niveles de terrazas bien diferenciadas y 1 nivel prácticamente plano, más elevado que podría corresponder a un 3er nivel de terraza, denominado terreno aterrizado, todos desarrollados sobre sedimentos cuaternarios fluviales. Además se puede distinguir sobre el lecho barras aluvionales centrales y laterales, de tipo poin-bart y un pequeño delta en la entrada del dique La Florida.

Las características morfométricas de la cuenca del río Trapiche, de acuerdo al concepto de orden de cauce de Horton (1932) y modificado Strabler (1952) definen al cauce principal como de orden 6 (representados en el cuadro 2).

En el cuadro 2 se dan a conocer los parámetros lineales y areales determinados para la cuenca

## CUADRO N° 2: PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS, LINEALES Y AREALES PARA LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE

Nu: Ley de n° de cauces. Lu\*: Longitudes medias de los cursos de cada orden

Cuenca El Trapiche							
Orden de cauce	Características Morfométricas LII				AREA (Km <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (Km)	ALTURA MINIMA (m) s.n.m. 1015
	Nu	Lu	Lu*	Ri			
1	706	184,5	0,26		144	47,4	
2	138	59,8	46	1,65			
3	29	40,6	1,4	3,25			ALTURA MÁXIMA (m) s.n.m. 2200
4	7	16,6	2,37	1,69			
5	2	178	8,9	3,75			
6	1	9,8	9,8	1,1			
					ÍNDICE DE COMPACIDAD 1,1 (redondo)		
					PENDIENTE MEDIA (%) (m/m) 0,6		DESNIVEL (m) 1185

## 7. SUELOS, USO Y APTITUD DE LAS TIERRAS

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de dos unidades definidas por la carta de Suelo y Vegetación de provincia de San Luis:

### Áreas Interserranas

El material originario que conforma los suelos de esta área es material sedimentario loésico de textura franco a franco arenoso muy calcáreo presentan un débil desarrollo genético, moderadamente provistos de materia orgánica en los 25 cm superiores. En todo el espesor del perfil se observan gravilla distribuida en no más del 5%, arcilla 7%, el limo total un 23% y el resto son arenas, de las cuales arenas finas y muy finas suman un 55% clasificación

La permeabilidad es moderada, el escurrimiento es rápido, el drenaje natural algo excesivo. Los más representativos son los Haplustoles énticos.

Se registran pendientes de más de 2% y existe erosión hídrica y eólica moderada. El carbonato calcio se encuentra generalmente a los 50 cm de profundidad o en algunos casos en superficie.

Los suelos de ésta unidad poseen una buena aptitud para el uso agrícola (maíz, sorgo y pasturas anuales). Aptitud clase IV con porciones de clase IIIsc y VIec. Las limitaciones presentes exigen prácticas de conservación con asesoramiento profesional.

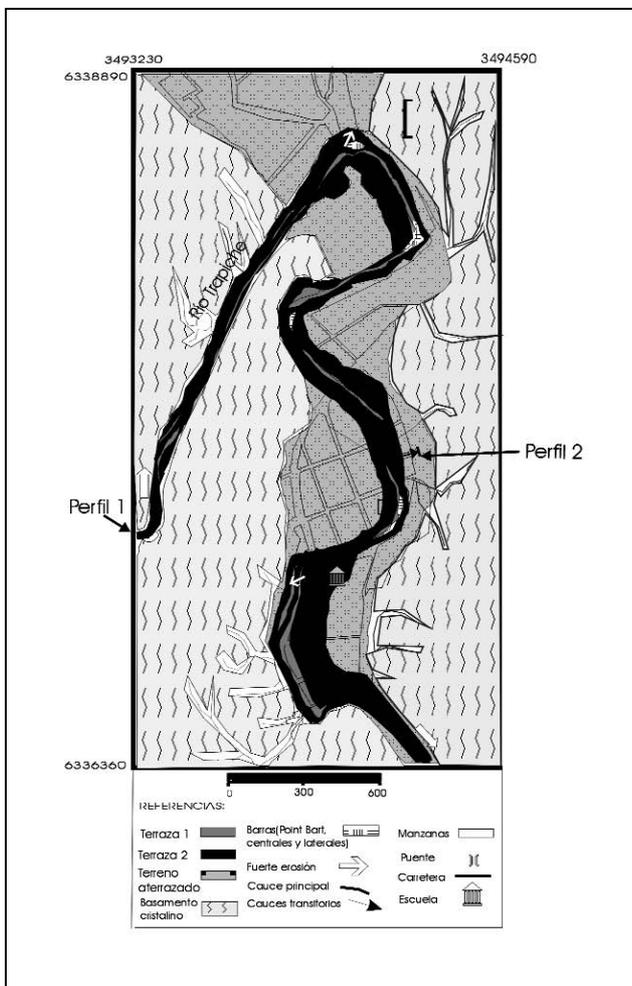
En las pampas y laderas serranas, arbustales de romerillo o de chilcha melosa y palmares. En los suelos más profundos de las pampas serranas o a lo largo de los cursos de agua, la vegetación natural se ha alterado completamente dando lugar a la agricultura. Las parcelas abandonadas son ocupadas por pajonales de Festuca.

### Sierras de San Luis

Se observan suelos muy someros, fuertemente inclinados, poco desarrollados y con escasa materia orgánica, en todo el

perfil se observan clastos provenientes de basamento cristalino. En los sectores de alta rocosidad, se observan suelos muy someros y fuertemente inclinados clasificados como Ustortentes típicos y líticos.

**FIGURA 4: MAPA DE GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL DE LA LOCALIDAD EL TRAPICHE**



Las terrazas y laderas suaves son aprovechadas en cultivos anuales como maíz y papa, el resto es destinado al pastoreo y en ocasiones se queman los pastizales naturales serranos para aprovechar el rebrote como forraje. Clase de aptitud IV - VII.

La variedad de fisonomías es amplia según la altura, exposición, pendiente, suelo e intervención humana. Se encuentran bosques abiertos de tala, molle, chañar, y quebracho blanco en las quebradas. Bosques abiertos de molles de beber en las laderas, bosquesillos de espinillo, pajonales de Festuca y Estipa y pastizales de una gran variedad de gramíneas estivales.

**8. HIDROGRAFÍA**

El Río Trapiche, resulta de la confluencia del arroyo de Las Águilas y del Río Virorco.

El arroyo de las Águilas nace en el cerro Suyuque al sur del cerro Retana, recibe numerosos afluentes, siendo los más importantes el Corralito, Alto, el Salto, y el Puestito, mediante una obra hidráulica ubicada a 7Km de su nacimiento sus aguas son derivadas hacia el arroyo los Molles, que desemboca en el embalse Potrero de los Funes.

El río Virorco en su curso superior pasa entre los cerros Dormidero y Bola, reciben las aguas que escurren, hacia el Este entre el Peñón y Retana. En su curso inferior recibe los arroyos Pampita Quebrada Grande y de la Huerta.

El curso del río Trapiche es sinuoso y encajonado hasta desembocar en el sector oeste del embalse La Florida (Cruz Coronado y Piccirilli 1982).

La cuenca en estudio presenta características típicas de los sistemas torrenciales de zonas serranas e interserranas que tienen alta participación en la generación de crecientes repentinas en base a la fuerte energía del relieve, lo que implica máxima velocidad y poder de arrastre de la escorrentía sobre la baja permeabilidad de los materiales geológicos de superficie, ello se traduce en un drenaje excesivo y rápido, que responde a la forma tipo casi redonda a óvalo-redonda de la cuenca de recepción (Ic: 1,1), que indica cortos y similares tiempos de concentración. A esto, se le suma la alteración a que está expuesta la vegetación natural, lo que a generado un brusco cambio en la relación escorrentía-infiltración, aumentando considerablemente la primera con respecto a la segunda, y el efecto orográfico que produce el cordón de la sierra, que contribuye en la formación de tormentas convectivas.

Según datos medidos por el Departamento de Hidrología, en la localidad del Trapiche entre los años 1952 a 1983, el río tiene un módulo diario de 0,795 m³/s.

El perfil 1 presenta un valle en forma de V sin llanura de inundación, solamente algunas barras laterales y longitudinales con gravas de 0.5 a 5 cm de diámetro a diferencia del perfil 2 que posee una pequeña llanura de inundación correspondiente

**CUADRO Nº 3: ÍNDICE DE COMPACIDAD Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA LA CUENCA DE EL RÍO TRAPICHE**

Nota : :aIC: 1,1 la forma de la cuenca será del tipo casi redonda a óvalo-redonda (fig.a). Cuenas redondeadas tienen una respuesta más rápida, concentrando la descarga en un menor tiempo, mientras que las cuencas de forma alargada ocurre lo inverso.

	Formula	Parámetros utilizados	Resultados
Índice de Compacidad	IC: $0,28 \times P / A$	A: área en Km <sup>2</sup> = 144 P: perímetro en Km. =47,4	IC = 1,1 <sup>a</sup>
Tiempo de concentración (min)	$Tc: 0,94 \times L^{0.6} \times n^{0.6} / (i^{0.4} \cdot Sf^{0.5})$ Ecuación de onda cinemática <sup>1</sup>	L: longitud del curso principal (pies)= 40,223 pies n: coeficiente de Manning = 0,1 i: intensidad media de lluvia (pulg/h)= 1.388 Sf: pendiente media del curso principal (pies/pie)= 1,968	Tc= 97.8 min.

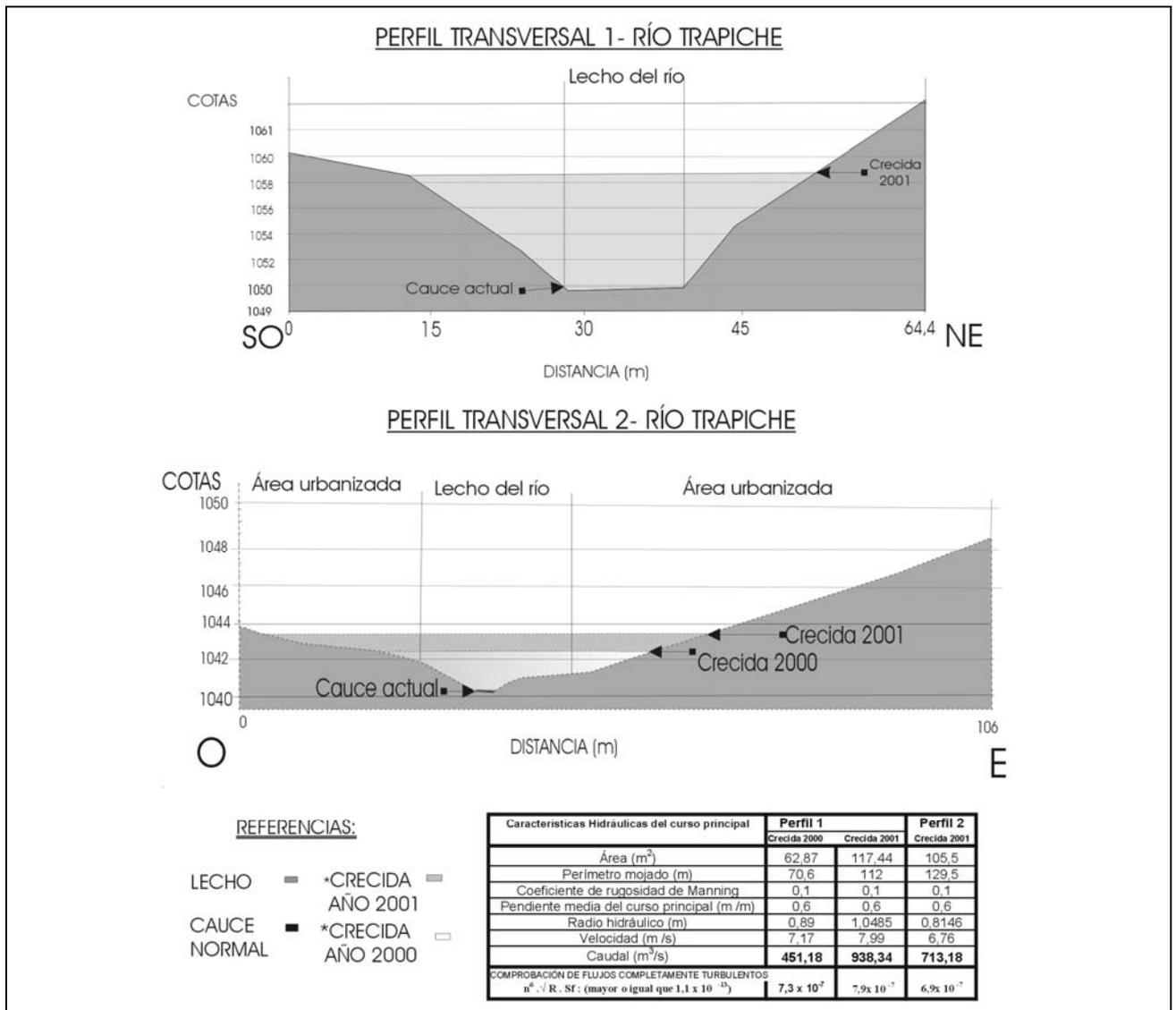
**CUADRO N° 4: CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL RÍO TRAPICHE PARA LOS PERFILES 1 Y 2 DE LAS CRECIDAS DEL AÑO 2000 Y 2001**

Características Hidráulicas del curso principal	Perfil 1		Perfil 2
	Crecida 2000	Crecida 2001	Crecida 2001
Área (m <sup>2</sup> )	62,87	117,44	105,5
Perímetro mojado (m)	70,6	112	129,5
Coefficiente de rugosidad de Manning <sup>1</sup>	0,1	0,1	0,1
Pendiente media del curso principal (m /m)	0,6	0,6	0,6
Radio hidráulico (m)	0,89	1,0485	0,8146
Velocidad (m /s)	7,17	7,99	6,76
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	451,18	938,34	713,18
COMPROBACIÓN DE FLUJOS COMPLETAMENTE TURBULENTOS $n^6 \cdot \sqrt{R} \cdot Sf$ : (mayor o igual que $1,1 \times 10^{-13}$ ) <sup>2</sup>	$7,3 \times 10^{-7}$	$7,9 \times 10^{-7}$	$6,9 \times 10^{-7}$

Nota: <sup>1</sup> El coeficiente de rugosidad de Manning tiene un valor de 0,1 que corresponde a canales naturales con matorrales y árboles.

<sup>2</sup> La ecuación de Manning es válida para flujos completamente turbulentos y se debe realizar la siguiente comprobación:

$$n^6 \cdot \sqrt{R} \cdot Sf : (\text{mayor o igual que } 1,1 \times 10^{-13})$$

**FIGURA N° 5: PERFILES TRANSVERSALES PARA LA CUENCA BAJA DEL RÍO TRAPICHE**

al primer nivel de terrazas, un segundo nivel de terrazas ( nivel aproximado de la crecida ) y un terreno aterrazado que representaría un tercer nivel de terrazas. El perfil 1 no se encuentra en zona urbanizada.

El perfil 2 muestra daños en construcciones civiles (carreteras, viviendas y daños materiales en inmuebles) también existe evidencia de perdidas forestales (árboles arrancados, restos de matorrales, etc).

A modo de ejemplo y en una zona aproximada al perfil 2 se localiza una escuela primaria, que fue muy afectada por la inundación ya que está ubicada dentro de la zona delimitada por el segundo nivel de terrazas el cual fue desbordado.

A su vez en esa zona el cauce de crecida estaría obturado por un terraplén artificial que forma parte de un puente sobre la ruta provincial N° 9 que atraviesa la ciudad del Trapiche. Este elemento actuó como obstáculo en la dinámica del río produciendo la pérdida de energía de sustentación y por ende la depositación de sedimentos de grano medio pero principalmente de grano fino.

### 9. CONCLUSIONES

Por condicionamiento estructural, la cuenca baja del río Trapiche donde se localiza la población está sujeta a un importante grado de vulnerabilidad ante la ocurrencia de crecientes repentinas, tanto de carácter ordinario como extraordinario. Los elementos y trazas geomorfológicas detectados en el análisis fotogeomorfológico, el análisis hidrológico de los perfiles, datos recabados en el trabajo de campo (marcas en árboles y casas, depósitos de gravas y vestigios de vegetación que marcan el nivel de crecida alcanzado), y comentarios de los pobladores así lo indican. La actual distribución de las construcciones civiles implica ante este hecho un importante grado de riesgo.

La posición geomorfológica de la localidad El Trapiche presenta algunas desventajas, se encuentra ubicada en el sector interserrano situación que hace que el pico de crecida llegue rápidamente, acortando el tiempo de evacuación tal como lo indicado por el índice de compacidad (Ic). Las características litológicas, estructurales y morfométricas de la cuenca favorecen a una rápida concentración del agua de lluvia disminuyendo el tiempo de llegada de la crecida a la población. Se estima en 97.8 minutos el tiempo de concentración para la cuenca.

Los límites hasta donde se extendió la creciente ocurrida el 13 de abril del 2001 reafirman un carácter extraordinario del evento, dado que la terraza 2 donde se asienta una parte de la población fue inundada, la ruta provincial N° 9 en este sector fue destruida.

Los caudales calculados en los perfiles 1 y 2 fueron de 938, 3 y 713,1 m<sup>3</sup>/ seg. respectivamente, superando los caudales de recurrencia milenaria (datos proporcionados por la Dirección de Hidráulica de la Prov. de San Luis para 1970).

El río, según datos medidos en la localidad del Trapiche en el entorno de los años 1952 y 1983, tiene un módulo de 0,795 m<sup>3</sup>/ seg., es evidente entonces que ante eventos de tal magnitud el cauce normal del río se verá rebalsado, poniendo en peligro las propiedades asentadas en sus márgenes.

Ante estas perspectivas y con los datos ya obtenidos deberían preverse obras estructurales y no estructurales para la defensa de las zonas más comprometidas. En los sectores que abarcan la terraza 1, lecho de inundación normal del río en donde se producen crecidas anuales en las estaciones estivales como la ocurrida el pasado año con un caudal de 451,18 m<sup>3</sup>/seg. no deberían

ser utilizados en construcciones civiles de ningún tipo, ya que las mismas actuaron en la última crecida como obstáculo del río, provocando flujos turbulentos con alto poder destructivo.

FIGURA N° 6: MAPA DE INUNDACIÓN (CRECIDA) DEL AÑO 2001

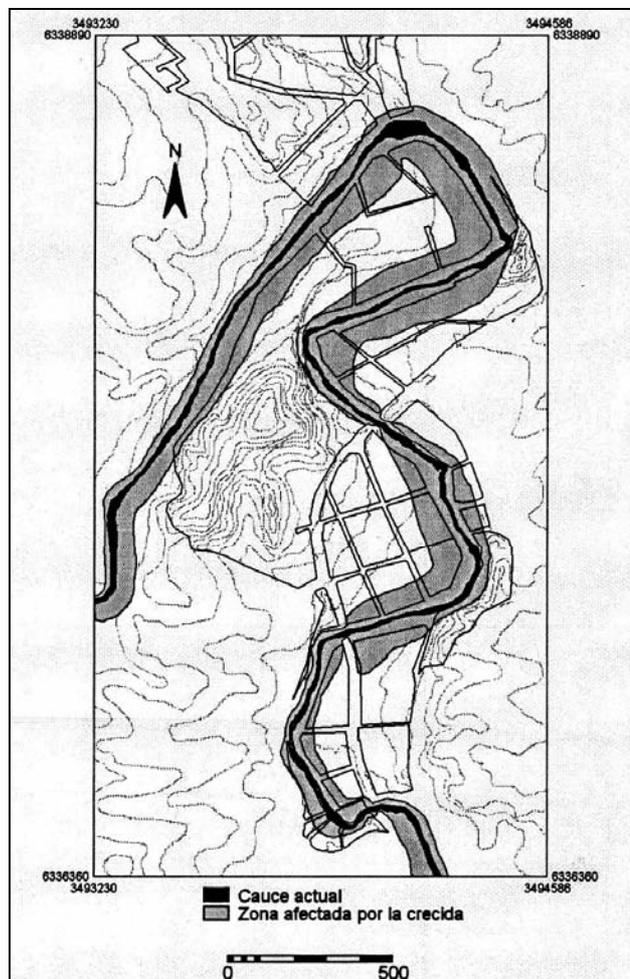
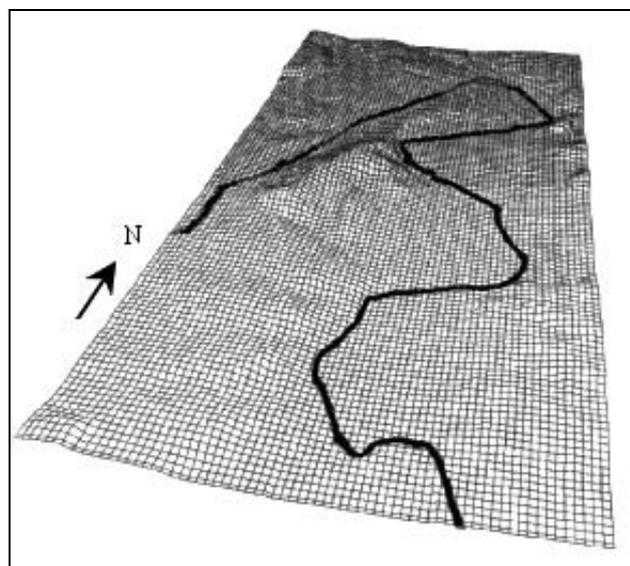


FIGURA N° 7: MODELO 3D. Resaltando los bloques de basamento aislados y el cauce meandriforme



Los autores proponen en base a los estudios realizados, que en los sectores abarcados por la terraza 1 no exista ningún tipo de construcción civil ni asentamiento poblacional, los cuales podrían ser utilizados como espacios verdes para recreación turística.

La dirección de Hidrología de la provincia de San Luis propone la construcción de un dique que regule los caudales de los ríos Virorco y Las Águilas.

Ante esta realidad, se sugiere un sistema de alarma provisto de estaciones pluviométricas y de aforo, para una eficiente evacuación, como así también un mejor entendimiento hidrológico de la cuenca.

## 10. AGRADECIMIENTOS

Ingeniera María de las Mercedes Mor (Departamento de Catastro de la provincia de San Luis).

Lic. en Geología Guillermo Ojeda (Docente del Departamento de Geología, U. N. S. L).

Lic. en Geología Pedro Morla (Departamento de Hidrología de la provincia de San Luis; Docente del Departamento de Geología, U. N. S. L).

Dr. en Geología Ariel Ortíz Suárez (Docente del Departamento de Geología, U. N. S. L).

Javier Guevara y Gastón León (Alumnos, U. N. S. L).

## 11. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AMANCAY, M., 1999.

Geología de los alrededores de las localidades de El Trapiche y La Florida, sector sur de la Sierra de San Luis, provincia de San Luis.  
*Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, 9 -16.*

CAAMAÑO NELLI, G., BARBEITO, O., SANTA, J.A., GARCÍA, M., TARDITTI, G., N. AMBROSINO, S., 1995

Evaluación Geomorfológica e Hidrológica de la crecida del Arrollo Seco, La Falda, Córdoba.  
*Actas de la Primera reunión nacional de geología ambiental y ordenación del territorio, Universidad Nacional de Rio Cuarto, 1995. Tomo 1: 127-133.*

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. Y MAYS, L.W. 1994.

Hidrología aplicada, Capítulo 15: 512-514.

CRUZ CORONADO, M. D., Y PICCIRILLI, J. J., 1989.

Geomorfología cuantitativa de la cuenca del Río Quinto superior - Pcia. San Luis - Republica Argentina.  
*Comité de Cuenas Hídricas de los Ríos Quinto y Conlara.*

DEGIOANNI, A. J., 1995.

Aplicación de un sistema de Información Geográfica para la estimación de caudales extraordinarios en la región centro - sur de Córdoba (Argentina).  
*Trabajo de Investigación, Universidad de Alcalá de Henares.*

GONZALEZ DÍAS, F. E., 1981.

Geomorfología, geología de la provincia de San Luis,  
*VIII Congreso Geológico Argentino, Rel.: 193-236, Buenos Aires.*

LLAMBIAS, E. J., SATO, A. M., ORTÍZ SUÁREZ, A. & PROZZI, C.

The Granitoids of the sierra the San Luis en The Proto- Andean Margin of Gondwana.  
*Special Publication N° 142.*

MASSERA, L., BARBEITO, O. Y LLAMBASTIANI, M.

Diagnóstico preeliminar de la situación de riesgo de la inundación de la localidad de Villa de Soto, Provincia de Córdoba- Argentina.  
*Actas de la Primera reunión nacional de geología ambiental y ordenación del territorio, Universidad Nacional de Rio Cuarto, 1995. Tomo 1: 135-144.*

MORLA, P. N. Y HAURIA, N. 2001.

Programa de Infraestructura Hídrica, Departamento de Hidrología.  
*Informe N° 104-DH-2001*

ORTÍZ SUÁREZ, A., PROZZI, C. Y LLAMBIAS, E., 1992.

en Amancay, M., 1999. Geología de los alrededores de las localidades de El Trapiche y La Florida, sector sur de la Sierra de San Luis, provincia de San Luis.  
*Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, 9 -16.*

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

Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis.

RAMOS, V. A., 1998.

Las provincias geológicas del territorio argentino.  
*Geología Argentina, Capítulo 3. Ed: R. Caminos, SEGEMAR, Anales 29 (en prensa, 1999).*

SIMS, J.P., STUARTS-SMITH, P.G., LYONS, P. Y SKIRROW, R.G., 1997.

en Amancay, M., 1999. Geología de los alrededores de las localidades de El Trapiche y La Florida, sector sur de la Sierra de San Luis, provincia de San Luis.  
*Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, 9 -16.*

# INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
Elaboração das cartas de uso e ocupação do solo e sua utilização na cartografia geotécnica	<i>de Almeida, Maria Cristina Jacinto - Luz de Freitas, Carlos Geraldo - de Azevedo Dantas Marins, Ana Maria</i>	1
Clasificación multispectral supervisada de la cuenca del Río Medinas Provincia de Tucumán. Argentina	<i>Arcuri, Claudia B.</i>	5
Enseñanza basada en problemas y juegos operacionales en el aprendizaje de la geología ingenieril	<i>Caló, Jorge E.</i>	13
Alteraciones sufridas por los agregados utilizados en hormigones sometidos a temperaturas de incendio	<i>Charreau, Geraldine - Luna, Fabio</i>	20
Estabilización de suelos con tanino	<i>Di Rado, Héctor R. - Fabre, Viviana E. - Miño, Federico D.</i>	28
Problemáticas ambientales del sistema periurbano de la ciudad de Punta Alta Suroeste Bonaerense	<i>Espejo, Natalia - Solís, Graciela</i>	37
Análisis de la vulnerabilidad del acuífero aluvial del Valle de Tulum a la contaminación por agentes de origen antrópico Correlación con la evolución temporal de parámetros químicos	<i>Fiore, Juan Manuel - Castro, Adolfo - Medici, María E. - Gimenez, Myriam - Suero, Eduardo - Gonzalez Ranea, Hugo - Turcuman, María Hortencia</i>	47
Pautas para el manejo en costas acantiladas y de dunas Provincia de Buenos Aires	<i>López, Rubén Alvaro - Marcomini, Silvia Cristina</i>	59
Recuperación de canteras de bloques para roca ornamental: rediseño de explotación ajustado al estilo de fracturación	<i>Nestiero, Osvaldo E.</i>	69
Estudio geoambiental del Sector Noreste del Partido de Ensenada Provincia de Buenos Aires	<i>Pittori, Carlos Alejandro</i>	79
Predicción de la colapsibilidad de los suelos de la ciudad de Córdoba	<i>Rocca, Ricardo José - Goio, M. Gabriela</i>	87
Aportes de la cartografía temática al desarrollo sustentable en áreas ambientalmente frágiles del suroeste bonaerense	<i>Rosell, Patricia - Del Pozo, Olga - Zinger, Alicia S.</i>	96
Deslizamiento rotacional en el cerro Inti Huasi Departamento Pringles, provincia de San Luis	<i>Sales, Daniel - Origlia, Daniel - Yenes Ortega, Mariano - Gardini, Carlos</i>	106
Carta de ocupación de la tierra y zonificación preliminar de la porción inferior de la cuenca del arroyo Pozanjón del Norte Cerro Colorado, Córdoba	<i>Schwindt, G. - Argüello, L.</i>	113
Polvo de acería Su incorporación en matrices cementicias	<i>Señas, L. - Maiza, P. - Marfil, S. - Valea, J.</i>	122
Evaluación preliminar de la inundación (crecida) repentina del 13 de abril de 2001 en la localidad de El Trapiche San Luis, Argentina	<i>Tognelli, Gabriel - Morosini, Augusto - López, Fabio - Vega, Eduardo</i>	130

## TALLER SOBRE GEOINDICADORES Y APLICACIÓN EN CAMPO

Se desarrolló entre el 14 y el 17 de mayo del corriente año en la Sala de Conferencias del Museo Histórico Provincial Marqués de Sobre Monte, de la Ciudad de Córdoba.

Fue organizado por la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y Auspiciado por Commission on Geological Sciences for Environmental Planning de la International Union of Geological Sciences (IUGS); la Geological Society of America; Newkirk, Engler & May - The foundation for relevant science; Instituto Argentino de Normalización (IRAM); Agencia Córdoba Ambiente S.E.; Agencia Córdoba Cultura y la Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba.

Los disertantes fueron Antony Berger (Canadá), Jonas Satkunas (Lituania), Codirectores de IUGS Geoinicator Initiative; John Ridgway (Servicio Geológico Británico); Marek Graniczny (Instituto Geológico de Polonia); Antonio Cendrero (Universidad de Cantabria) y Raúl Carreño (Perú). Los participantes, por su parte, provenían de distintas provincias argentinas y del sur de Brasil.

En su transcurso, además de las presentaciones efectuadas por los disertantes, los participantes expusieron los proyectos en los que están involucrados y se llevó a cabo una excursión técnica.

Como resultado de la actividad, además de las consideraciones finales, que se transcriben a continuación, se elaboró el Proyecto Geoindicadores en Argentina cuyos detalles también se incluyen aquí.

### CONSIDERACIONES FINALES

La discusión se planteó a partir de dos dimensiones. Una de carácter individual, en la que cada uno de los participantes fue invitado a comentar acerca de cómo utiliza los geoindicadores desde su disciplina y/o en su ámbito laboral y la otra en relación a la contribución que cabría esperar del concepto de geoindicadores para una planificación ambiental en el país.

Como primera instancia se estableció la necesidad de que el concepto de geoindicadores adquiera trascendencia social. En tal sentido, se consideraron a los geoindicadores como un nexo entre los expertos, científicos y técnicos (personas que tiene a su cargo el diagnóstico y la evaluación de los cambios que se presentan en el medio natural) con los tomadores de decisión o administradores de los recursos naturales.



Esto surgió de visualizar la utilidad de los geoindicadores como una herramienta para asistir a quienes tienen que tomar decisiones relacionadas con el ambiente, su planificación y gestión, por cuanto expresan las modificaciones que sufre el mismo dejando establecidos cuáles son los problemas a resolver, de qué forma encarar un proyecto y su influencia en el ambiente, o dónde y cómo realizar una inversión que sea sustentable. Es decir, que los geoindicadores son la herramienta de comunicación entre los técnicos y las personas con poder de decisión en organismos gubernamentales vinculadas a la problemática ambiental.

Por cuanto los geoindicadores forman parte del trabajo cotidiano de la mayoría de los presentes se plantearon diferentes casos. En algunos se enfatizó acerca de la

importancia que llegan a tener los geoindicadores en la detección de problemas de índole social, así como la interrelación que los geoindicadores tienen con otros indicadores de modo tal que resulta necesario trabajar interdisciplinariamente para su definición.

Se destacó que los geoindicadores sirven para caracterizar un área, pero que los mismos no son extrapolables a otras áreas. Es fundamental el trabajo interdisciplinario para caracterizar los geoindicadores de un área y así informar a los planificadores.

Se brindó, asimismo, una definición de geoindicadores: "Es una herramienta que permite mostrar de forma simplificada a quienes toman decisiones una determinada situación conflictiva. Es una alarma que permite diagnosticar un problema y luego plantear la solución".

Se proporcionaron, además, ejemplos de distintas metodologías propuestas durante el desarrollo del taller. En el caso particular de la iniciativa ELANEM (Euro-Latin American Network on Environmental Assessment and Monitoring, Programa INCO, Comisión Europea, presentada por Antonio Cendrero), aplicada en Río IV, se deja constancia que se han desarrollado una gran cantidad de mapas temáticos, relacionados al estado-presión y respuesta del indicador, pero que la naturaleza resulta muy difícil de cuantificar y mucho más aún lo es cuantificar los aspectos sociales y económicos que incluye esta metodología.

En relación a los mapas temáticos, que fueron utilizados en muchos de los casos de estudio presentados, se es conciente que en ocasiones resultan complicados de entender por personas no especialistas. En tal sentido, la utilización y obtención de geoindicadores constituiría la herramienta adecuada para transmitir los mismos resultados de una manera simple y entendible.

Otro de los aspectos que surgió en la discusión fue la definición de la interfase existente entre las áreas urbanas y las rurales. Se planteó que el uso de los geoindicadores se lleva a cabo principalmente al estudiar áreas rurales, pero que resulta de gran interés su aplicación en zonas urbanas. Esto tiene como objetivo el de obtener índices que caractericen una determinada zona y problemática, permitiendo advertir acerca de un manejo erróneo o decisión desacertada sobre el uso de los recursos. Entre las ventajas de los geoindicadores se pueden mencionar la posibilidad de detectar problemas, y la utilidad para enfatizar o alertar sobre rápidos cambios producidos en los sistemas naturales. Para mencionar sólo algunos ejemplos, podría hacerse referencia a los deslizamientos de taludes en Perú, la calidad del agua subterránea en varias provincias de la Argentina, la erosión de costas, la variación de los niveles freáticos, la erosión del suelo y la tala de árboles.

Se concluyó que los geoindicadores cumplen con el fin de la "educación ambiental" ya que se utilizan para comunicarle a los planificadores y tomadores de decisión qué deberían hacer ante una situación o problema relacionado al ambiente natural. En tal sentido se comenta que los planificadores muchas veces necesitan una respuesta simple, rápida, económica, y precisamente esa es la respuesta que los geoindicadores pueden ofrecer.

Dada la importancia de los geoindicadores en la detección de problemas de índole social se coincidió respecto a que cuando las personas se ven involucradas en un determinado estudio, lo aceptan y se interesan por él. Resultaría óptimo trabajar con todos los actores sociales involucrados. ("engagement process"), con el fin de que un determinado proyecto se acepte y sea viable.

Es fundamental el consentimiento social, ya que es de vital importancia que las personas conozcan cómo un determinado problema puede afectarlos. Por ejemplo, en el caso de la deforestación debido a la tala indiscriminada, resulta clave informar sobre la importancia y los riesgos que la misma puede originar en el ambiente (erosión del suelo, arrastre de sedimentos, etc.). Además, para que pueda existir una buena comunicación entre los actores involucrados y los técnicos, es necesario que desde un comienzo se tenga en cuenta a las personas afectadas por un determinado proyecto, de manera de despertar el interés en las mismas. Esto conlleva a conocer la opinión de las personas o qué es lo que les preocupa antes de imponer una postura. A partir de esto, se puede concluir que hay decisiones específicas al diagnosticar con geoindicadores que necesariamente deben tener en cuenta aspectos humanos.

Resulta evidente que para poder realizar investigaciones que tiendan a obtener geoindicadores en una determinada región, es necesario la obtención y el manejo de información confiable. Surge entonces la dificultad de relevar cuáles son los datos que ya existen, y cómo obtener los datos necesarios. Este problema aparentemente sencillo, puede ser muy importante en países como el nuestro en donde resulta difícil, sino imposible, obtener series completas de datos, o efectuar la medición de los mismos. Esto es un obstáculo a superar a los fines de poder implementar un proyecto a nivel nacional, planteo que será desarrollado como paso siguiente a cumplir en el proceso de instauración del concepto de geoindicadores en Argentina.

## PROYECTO GEOINDICADORES EN ARGENTINA

Se proyecta desarrollar una red de usuarios del concepto "GEOINDICADORES" a los fines de implementar su uso como indicadores de cambios ambientales en nuestro país a partir del estudio de procesos que den evidencia de dicha situación.

Con tal sentido se plantea la puesta en marcha de un proyecto integrador de disciplinas de modo tal que se puedan llegar a conocer las modificaciones ambientales que vayan surgiendo como resultado de la aplicación del citado concepto.

Para ello, se prevén las siguientes acciones:

1. Difusión de la iniciativa y la metodología de aplicación del concepto "Geoindicadores" en la comunidad técnico-científica.
2. Discusión del listado de geoindicadores propuesto por IUGS.
3. Identificación de los ámbitos de aplicación de los geoindicadores seleccionados a ser estudiados en Argentina.

4. Determinación de las bases para el taller a desarrollarse en la ciudad de Córdoba en octubre del año 2004.
5. Vinculación con grupos sudamericanos de IAEG para impulsar el tema.

Además, se prevén instancias de capacitación, de carácter regional, cuyo objeto será el de incorporar mayor cantidad de usuarios del concepto a la red que se plantea construir.

**Cronograma:**

Acción 1: Noviembre 2002  
Acción 2: Marzo 2003/Septiembre 2003  
Acción 3: Noviembre 2002/Junio 2003  
Acción 4: Junio 2003  
Acción 5: Abril 2003

Capacitación: desde abril 2003

Geólogo Norberto Jorge Bejerman



**sinergia 2004**  
GEOTECNIA | PRESAS | GEOLOGIA

*18 al 23 de Octubre de 2004*

*Córdoba - Argentina*

*sinergia2004@yahoo.com.ar*

---

A los fines de la impresión del presente volumen se ha recibido  
apoyo económico de las siguientes empresas y asociados:

LIC. JORGE WEXLER

MINERA TEA

Copyright 2002 by Editorial ASAGAI  
Maipú 645 - 1<sup>er</sup> piso - 1006 Buenos Aires  
Printed in Argentina

PRODUCCIÓN GRÁFICA Y EDITORIAL:  
*Callerio y Asociados*  
(0351) 4245924  
e-mail: [lcallerio@agora.com.ar](mailto:lcallerio@agora.com.ar)  
Córdoba

Se terminó de imprimir en Diciembre de 2002  
en Sistemas de Impresión Digital  
de Callerio y Asociados  
Córdoba - Argentina