

INDICE

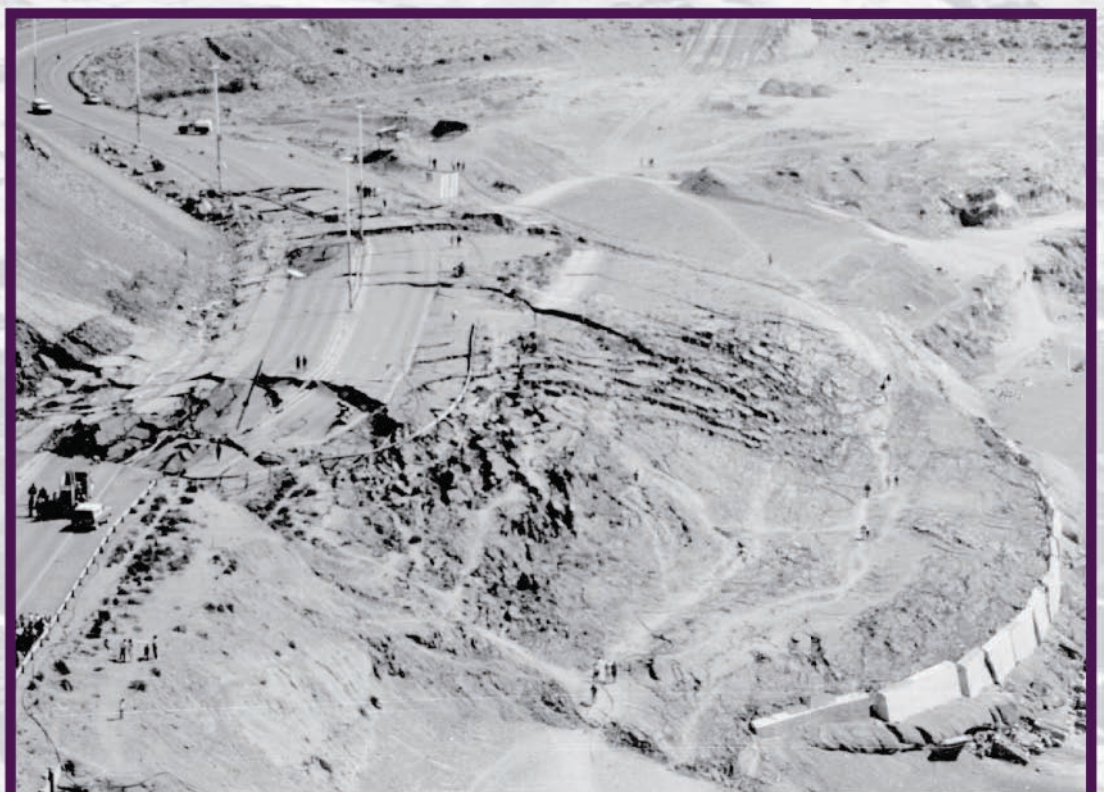
Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
A carta geotécnica do Recife (PE), nordeste do Brasil	<i>Albeiros, Margaret M. - Jaime de Azevedo, Gusmão Filho - Genevois, Bernard B. - Ferreira, Maria da Graça de V. X.</i>	1
Mapeo geológico en Huaca Huasi. Cumbres Calchaquies, Tucumán, noroeste de Argentina	<i>Arcuri, Claudia B.</i>	9
Identificación de posibles zonas aptas para la instalación de rellenos sanitarios, a partir de la elaboración de una carta temática	<i>Bosch, Dante René</i>	19
Emergencias geomorfológico-paleoambientales de los depósitos cuaternarios en la llanura fluvial costera del torrente Polcevera. Liguria, norte de Italia	<i>Brandolini, Pierluigi - Calderoni, Gilberto - Guido, Maria Angela - Montanari, Carlo - Nicchia, Paolo - Ramella, Agostino - Terranova, Remo</i>	29
Elaboración y uso de mapas temáticos para la regionalización ecológica de la cuenca del Arroyo del Azul	<i>Entraigas, Ilda - Gandini, Marcelo - Usunoff, Eduardo</i>	39
Estudio experimental de la influencia de mezclas de sedimentos arenosos bimodales en el proceso de socavación de estribos de puentes	<i>Fernández, Sandra</i>	49
Principais parâmetros físicos do terreno que interferem nas vibrações sísmicas geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas	<i>La Corte Bacci, Denise de - Barbosa Landim, Paulo Milton</i>	57
Degradación de hidrocarburos en terrenos loésicos	<i>Lexow, C. - Bonorino, Alfredo G.</i>	69
Examen petrográfico aplicado al estudio del hormigón de una ruta interurbana con evidencias de deterioro	<i>Maiza, Pedro J. - Marfil, Silvina A.</i>	75
Diseño del proyecto didáctico "geomorfología aplicada"	<i>Mansilla, Lilyán del Valle - Peme-Aranega, Carmen - Karlsson, Alicia</i>	80
Ordenación territorial del humedal Bajo Giuliani y su entorno. Provincia de La Pampa	<i>Marani, Jorge - Carballo, Olga - Calmels, Augusto - Sotorres, Elsa - Sbrocco, José</i>	83
La geología urbana de la ciudad de Salta y su relación con aspectos geoambientales. Provincia de Salta, Argentina	<i>Marcuzzi, Jorge J. - Torrejón, David E. - Bejerman, Norberto J.</i>	93
Procesos geoquímicos que determinan la hidroquímica de las lagunas pampásicas. Importancia del intercambio catiónico	<i>Miretzky, Patricia Silvina - Conzonno, Víctor Hugo - Fernández Cirelli, Alicia</i>	103
Condicionamientos geológico-geotécnicos para el desarrollo urbano de Tucumán	<i>Mon, Ricardo - Eremchuk, Jorge E.</i>	113
Utilización de fotografías aéreas y SIG para el mapeo geomorfológico detallado	<i>Ojeda, Guillermo E.</i>	119
Localización de sitios de disposición de residuos en el área metropolitana bonaerense: una aproximación geoambiental	<i>Pereyra, Fernando X.</i>	128
Cartografía de peligro en el área minera Castaño Viejo departamento Calingasta, provincia de San Juan	<i>Puigdomenech, Eva - Ramírez, Mónica - Guzzo, Elina - Palacio, María de B.</i>	138

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 17 ■ 2002

ISSN 0326-1921



COMISIÓN DIRECTIVA

PRESIDENTE	<i>Dr. Horacio V. Rimoldi</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Geól. Juan Carlos Bertolini</i>
SECRETARIO	<i>Geól. Norberto Jorge Bejerman</i>
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 hito en la vida de la Asociación se cumple con la aparición de este número de nuestra publicación oficial, el que pone a luz trabajos que manifiestan claramente el nivel de desarrollo de los diversos campos de conocimiento por parte de quienes enviaron su aporte al Simposio desarrollado meses atrás en Bahía Blanca y que, dada su calidad, ameritaron su incorporación a la revista según lo sugerido por quienes actuaron a modo de árbitros.

Lamentablemente, una vez más tenemos que hacer notar que quienes integramos la Asociación vemos como nuestra profesión se debate en la mayor de las inercias dada la parálisis que sufre nuestro país y sin llegar a vislumbrar una salida en el corto plazo que nos deje abrigar esperanzas de una reactivación que nos permita el desarrollo de

una mayor actividad y, con ello, lograr nuevas experiencias que nos posibiliten el empleo de nuevas técnicas.

Si bien es lamentable poner en evidencia lo expresado, no podemos estar ajenos a lo que cotidianamente nos golpea. Asimismo esperamos confiados que todo esto finalice en el más corto tiempo y entonces podamos salir de esa inactividad en la que nos encontramos sumidos.

Todo nuestro esfuerzo, a la luz de lo planteado, es defender los logros obtenidos a lo largo de nuestra historia institucional y propender a que sigamos juntos hacia adelante sobre la base de las actividades programadas y de aportes a esta Revista que, tan cara a nuestros sentimientos, nos permite dar indicio que seguimos con vida y, más aun, con proyectos, pese a la desazón.

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.



A carta geotécnica do Recife (PE), nordeste do Brasil

Alheiros, Margareth M. ¹ - Maia, Rua Bruno ² - Jaime de Azevedo, Gusmão Filho ³ - Genevois, Bernard B. ³
Ferreira, Maria da Graça de V. X. ⁴

Resumo

A cidade do Recife, capital do estado Pernambuco, situada na Zona Costeira Nordeste do Brasil, com densidade populacional de 6.529,43 hab/km², foi construída sobre áreas estuarinas e teve sua expansão territorial a partir de aterros indiscriminadamente feitos sobre calbas fluviais, manguezais e outras terras úmidas, o que levou a sérios problemas ambientais e geotécnicos.

A Carta Geotécnica do Recife, realizada em meio digital na escala 1:25.000, teve como propósito a espacialização de unidades geotécnicas que expressassem esses problemas, de modo a orientar o planejamento da cidade e a direcionar estudos e projetos de intervenções. Foram identificadas 10 unidades geotécnicas, tendo como base duas macro-unidades de relevo (Morro e Planície Costeira), nas quais foram distinguidas feições geomorfológicas mais detalhadas, que mostraram grande relevância no controle das características geotécnicas, seguidas das características geológicas e hidrológicas e das condições atuais do uso e ocupação do solo. São elas: baixio de maré, terraço flúvio-lagunar, terraço marinho holocênico, terraço marinho pleistocênico, terraço indiferenciado, terraço fluvial, encosta de tabuleiro costeiro, topo de tabuleiro costeiro, domínio colinoso e modelado cristalino.

Sobre a carta geotécnica básica, foram lançadas as sondagens tipo SPT, que constam do Banco de Dados montado para o Projeto, com destaque para a ocorrência de camadas de argilas moles orgânicas, com mais de um metro de espessura. A análise da nuvem de pontos de sondagens, mostrou que as argilas moles apresentavam um padrão espacial de ocorrência ao longo de linhas ramificadas, coincidente com possíveis paleo-sistemas de drenagens, ao longo das quais se instalaram canais de marés durante fases de regressão marinha.

Resumen

La Ciudad de Recife, Capital de la Provincia de Pernambuco, se sitúa en la Zona Costera del Noreste de Brasil, con densidad poblacional de 6.529,43 hab/km². Ha sido construida sobre áreas estuarinas y ha tenido su expansión territorial a partir de aterramientos indiscriminadamente hechos sobre callas fluviales, manglares y otras tierras húmedas, lo que ha provocado serios problemas ambientales y geotécnicos.

La Carta Geotécnica de Recife, hecha por medio digital en la escala 1:25.000, tiene como propósito la espacialización de unidades geotécnicas que evidencien los problemas, de manera que pudiera orientar el plan de la ciudad y los estudios y proyectos de intervenciones. Han sido identificadas 10 unidades geotécnicas tomándose como base dos macro unidades del relieve (morros y planicie costera), en las cuales han sido diferenciadas unidades geomorfológicas a mas detalles, que presentaron gran relevancia en el control de las condiciones actuales del uso y ocupación del suelo. Son ellas: bajío de marea, terraza fluvio-lagunar, terraza marina holocénica, terraza marina pleistocénica, terraza indiferenciada, terraza fluvial, vertiente de tabuleiro costanero, dominio colinoso y modelado cristalino.

Sobre la Carta Geotécnica básica, han sido lanzados los sondeos del tipo SPT, que se encuentran en el banco de datos preparado para el proyecto, destacándose la existencia de camadas de arcillas moles orgánicas, con más de un metro de espesor. El análisis de la nube de puntos de sondeos ha mostrado que las arcillas moles presentaron un padrón espacial de ocurrencia a lo largo de líneas ramificadas coincidente con posibles paleo sistemas de drenajes, al largo de las cuales se han instalado canales de mareas durante fases de regresión marina.

Entregado: 14 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 12 de Noviembre de 2001

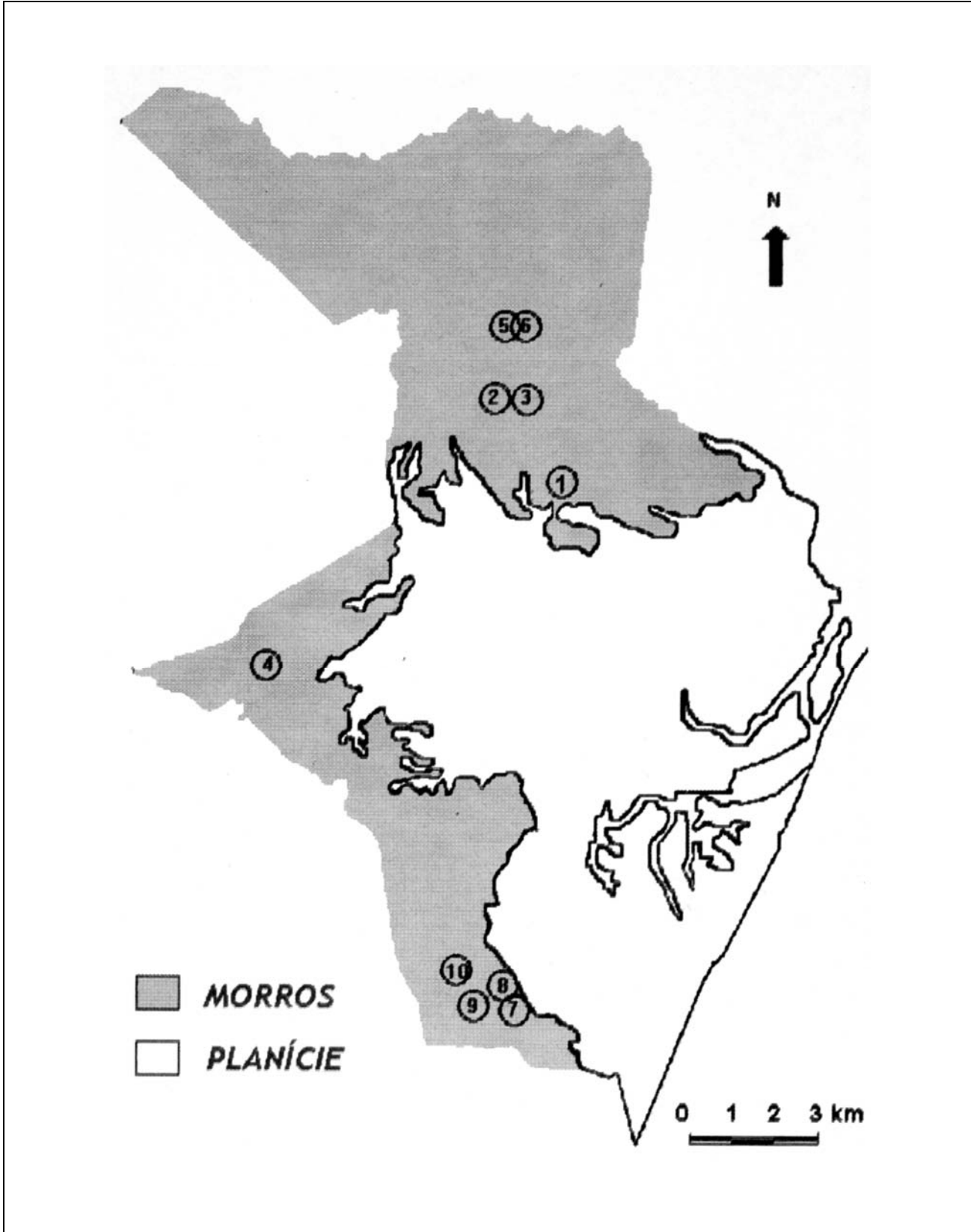
1. DGEO - UFPE
2. 89/202 Graças 52011-110 Recife PE Brasil (alheiros@npd.ufpe.br)
3. DECIVIL - UFPE
4. UNICAP

1. INTRODUÇÃO

O município do Recife mostra dois conjuntos topográficos distintos: as baixadas ou planícies que ocupam a sua porção centro leste e os morros contíguos que dominam na porção norte e cercam a área a oeste e sul (Fig. 1).

A área da planície apresenta cotas mais frequentes entre 5m e 0m, podendo atingir de modo localizado, valores próximos a 10m e até negativos. A evolução dessa área, está fortemente associada às mudanças climáticas globais.

FIGURA 1



A área de morros, que forma um arco em torno da baía, distingue-se apenas em função do grau de dissecação. A porção norte, menos dissecada, mostra platôs mais contínuos, com a rede fluvial encaixada em vales verticalizados, enquanto na porção centro, oeste e sul, a dissecação intensa modela colinas isoladas em diferentes unidades geológicas (sedimentos, embasamento cristalino, etc.). Os topos dos morros apresentam cotas em torno de 100 m, reduzindo-se para aproximadamente 30m, nas proximidades das áreas baixas.

2. AS UNIDADES GEOTÉCNICAS

Para a obtenção das Unidades Geotécnicas foram inicialmente consideradas as feições geomorfológicas, que se apresentaram na área como um fator de grande relevância no controle das características geotécnicas, seguidas das características geológicas e hidrológicas e das condições atuais do uso e ocupação do solo. Desse modo foram consideradas duas macro-unidades denominadas Planície Costeira e Morros, que foram subdivididas nas 10 unidades geotécnicas apresentadas neste trabalho, das quais seis estão associadas à planície e quatro às áreas de morros.

Construída a carta geotécnica básica, foram lançadas sobre a mesma, os pontos de sondagens tipo SPT, onde foram encontradas camadas de argilas moles orgânicas, com mais de um metro de espessura. A análise dos pontos, mostrou um padrão de distribuição linear, ramificado, coincidente com possíveis linhas de drenagens atuais e pretéritas, ao longo das quais se instalaram canais de marés durante as fases de regressão marinha. Esse comportamento mostra-se bem ajustado ao modelo evolutivo reconhecido para toda a costa brasileira, no qual fases de mar alto (transgressão marinha), alternam-se a fases de mar baixo (regressão marinha), ampliando-se o desenvolvimento de planícies de marés. As Unidades Geotécnicas são a seguir apresentadas de modo sintético, realçando-se apenas as características mais relevantes em cada caso.

UNIDADE I - baixios de maré

Ocorre em terrenos de mangues na porção centro leste do município, nas áreas costeiras associadas à zona estuarina dos principais rios que drenam o município, sujeitas às oscilações das marés, caracterizando-se por uma intensa saturação pela água. Caracteriza-se por um substrato siltico-argiloso, rico em matéria orgânica, com solos pouco evoluídos. São solos com capacidade de suporte extremamente baixa, podendo ocorrer nos primeiros 4 metros, lentes de turfa e argilas orgânicas, intercaladas a sedimentos arenosos de variada granulometria; a partir

dessa profundidade, podem ocorrer sedimentos arenosos com pouca argila. Apresenta grande suscetibilidade para inundações e subsidências. Exerce um importante papel na redução dos efeitos da erosão costeira e da poluição das águas estuarinas, daí a importância de sua preservação juntamente com outras terras úmidas.

UNIDADE II - terraço flúvio-lagunar

Esta Unidade é composta por áreas planas e rebaixadas da planície costeira e sua morfologia típica é de terraço plano e rebaixado, com declividades inferiores a 5%; são terraços de origem mista (fluvial e lagunar), com cotas entre 0 e 4 metros e ocorrem próximo às margens dos principais eixos fluviais, razão pela qual têm nível freático elevado, com algumas áreas permanentemente alagadas destacando-se a Lagoa do Araçá. Os sedimentos siltico-argilosos intercalados a areias finas a médias apresentam, com frequência, matéria orgânica associada às frações mais finas; nesses materiais é comum a presença de restos de conchas, refletindo as condições paleoambientais favoráveis ao desenvolvimento de organismos, à época da deposição. Apresentam cores claras a acinzentadas, variando para avermelhado nas porções mais superficiais, em decorrência da oxidação do ferro contido nos sedimentos com solos comumente saturados, tipo gley indiscriminados. Em virtude da origem múltipla, são solos com intercalação de camadas arenosas e siltosas resultantes da ação predominantemente fluvial, e argilosas, com trechos ricos em argilas moles, onde podem ocorrer lentes de turfa, oriundas de paleocanais de marés, nas fases de mar baixo. São áreas suscetíveis a inundações e com grande vulnerabilidade quanto à contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. A área criada por aterros no nesses espaços é avaliada em cerca de 19 km², o que corresponde a 17,5 % da área da planície e a 9,1 % da cidade. Este espaço foi construído ao longo de quase quatro séculos, mobilizando 25 milhões de metros cúbicos de aterro. Estes dados foram apresentados por *Gusmão Filho* (1998), com base nos mapas de cartografia histórica e perfis de sondagens geotécnicas (Tab.1). As características geotécnicas das argilas orgânicas do Recife estudadas por *Coutinho et. al.* (1988). São mostradas na Tabela 2 e os tempos estimados para a ocorrência de recalques são apresentados na Tabela 3. Os dados mostram que o recalque final pode vir a ser maior que a altura do aterro e ocorrer em um tempo relativamente curto. A velocidade de recalques, medidos em aterros de 25 anos varia de 1,2 a 5 cm por ano. Greides de 1 m acima das marés altas podem ficar afogados em locais aterrados onde a camada mole tenha somente 5 m de espessura, em menos de 10 anos. O resultado da subsidência é o alagamento da área pelo transbordamento de canais.

TABELA 1. VOLUME DE ATERROS EM RECIFE

Bairro	Área (km ²) inicial	aterro	Vol. aterro (x 10 ⁶ m ³)	Espaço aterrado
Bairro do Recife	0,149	0,471	1	mar e rios
Santo Antônio / São José	0,259	0,707	2	rios, mangues
Boa Vista	0,571	0,678	2	rios
Planície *	107,000	17,000	20	mangues, alagados
Total	108,000	18,856	25	

*estimativa

TABELA 2: PARÂMETROS DE DEFORMAÇÃO DE ARGILAS DO RECIFE

δ		w (%)		C_c		c_v (10^{-4} cm ² /s)		C_α
min	max	min	max	min	Max	min	max	médio
2,51	2,68	30	110	0,33	1,30	1	10	1,67

- densidade dos grãos

w - umidade natural

C_c - índice de compressão

c_v - coeficiente de adensamento primário

c - coeficiente de adensamento secundário

OBS. Foi considerada somente uma face drenante, para diversas espessuras de camada mole. No caso de dupla drenagem os tempos

TABELA 3: ESTIMATIVA DE RECALQUES EM METROS, NA PLANÍCIE DE RECIFE

		H (altura do aterro - m)							
		1		1,5		2,0		2,5	
		min	max	min	max	min	max	min	max
H solo mole (m)	5	0,25	0,80	0,35	1,00	0,40	1,20	0,50	1,30
	10	0,30	1,00	0,40	1,35	0,50	1,60	0,60	1,80
	15	0,31	1,10	0,45	1,50	0,55	1,85	0,65	2,15
	20	0,32	1,20	0,47	1,60	0,60	2,00	0,70	2,40
	25	0,33	1,25	0,50	1,70	0,61	2,15	0,75	2,50

UNIDADE III - terraço marinho holocênico

Esta Unidade ocorre ao longo da zona litorânea, de Brasília Teimosa a Boa Viagem, segundo uma faixa de largura variável entre 100 e 800 metros, e comprimento de 9 quilômetros e caracteriza-se por um relevo rebaixado e plano, com cotas entre 0 e 4 metros. Trata-se de uma antiga praia de idade holocênica, construída durante a última regressão marinha (7 mil anos A.P.), preservada em parte, que vem sendo retrabalhada até os dias atuais. É formada por areias quartzosas com quantidades variáveis de fragmentos de conchas e pequenas concentrações de minerais pesados, onde os solos desenvolvidos são areias quartzosas marinhas. Apresentam nível hidrostático elevado, boa porosidade e permeabilidade. Essas áreas apresentam alta suscetibilidade à salinização por avanço da cunha salina devido à superexploração e à poluição, por efluentes e resíduos sólidos domésticos e industriais. São terrenos estáveis, porém a sua intensiva ocupação torna a área problemática, em função das dificuldades de drenagem e do NH elevado e do avanço das construções sobre a zona de pós-praia.

São frequentemente encontradas em sondagens, recifes ou cordões de arenitos de praia, também conhecidos como *beach rocks*, paralelos à linha de costa atual, com pouco mais de um metro de espessura e largura, em profundidades em torno de 3 metros, intercalados aos sedimentos de praia, algumas vezes recobrimdo camadas de turfa ou de conchas não cimentadas. O pequeno volume e os fragmentos carbonáticos presentes, não recomendam sua exploração para uso na construção civil. Podem ocorrer nesta unidade geotécnica, lentes de argilas moles, tendo em vista a presença de antigos canais de marés posteriormente assoreados e capeados por areias de praia. Problemas de erosão costeira são verificados em alguns pontos dessa linha de costa, em decorrência do déficit dos sedimentos disponíveis para o transporte litorâneo e da ampliação do calçadão da Av. Boa Viagem, que avançou mais ainda sobre a pós-praia. É comum a salinização das águas subterrâneas de aquíferos superiores, por

superexploração e até do aquífero profundo, em decorrência de problemas construtivos. É baixo o risco de inundações, embora sujeito a alagamentos temporários em virtude da alta taxa de impermeabilização dos terrenos, como resultado da urbanização.

UNIDADE IV - terraço marinho pleistocênico

Essa unidade ocorre na parte sul do município, abrangendo a área do Aeroporto dos Guararapes e grande parte dos bairros de Areias, Estância, Jardim São Paulo e Setúbal. Corresponde a antigos depósitos de praias formados há cerca de 100 mil anos A.P. (Pleistoceno) como terraços marinhas elevados com cotas entre 6 e 10 metros, ocupando as posições mais interiores, em contato direto com as encostas pré-quaternárias e suas rampas de colúvio; constituídos por sedimentos arenosos de cor branca (quartzo) sem fragmentos de conchas, que passam para creme até marrom, em profundidade. Isso se deve ao desenvolvimento de seu perfil de solo (podzol) com a translocação de matéria orgânica e óxido de ferro pela ação do ácido húmico, acumulando-se no horizonte B espódico, tornando sua base mais compacta e escura, semelhante a pó de café. São areias com boa porosidade e permeabilidade, tornando-se impermeáveis em função do concrecionamento do nível espódico. O nível freático é mais profundo que nos terraços holocênicos, chegando a cerca de 2 metros de profundidade. Essas areias são frequentemente usadas como material de construção, deixando grandes cicatrizes na planície, como no bairro de Areias. Embora sejam áreas arenosas estáveis, podem capear sedimentos argilosos com matéria orgânica, de antigas lagunas ou canais de marés, formados em fases pretéritas de mar baixo. São as áreas de menor risco na planície, quanto a inundações. Sua alta permeabilidade entretanto as tornam vulneráveis à contaminação ou salinização.

UNIDADE V - terraço indiferenciado

Esta é, em área, a unidade mais representativa da planície, ocupando a parte central do município e estendendo-se

para sul ao longo do Rio Jordão. Formado originalmente como um terraço marinho pleistocênico, esta unidade foi individualizada tendo em vista as diferenças de comportamento geotécnico resultantes das mudanças impostas, pelo seu retrabalhamento fluvial posterior. Os Rios Capibaribe e Jiquiá, fortemente meandantes em seu baixo curso, alteraram significativamente a disposição e o conteúdo sedimentar de partes desse terraço, inserindo grandes quantidades de argilas moles e matéria orgânica, em parte evoluídas para turfas (Lima Filho & Albeiros, 1990). Apresenta-se como areias de coloração creme clara, uniformes e medianamente compactas, cortadas e capeadas por sedimentos fluviais mais recentes. Admite-se que a conservação da feição morfológica de terraço elevado se deveu em parte à ação do homem, que através de aterros das calhas fluviais garantia a extensão das áreas altas da planície para a expansão urbana, em cotas equivalentes às dos terraços pleistocênicos. As cotas são equivalentes às dos terraços pleistocênicos conservados, com rebaixamentos mais significativos próximos aos eixos fluviais. O NH apresenta comportamento similar ao dos terraços pleistocênicos não alterados, com destaque para uma maior tendência de contaminação em decorrência do adensamento da malha urbana. Vale para esta unidade as observações feitas com relação à estabilidade dos terraços arenosos, com a ressalva da presença de lentes de sedimentos argilosos com matéria orgânica, de antigas lagunas ou canais de marés, formados em fases pretéritas de mar baixo, capeadas pelas areias marinhas ou fluviais, nesse caso. Durante as grandes cheias que atingiram a Planície do Recife, a área ocupada por esta unidade foi fortemente atingida. A alta taxa de impermeabilização resultante da urbanização e os aterros indiscriminados de calhas fluviais foram os principais responsáveis pelas inundações.

UNIDADE VI - terraço fluvial

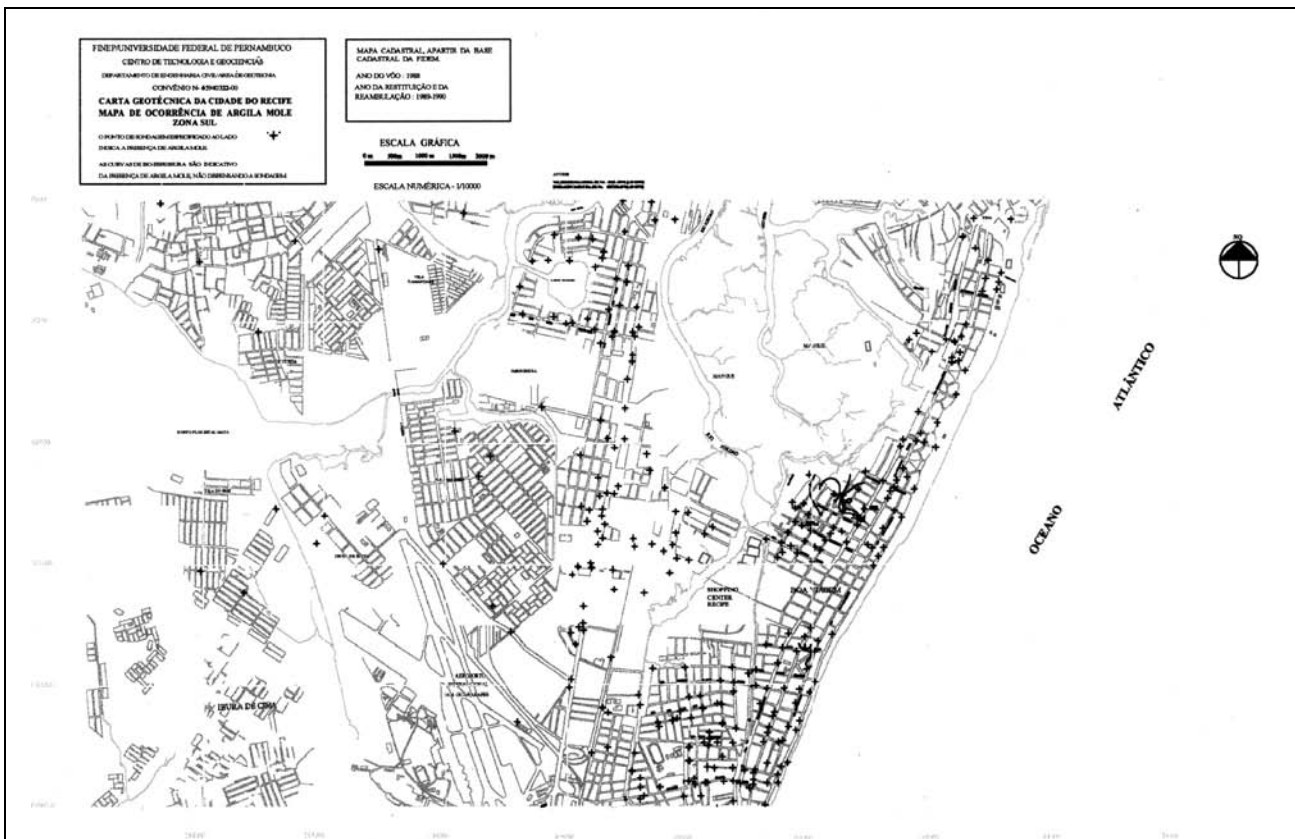
Essa unidade ocorre principalmente na parte norte, oeste e sudoeste da área, ao longo dos vales fluviais, onde é pequena a nula, a influência das marés atuais. Representam os depósitos predominantemente arenosos de planície aluvial. São sedimentos branco-acinzentados, constituídos por areia de quartzo de variada granulometria, intercalada a níveis silteosos e até argilosos, nas áreas de transbordamento de canal, onde são decantadas as frações mais finas. Nesses locais de baixa energia de transporte fluvial, acumulam-se quantidades consideráveis de matéria orgânica, nos sedimentos finos. São áreas planas e de baixa declividade, mesmo quando encaixadas em cotas elevadas. Apresentam-se geralmente como faixas estreitas e de pouca espessura, à exceção da várzea do Rio Capibaribe entre os bairros de Dois Irmãos, Caxangá e Curado. Apresentam alta permeabilidade, com nível freático elevado e constituem as margens da rede de drenagem atual. São usadas para a captação de água subterrânea através de cacimbas e poços amazonas, que atendem parcialmente ao abastecimento doméstico. Devido à sua composição (areia com intercalações de cascalho), é comumente explorado como jazida de material de construção. São áreas sujeitas a inundações periódicas nos períodos de inverno mais rigoroso. O lançamento de efluentes domésticos e até industriais, sem tratamento, diretamente no sistema de drenagem, resulta em altos índices de poluição dos solos e das águas correntes e subterrâneas.

UNIDADE VII - encosta de tabuleiro costeiro

Esta Unidade ocorre predominantemente na parte norte e em menor extensão no extremo sudoeste do município, constituindo a unidade de maior expressão em superfície, da área de morros. É formada em sua quase totalidade pelos sedimentos da Formação Barreiras, com ocorrências restritas da Formação

Beberibe, exclusivamente na parte norte da área. A Fm. Barreiras compõe-se de sedimentos com espessura máxima em torno de 100 metros, depositados por processos fluviais, nos quais se distinguem duas fácies superpostas: uma superior, típica de leque aluvial (intercalação de camadas argilosas e arenosas) e uma fácies inferior, típica de canal fluvial (camadas predominantemente arenosas, de textura grossa) que aflora em grande parte da área. Os depósitos de leques aluviais são mais frequentes exatamente na parte mais densamente ocupada da Zona Norte. Os sedimentos arenosos de canal ocorrem em toda a parte norte do município e ainda a sudoeste. Já os sedimentos mais antigos (Cretáceo Superior) da Fm. Beberibe, são constituídos por arenitos fluviais de textura grossa, e localmente por finos flúvio-lagunares e ocorrem geralmente em cotas mais baixas. Os solos desenvolvidos nesta unidade são Podzólicos ou associações de Podzólico / Podzol, com baixa fertilidade natural. Essa unidade compreende a área de ocorrência das Formações Barreiras e Beberibe, excluídos os topos. São encostas com declividade variável, sendo mais comuns valores entre 15% e 60%, podendo mostrar taludes verticais e até negativos. Ocorrem entre as cotas de 10 a 70 metros na parte sudoeste e de 10 a 120 metros na parte norte da área. Em planta, as encostas mostram-se sinuosas, côncavo-convexas, enquanto em perfil se mostram predominantemente planas e côncavas. As cabeceiras de drenagens, são usualmente ativadas nos períodos mais chuvosos. Em decorrência da declividade, as encostas são áreas preferenciais de escoamento superficial das águas, salvo quando são desmatados e cortados em patamares, aumentando o coeficiente de infiltração. Nas encostas onde o pacote sedimentar é homogêneo, ou seja, onde não há grandes quebras texturais com a formação de camadas distintas, a ocorrência do nível freático acompanha aproximadamente a forma do morro, sendo mais profundo no topo e gradativamente mais superficial, em direção à base da encosta. Nos casos de camadas alternadas de material argiloso e arenoso, desenvolvem-se vários níveis freáticos suspensos, em virtude da impermeabilização das camadas argilosas mais contínuas. De um modo geral esses sedimentos prestam-se à captação de água subterrânea como alternativa de abastecimento complementar, de baixa demanda. Esta unidade é a que se apresenta mais suscetível a escorregamentos e erosão superficial em toda a área do Recife. As características litológicas e deposicionais da Formação Barreiras, associadas à evolução pedogenética que se processa sob condições de clima quente e úmido, determinam o comportamento geotécnico dos sedimentos e respectivos solos frente à ação das chuvas. Os solos com forte componente argiloso, como os observados nos morros mais densamente ocupados da Zona Norte do Recife (a leste da BR-101 N), tendem a apresentar mais eventos e acidentes de escorregamentos, enquanto os sedimentos de textura mais arenosa expostos no extremo norte do município e na Zona Sul, apresentam mais ocorrências de erosão, em diferentes estágios de desenvolvimento, desde ravinamento superficial até a formação de voçorocas. Estudos geotécnicos feitos no Alto do Boleiro, em Nova Descoberta, mostraram que as rupturas se dão sob condições de chuva intensa, após a saturação dos solos por períodos contínuos de lenta infiltração de água. A ruptura atinge uma profundidade de cerca de três metros, correspondente à franja de umedecimento máxima encontrada nesses sedimentos, a partir de monitoramento feito em períodos secos e chuvosos. Nas encostas densamente ocupadas da zona norte, onde o teor de argila nos sedimentos e respectivos solos é mais elevado, são mais frequentes as ocorrências de escorregamentos; na zona sul, onde predominam sedimentos arenosos de canal fluvial, é maior a incidência de ravinamento e voçorocamento. Os movimentos de

FIGURA 2



massa verificados no Recife, têm forte componente antrópico, já que o relevo maduro e a proteção da cobertura vegetal propiciam uma boa estabilidade natural para as encostas. São as ocupações desordenadas, com cortes e aterros indiscriminados e o não disciplinamento das águas pluviais e servidas que levam ao desencadeamento de situações de risco, geralmente confirmadas por eventos e acidentes, nos períodos de maior concentração de chuvas. O Mapa de Risco das Encostas Ocupadas do Recife (Gusmão Filho et al., 1993, elaborado na escala 1:5.000 e apresentado nas escalas 1:10.000 e 1:25.000, foi elaborado para subsidiar o planejamento municipal e a Defesa Civil. Dados levantados em jornais locais, atestam a ocorrência de 88 óbitos em Recife entre 1990 e 1998 (Alheiros, 1998). Em abril de 1996, fortes chuvas concentradas em menos de dois dias responderam por cerca de 42 dessas ocorrências. As áreas mais atingidas no Recife foram os bairros da Zona Norte com dezenas de deslizamentos que atingiram mais gravemente 11 localidades, destruindo completamente 86 casas e deixando cerca de 2.000 desabrigados. Na Zona Sul, o Bairro do Ibura foi a localidade mais afetada, com 3 casas totalmente destruídas e cerca de 50 famílias desabrigadas, em decorrência de queda de barreiras por erosão acelerada.

UNIDADE VIII - topo de tabuleiro costeiro

Esta unidade situa-se nas áreas de ocorrência da Formação Barreiras, e constitui as áreas de cotas mais elevadas, adjacentes às encostas da Unidade VII, apresentando as mesmas propriedades geológicas do depósito sedimentar como um todo. No que se refere às características pedológicas, cabe salientar que a posição topográfica mais superior condiciona a uma maior probabilidade de ocorrência de latossolo e ainda, de podzol, a depender das variações de textura e permeabilidade do solo.

À medida que se aproximam da planície, os tabuleiros vão sendo rebaixados e recortados, até o aparecimento de formas isoladas de morros, onde os topos são mais arredondados. Desse modo os topos mais planos, contínuos e extensos, ocorrem na parte noroeste do município. As diferenças de morfologia entre os topos, não foram consideradas para a caracterização desta Unidade, tendo em vista que essas diferenças não determinavam mudanças nas características geotécnicas. São locais preferenciais de infiltração de águas de chuvas e mostram boa estabilidade e baixa suscetibilidade a escorregamentos e erosão, salvo nas proximidades das quebras do relevo.

UNIDADE IX - domínio colinoso

Esta unidade é encontrada na parte sudoeste do município, ocupando parte dos bairros de Barro e Jardim São Paulo. Corresponde à área de ocorrência das rochas sedimentares da Formação Cabo, depositadas sob regime de alta energia, nas bordas de leques aluviais. Estas rochas estão associadas aos eventos tectônicos que atuaram fortemente nessa área, durante o período Cretáceo, culminando com a ruptura da crosta continental e ingresso do Oceano Atlântico, separando os continentes americano e africano. São sedimentos compostos por ciclos deposicionais recorrentes, que resultam em camadas de granulação grossa, até conglomerática, alternadas a camadas de argila, chegando a atingir cada uma, mais de um metro de espessura. São sedimentos ricos em feldspatos, o que resulta em forte argilização também da camada originalmente arenosa a conglomerática. Apresenta entre as argilas presentes, variedades expansivas como esmectitas e interestratificadas. Apresenta um relevo bastante dissecado, com topos arredondados, tendendo à formação de morros isolados. Atingem cotas máximas de 50 metros. As encostas

apresentam declividades naturais entre 15% e 100%, podendo ocasionalmente mostrarem declividades superiores. São sinuosas (côncavo-convexas) em planta, mostrando-se convexas em perfil. Em virtude de alguns capeamentos localizados de sedimentos arenosos da Formação Barreiras, as rochas da Formação Cabo funcionam com substrato impermeável para a percolação vertical de águas subterrâneas, levando à formação de fontes de contato, como a que se encontra em corte da BR-101 Sul, nas proximidades da CEASA, onde a população local se abastece de água potável de boa qualidade. Seu elevado teor de argila torna-o um mau aquífero, embora sejam freqüentes as cacimbas para captação de água subterrânea, em áreas com ocupações de baixa renda. Em virtude desse alto conteúdo de argila, e do seu ambiente de formação (lagos tectônicos profundos) esta unidade apresenta baixa permeabilidade e alta probabilidade de ocorrência de solos expansivos. Apresenta terrenos bastante estáveis, sem evidências de eventos espontâneos de movimentos de massa. Mesmo em áreas submetidas a cortes subverticais, como se observa às margens da BR-101 Sul, não são freqüentes os escorregamentos e quando ocorrem, se dão em pequena escala.

UNIDADE X - modelado cristalino

Esta Unidade ocupa o extremo oeste da área do município, que corresponde em parte, aos bairros de Curado, Coqueiral e Totó. É constituída pelas rochas do embasamento cristalino e seu respectivos solos residuais. O Embasamento Cristalino representa o substrato que embasa todo o município e se constitui de rochas de composição granítica datadas do Arqueano (Precambriano), com cerca de 2 bilhões de anos. São gnaisses, cataclastos e granitos ricos em quartzo e feldspatos, além de anfíbolitos e dioritos, contendo grande quantidade de minerais escuros (ferromagnesianos), os quais juntamente com os feldspatos, apresentam forte tendência de argilização durante o processo de formação do seu solo residual sob as condições climáticas locais, tendo como produto a formação de caulinitas. São freqüentes nessas rochas, falhas e fraturas de direção E-W e NE-SW, em decorrência das deformações impostas por esforços tectônicos regionais. O relevo é no geral bastante dissecado e arrasado, com alguns morros isolados, tendo em vista a intensa ação fluvial ali realizada pelos rios que drenam a área. Apenas no extremo oeste da cidade, ocorrem morros elevados, com cotas que chegam a atingir pouco mais de 100 metros. Esta unidade abrange parte das bacias do Capibaribe e Tejipiú, sendo o curso desses rios ali controlado pelas estruturas (falhas e fraturas) das rochas. Os recursos hídricos de superfície são fortemente afetados pela contaminação oriunda dos núcleos urbanos e das indústrias localizadas a montante desses rios. Quanto às águas subterrâneas, as rochas cristalinas geralmente não são bons aquíferos. A água acumulada nas fraturas das rochas é inexpressiva, não se justificando a perfuração de poços profundos. No manto de intemperismo as águas de infiltração também não encontram boas condições de acumulação, embora seja comum a construção de cacimbas para o abastecimento alternativo, nas áreas mais afastadas do núcleo urbano principal. Embora inclua uma significativa diversidade litológica, esta Unidade não mostra diferenças significativas de comportamento geotécnico, distinguindo-se apenas as áreas capeadas por solos residuais, daquelas de rocha aflorante. As fraturas apresentam-se geralmente fechadas, em parte preenchidas por veios de quartzo ou feldspatos, ocorrendo algumas zonas mais fissuradas com possibilidade de formação de fendas. Afloramentos de rochas são mais freqüentes na área do TIP e no acesso à UR-7. Os solos residuais (geralmente podzólicos) são pouco

espessos, no geral entre 1 e 5 metros, incluindo-se aí os níveis saprolíticos. São raros os blocos (matacões) imersos nesses solos, que são argilosos e de baixa permeabilidade. No contato solo/rocha podem ocorrer surgências de água, como nos bairros de Totó e Coqueiral. Os sistemas de fraturamentos e os bandamentos estruturais das rochas expostas, não oferecem perigo de deslocamento ou queda de blocos, salvo em áreas de corte ou exploração de jazidas, como consequência das explosões. Os escorregamentos de solos são pouco freqüentes e se dão sob condições de intensa saturação, em áreas descalçadas por cortes. Esses solos apresentam baixa suscetibilidade à erosão.

3. O BANCO DE DADOS DA CARTA GEOTÉCNICA

O Banco de Dados da Carta Geotécnica foi desenvolvido com a finalidade de armazenar, recuperar e permitir análises de informações relativas à geotecnia. Inicialmente foram cadastrados os locais onde foram realizados os ensaios SPT, através dos arquivos das empresas, em planilha eletrônica e descartados os locais cujos endereços não permitiam determinar com exatidão as coordenadas em planta. Quando em determinado local diversos ensaios foram feitos, escolheu-se aquele que atingia maior profundidade. A seguir as folhas de sondagens com a descrição das camadas e o número de golpes SPT foram fotocopiadas levadas para a UFPE para a entrada dos dados no computador.

Atualmente o banco contém 1.469 ensaios SPT, com um total de 6.572 camadas reconhecidas e 22.612 metros de sondagens. A distribuição das sondagens segue a distribuição das construções maiores, principalmente prédios, sendo maior nos bairros de classe média e alta como Boa Viagem.

O Banco de Dados contém a descrição do perfil do solo, número de golpes SPT em função da profundidade e a posição do nível de água, além de informações referentes à localização do ensaio (endereço e coordenadas UTM). A descrição das camadas de solos foi padronizada da seguinte forma:

solo 1, que corresponde à textura principal do solo de argila, silte e areia.

solo 2, textura secundária que geralmente acompanha a principal, como siltosa.

complemento, que corresponde a um comentário que eventualmente acompanha o tipo de solo, como por exemplo com presença de conchas.

estado de compacidade ou consistência, conforme o tipo de solo 1.

A entrada de dados é feita através de um programa desenvolvido com o apoio do Departamento de Informática da UFPE, na linguagem Clipper, utilizando-se *menus* para facilitar a digitação e evitar erros e os dados são armazenados em uma série de arquivos do tipo DBF.

O programa Solos do Recife tem como objetivo localizar as sondagens que constam do banco de dados de sondagens da Carta Geotécnica no mapa da cidade do Recife e mostrar as diversas camadas identificadas na sondagem. O programa foi escrito na linguagem Delphi e utiliza mapas da UNIBASE da FIDEM na escala 1:5.000, digitalizados na Área de Geotecnia da UFPE. Na abertura do programa escolhe-se a região da cidade (Centro ou Sul) que se pretende consultar. Quadrados coloridos à esquerda representam os diversos bairros, conforme suas posições no mapa da cidade. A legenda na base da tela relaciona os bairros.



Mapeo geológico en Huaca Huasi Cumbres Calchaquíes, Tucumán, noroeste de Argentina

Arcuri, Claudia B.

Resumen

El objetivo de este trabajo es obtener el mapa geológico (incluyendo litología y morfoestructuras) y su relación con procesos geodinámicos externos (especialmente dinámica glacial Cuaternaria), en un área que se mantiene poco explorada en este aspecto.

La cuenca hídrica de Huaca Huasi y alrededores está situada a 4.000 - 4.650 m.s.n.m., en el Sistema orográfico de las Cumbres Calchaquíes, Oeste de la Provincia de Tucumán, Noroeste de Argentina.

Se hizo el mapeo geológico con interpretación visual de imágenes de sensores remotos, asociado con trabajo de campo. La discusión de fallas, movimiento de bloques, e inclinación está relacionado con su apariencia en las fotos aéreas, con la historia tectónica del área de estudio, y fue corroborado con trabajo de campo.

El ascenso diferencial de los bloques originó varios niveles de plataformas elevadas, mientras que distintas inclinaciones de los bloques dieron lugar a dos pendientes regionales dominantes, por donde se desplazaron los glaciares Cuaternarios, y donde hoy fluye la escorrentía superficial y subsuperficial.

1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este trabajo es obtener el mapa geológico (incluyendo litología y morfoestructuras) y su relación con procesos geodinámicos externos (especialmente dinámica glacial Cuaternaria), en un área que se mantiene poco explorada en este aspecto.

Este trabajo debe ser considerado como un complemento de otro relacionado a geomorfología en la misma área (Arcuri 1998), y como una contribución al conocimiento del área, ampliamente estudiada en otras disciplinas principalmente por Halloy (1978, 1980, 1985, 1989, 1991, Halloy & González, 1993, etc).

Este trabajo ha sido realizado desde una perspectiva geomorfológica, más que desde una perspectiva puramente geológico estructural.

La bibliografía relacionada a geología estructural del área de estudio que se encontró es de escala regional, y la información proporcionada resulta inadecuada para la escala de mapeo de este trabajo (Mon y Hongn, 1988; Sosa Gómez y Gómez Omil, 1993 a, b).

Se usaron los siguientes materiales:

1. Fotografías aéreas (1971), blanco y negro, verticales, estereoscópicas, escala 1:50.000. Spartan Air Service. Servicio de Geología y Minería de la República Argentina. Regional noroeste.
2. Estereoscopio de espejos Topcon.
3. Imagen satelital Landsat Thematic Mapper, 01 Mayo 1990. Bandas 3, 4, 5. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Provincia de Tucumán. Formato digital.
4. Imagen satelital Spot, copia dura, monoscópica, HRV1, Falso Color Compuesto RGB 321, 08 Septiembre 1986, escala 1:100.000. Dirección Provincial de Vialidad. Provincia de Tucumán.
5. Software: ilwis (Integrated Land and Water Information

Entregado: 03 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 28 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

System). Versión 1.3. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Holanda.

2. MÉTODOS

Se hizo un mapa geológico en base a la interpretación visual de imágenes de sensores remotos: fotografías aéreas pancromáticas, escala 1:50.000, e imágenes satelitales Landsat y Spot escala 1:100.000. El mapa preliminar fue verificado durante el trabajo de campo, luego de lo cual se hizo el mapa final. Los datos tomados en campo incluyeron: mediciones, observaciones, y fotografías de rumbo y buzamiento, planos de foliación, estrías glaciales, y rasgos topográficos detectados en las imágenes de sensores remotos.

Se hizo Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales usando el software "ilwis", para mejorar la imagen a los fines de la interpretación visual de los lineamientos geológicos, dentro de una perspectiva regional. Los resultados fueron transferidos al mapa.

La descripción de los valles glaciares (principales y tributarios) y las peneplanicies incluyen: orientación geográfica, pendiente, y asimetría de laderas. Esto ha sido hecho dentro de un marco de geología estructural, con el objeto de describir los movimientos de los glaciares Cuaternarios (como fueron descritos por Halloy 1978, 1982; Arcuri, 1988, 1998).

3. UBICACIÓN

La región de Huaca Huasi es una planicie elevada entre 4.000 y 4.650 m.s.n.m. (Fig. 1). Forma parte de una peneplanicie ampliamente expuesta en las Sierras Pampeanas,

probablemente desarrollada durante tiempos Mesozoicos y Terciarios (Sayago, 1983).

El principal levantamiento de las Cumbres Calchaquías muy probablemente ocurrió entre 3,4 y 2,9 millones de años antes del presente (Fox & Strecker, 1991), causando fallamiento en bloques y levantamientos diferenciales de los mismos.

4. MAPEO AYUDADO POR DATOS DE IMÁGENES SATELITALES

La imagen satelital en formato digital permite realizar el procesamiento digital. Usando esta técnica, se pudo obtener una imagen apropiada para la detección de lineamientos, a escala regional. Para lo cual fue esencial el conocimiento de campo adquirido previamente.

Se aplicó la técnica del 'estiramiento lineal', con la cual se obtuvo una imagen muy brillante, donde algunos tonos de grises se perdieron, en una pobre definición del paisaje. Así, se llegó a la conclusión que la imagen sin estiramiento lineal es más apropiada para la detección visual de lineamientos geológicos y la observación del paisaje.

Otro objetivo que se buscaba con el procesamiento digital de la imagen satelital fue la diferenciación de litologías, basándose en los valores del 'digital number' DN (número digital), siempre con el apoyo del conocimiento de campo. El resultado fue que no se detectaron diferentes valores de número digital para las diferentes litologías presentes en el área. Probablemente, esto se deba al hecho que hay un pequeño número de litologías diferentes en el área, o a que sus valores de reflectancia no son tan distintos entre sí. O que el tamaño de pixel de la

FIGURA 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE TRABAJO

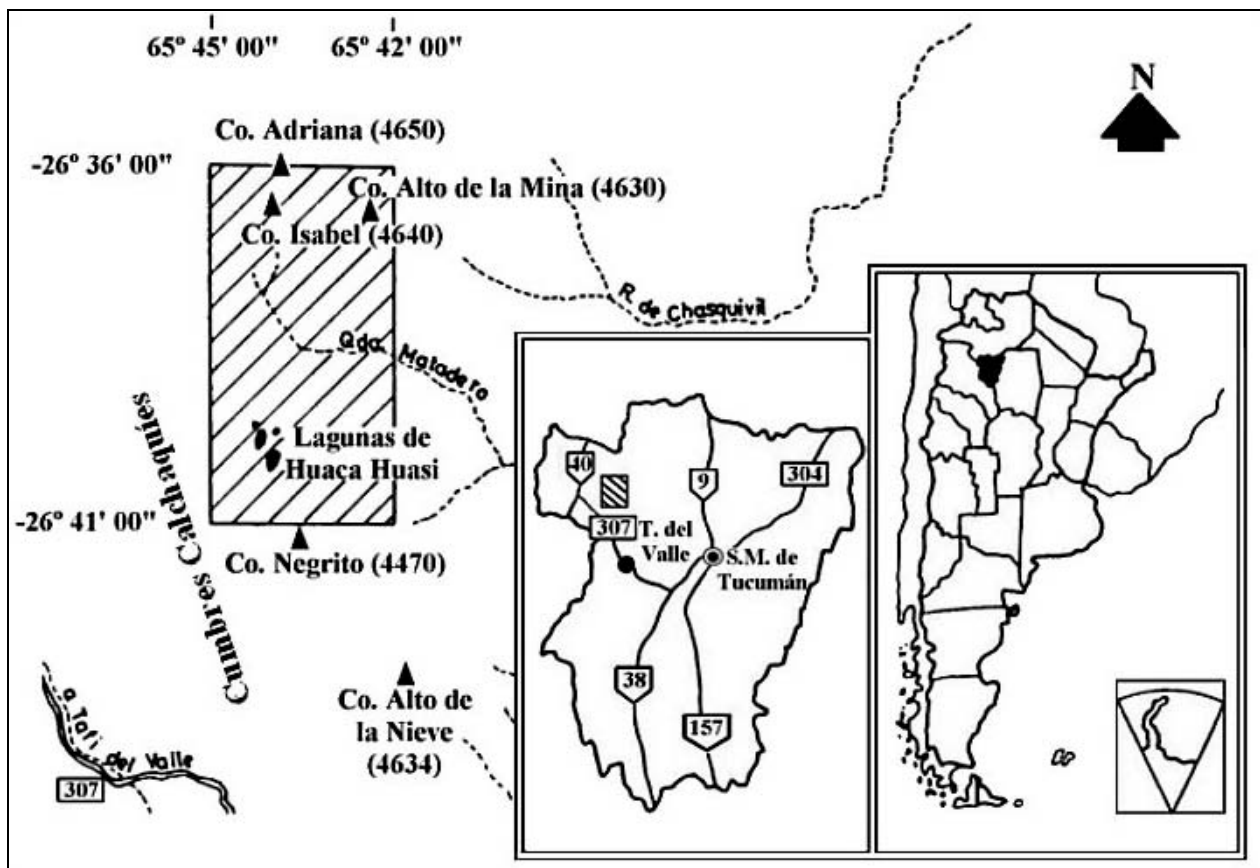


imagen (30 m x 30 m) es demasiado pequeño para este tipo de análisis (en el caso de áreas relativamente pequeñas como las 'vegas', esto es una característica importante).

5. GEOLOGÍA DEL ÁREA

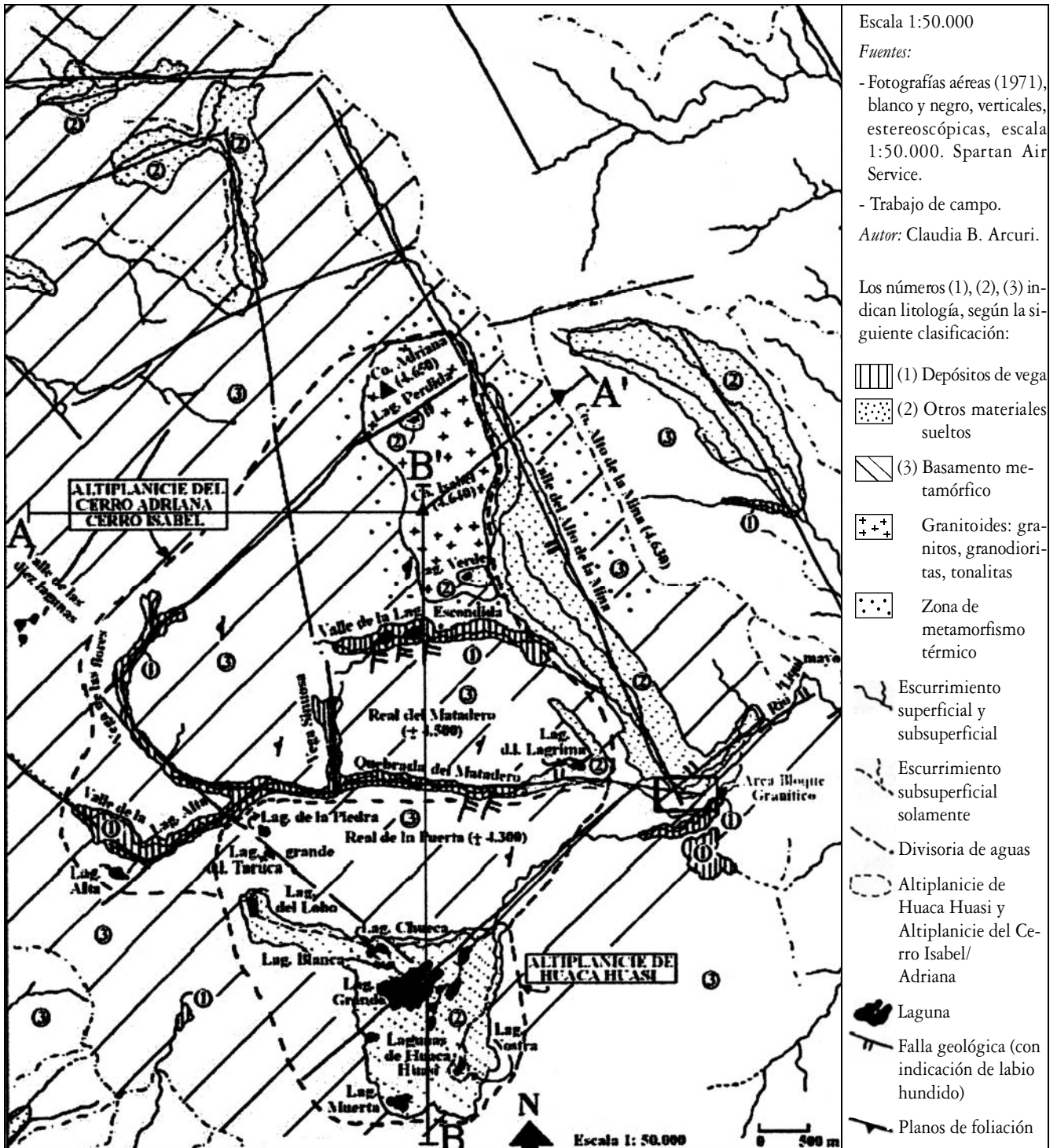
La cuenca hídrica de Huaca Huasi y área circundante es parte de la zona Sur de las Cumbres Calchaquíes, sistema orográfico ubicado en el Noroeste de las Sierras Pampeanas (Camino, 1979).

La unidad estratigráfica más desarrollada es el basamento metamórfico (Fig. 4) intrusionado por cuerpos graníticos

(Precámbrico o Cámbrico bajo), cubierto por depósitos Cuaternarios. Se reconocieron por lo menos tres ciclos diastrosóficos. El último es el ciclo Andino, responsable de la actual estructura, relieve, y diferenciación de otras unidades estructurales (Mon y Urdaneta, 1972). Existen asimismo diferencias estratigráficas entre esta región y las vecinas.

Suayer et al. (1987) han estudiado calizas en el área. El material detrítico de laderas está ampliamente distribuido, y las morenas glaciales son abundantes especialmente en el fondo de los valles y en la peneplanicie de Huaca Huasi (Fig. 2).

FIGURA 2: MAPA GEOLÓGICO DE HUACA HUASI



Las rocas identificadas en el área de trabajo son:

- 'Gneis de Suncho': (Precámbrico alto - Cámbrico) esquistos bandeados y micaesquistos (SEGEMAR, 1994).

Rasmuss (1918) llamó 'esquistos listados' a las rocas metamórficas del área, debido a su apariencia bandeada. Ellas están formadas por bandas oscuras con abundante biotita y bandas claras con abundante cuarzo, de unos 2-3 mm de espesor cada una (Fig. 3). Los planos sedimentarios relícticos fueron reforzados por la recristalización metamórfica (Rasmuss 1918; Stelzner 1923; Ruiz Huidobro 1972). Actualmente este bandeamiento es interpretado como de origen tectono-metamórfico.

González y otros (2000) diferenciaron dentro de este tipo de roca, dos unidades litológicas, según se cita a continuación:

- Metamorfismo de bajo grado (con almandino), a mediano grado (con estaurolita) (sensu Micaesquistos listados). Esquistos bandeados, felsitas calcosilicáticas, etc.
- Zona de metamorfismo térmico, esquistos porfiroblásticos.

Esta distinción se ha reflejado en el mapa geológico (Fig. 2).

- 'Calizas Peñas Azules': (Precámbrico alto - Cámbrico) calizas (SEGEMAR, 1994).

FIGURA 3:

Afloramiento de esquisto mostrando planos de foliación (oblicuos), y estriaciones glaciales (horizontales), Valle de la Laguna Escondida, ladera sur, entre Laguna Escondida Inferior y Laguna Escondida Media (4330 m). (Diciembre, 1987). Foto: C. Arcuri.

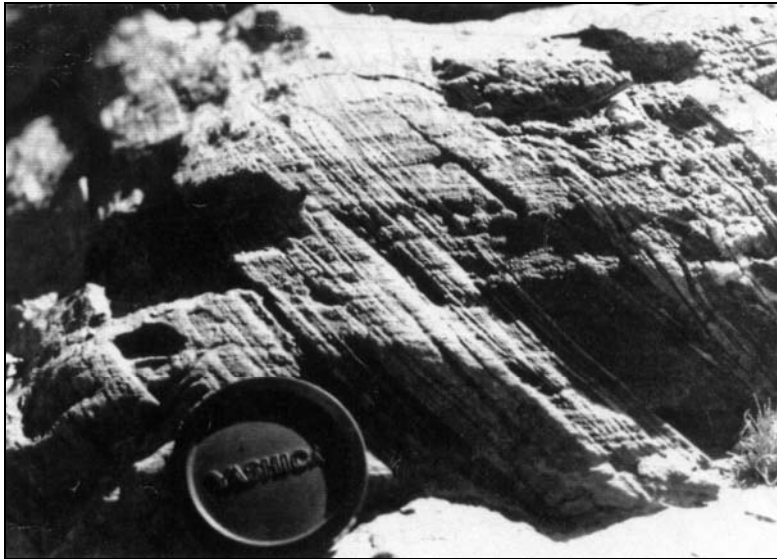


FIGURA 4:

Umbral topográfico en la Quebrada del Matadero formado por basamento metamórfico, pulido, y con estrías glaciales. En la ladera sur de la Quebrada del Matadero. El sentido del flujo glacial fue hacia el este (en la foto, hacia la izquierda). (Diciembre, 1987). Foto: C. Arcuri.



Este tipo de rocas no afloran en el área mapeada (Fig. 2). El lugar más cercano de afloramiento es al este de la línea de cumbres (divisoria de aguas) del Cerro Alto de la Mina (*Ruiz Huidobro 1972*), siendo el límite de la Fig. 2 la línea de cumbres del citado cerro. Más al este, y mucho más abajo se encuentran las calizas de Peñas Azules.

- '*Granitoides*': Paleozoico (Ordovícico - Carbonífero) granitos, granodioritas, tonalitas (*SEGEMAR, 1994*). También *González y otros (2000)* siguen la clasificación citada más arriba.

Con respecto a los granitoides, he mapeado un cuerpo granítico que abarca: el Cerro Adriana, Cerro Isabel, hasta el Valle de la Laguna Escondida, sin incluir este último.

Ruiz Huidobro (1972) ha mapeado la geología del área a una escala 1:200.000, mientras que *González y otros (2000)* lo han hecho a escala 1:250.000. En ambos mapas aparece el cuerpo granitoide, aunque más pequeño y de otra forma en el mapa del último autor. Pero manteniendo la posición y dimensiones generales. *González (comunicación personal 2001)* ha manifestado que el citado cuerpo granítico no es fácilmente identificable para mapear en las fotos aéreas (escala 1:50.000). En lo que la autora coincide. Tampoco lo he identificado 'in situ', por lo que un nuevo trabajo de campo sería útil para dilucidar la existencia de este cuerpo granítico en superficie. De todos modos, lo he incluido en el mapa de la Figura 2. Por un lado, siguiendo a los autores antes citados, y por otro lado, en base al trabajo de fotointerpretación y conocimiento de campo propios. Así, durante la fotointerpretación identifiqué un área sin esquistosidad, con formas más redondeadas que en el área circundante, la cual he mapeado como el cuerpo granitoide. La esquistosidad es un rasgo nítidamente identificable, con dirección general norte-sur, en las fotos aéreas usadas (escala 1:50.000).

Si bien en el mapa de *Ruiz Huidobro (1972)* el granitoide aparece hasta el Valle de la Laguna Escondida (+4.330- 4.350 m) y cerro Real del Matadero (+ 4.500 m), en el campo he identificado rocas metamórficas en el citado cerro y en el Valle de la Laguna Escondida (*Arcuri, 1988*, pp:100-101). La escala de mapeo utilizada en ambos casos (1:200.000 y 1:50.000 respectivamente), es un factor decisivo en la definición de las unidades mapeadas.

6. MAPEO GEOLÓGICO: FALLAS Y LINEAMIENTOS

El mapeo geológico sirve aquí como una herramienta para la descripción de la dinámica glacial.

Así, hay afloramientos graníticos en el Cerro Alto de la Mina, y bloques erráticos y gravas graníticos presumiblemente originados en esos afloramientos, desde donde fueron arrastrados por los glaciares hacia el Sur, a la confluencia del Valle del Cerro Alto de la Mina y Quebrada del Matadero (Fig. 2). En este lugar no hay afloramientos de granito (Fig. 2).

Otros lugares con gravas y bloques erráticos graníticos son: la 'cresta morénica' que divide la Quebrada del Matadero (parte baja), de la Quebrada del río Liquimayo (parte alta). También la 'morena lateral' sur en el Valle del Cerro Alto de la Mina y la 'morena de fondo' en el mismo Valle, en su cruce con la Quebrada del Matadero (Fig. 2).

A lo largo de los valles estructurales se formaron 'glaciares de valle', tales como: el Glaciar del Cerro Alto de la Mina (que fluía de norte a sur), el Glaciar del Matadero (de noroeste a sudeste), el Glaciar de la Laguna Escondida (noroeste a sudeste), el Glaciar de la Vega Sinuosa (sur- suroeste), el Glaciar de

la Laguna Verde (este), el Glaciar de la Laguna Perdida (sur- suroeste), y el Glaciar de las Flores (suroeste) (Fig. 2) (nomenclatura en parte de *Halloy, 1982*).

Las estructuras geológicas mapeadas son fallas (probadas o seguras), y lineamientos (inferidos). La descripción se hizo desde el norte al sur.

El Valle del Cerro Alto de la Mina y la Quebrada del Matadero son los valles principales del área de trabajo. Se orientan en coincidencia con fallas principales, la primera (correspondiente al Valle del Cerro Alto de la Mina) tiene dirección noroeste - sur sureste (NNO-SSE), la última (correspondiente a la Quebrada del Matadero) es casi perpendicular a la anterior y tiene dirección ONO-ESE (fig. 2).

El Valle de la Laguna Escondida, el Valle de la Laguna Perdida, y el Valle de la Laguna Verde son valles secundarios, afluentes del Valle del Cerro Alto de la Mina, y corren también paralelos al juego de fallas. El primero de ellos es claramente paralelo a la Quebrada del Matadero, y tiene dirección ONO-ESE. El segundo y el último valle son más cortos y tienen dirección O-E.

El Valle de la Laguna Perdida (en el extremo norte del área de trabajo) es una depresión topográfica cerrada, cuyo glaciar muy probablemente drenaba al Valle del Cerro Alto de la Mina.

Hay fallas de diferente magnitud, tomando en cuenta la longitud de la falla y la escarpa de falla. En primer orden está la falla del Valle del Cerro Alto de la Mina, que se extiende más hacia el norte, fuera del área de estudio. En segundo orden está la falla de la Quebrada del Matadero. Las otras están en un tercer orden de magnitud.

Hay dos juegos de lineamientos principales: ONO-ESE y O-E (en sentido geográfico general). Debe considerarse que si las imágenes satelitales hubieran sido georeferenciadas y corregidas geométricamente, las mencionadas orientaciones geográficas van a cambiar indudablemente. Por lo tanto, deberían considerarse las tendencias de las orientaciones, en lugar de las orientaciones en sí mismas.

Los afluentes de la Quebrada del Matadero son: el Valle de las Diez Lagunas, la Vega de las Flores, la Vega Sinuosa, y el Valle de la Laguna Alta.

La Vega Sinuosa está en la continuación, al sur de un lineamiento N-S. Otros podrían resultar de una combinación de lineamientos NO-SE y NE-SO. Así, el Valle de las Diez Lagunas aparentemente es el resultado de un lineamiento mapeado NE-SO, con uno oblicuo. Mientras que la Vega de las Flores es el resultado de un lineamiento NE-SO en el Valle alto, y uno NO-SE en el Valle bajo. Y el Valle de la Laguna Alta es el resultado de un lineamiento NO-SE en el Valle alto, y uno NE-SO en el Valle bajo.

La llanura elevada de Huaca Huasi recibe tributarios de: la Laguna del Lobo, Laguna de la Taruca, Laguna de la Piedra Grande, Laguna Chueca, y Laguna Blanca. Un lineamiento de dirección NE-SO corre a lo largo de la Laguna Grande de Huaca Huasi, y continúa hacia el este, en la Quebrada del río Liquimayo.

Se incluyó un mapa geomorfológico de Huaca Huasi (*Arcuri 1998*) (Figura 5), para mostrar las formas de origen glacial, periglacial, estructural, y fluvial. Fue hecho con fotos aéreas a escala 1:50.000, sobre la misma área que el mapa geológico, con control de campo (Fig. 2). También para mostrar la toponimia.

1. Formas de origen glacial

- 1.1. Morena basal
 - 1.1.1. Drumlin
- 1.2 Morena lateral
 - 1.2.1. Morena lateral superior
 - 1.2.2. Morena lateral media
 - 1.2.3. Morena lateral inferior
- 1.3. Morena frontal
- 1.4. Morena de convergencia glacial
- 1.5. Valle colgado
- 1.6. Circo y nicho de nivación
- 1.7. Rocas aborregadas (roches moutonnées), pulidas, y estriadas en umbral topográfico
- 1.8. Nunatak
- 1.9. Complejo de morenas frontales, laterales, y basales

2. Formas de origen periglacial

- 2.1. Polígonos seleccionados
- 2.2. Lóbulos de solifusión
- 2.3. Lenguas detríticas de soliflución
- 2.4. Turbera colgante
- 2.5. Detritos de ladera

3. Formas de origen estructural

- 3.2. Plateau estructural
- 3.4. Escarpa estructural

4. Formas de origen fluvial

- 4.1. Abanico aluvial

Los códigos de las unidades de mapeo están dentro de círculos, y dentro de las unidades correspondientes, siempre que fue posible. Cuando el tamaño de las unidades era demasiado pequeño, se colocó los códigos fuera de las unidades, y se los relacionó con una línea (Arcuri, 1998).

FIGURA 6: PERFIL ESQUEMÁTICO MORFO-ESTRUCTURAL

AA'. Ver ubicación en Fig. 2. Escala horizontal aprox. 1:50.000. Escala vertical 1:20.000.

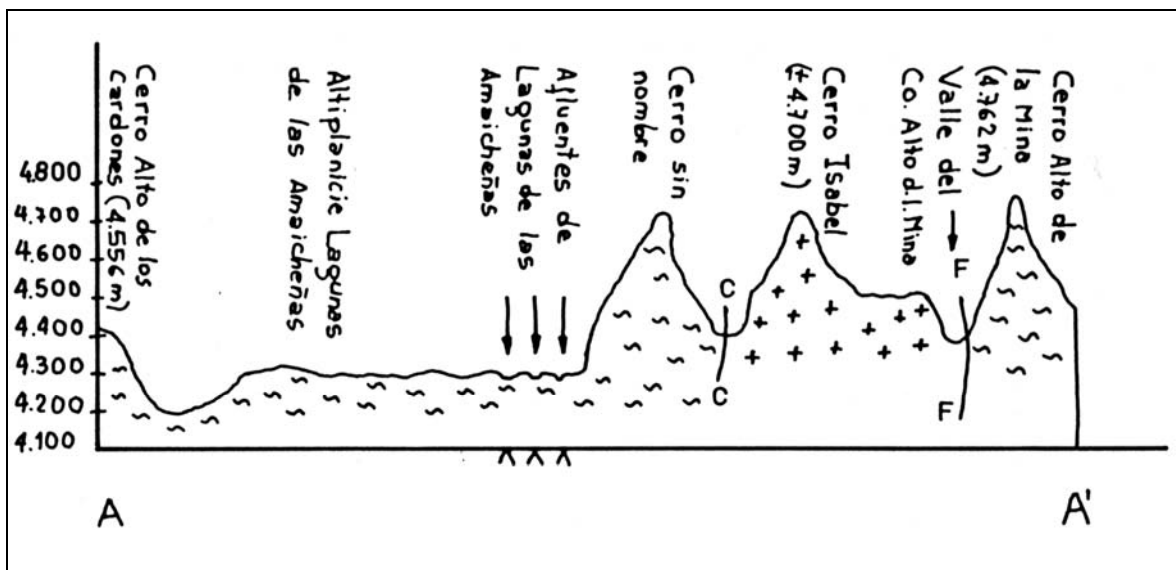
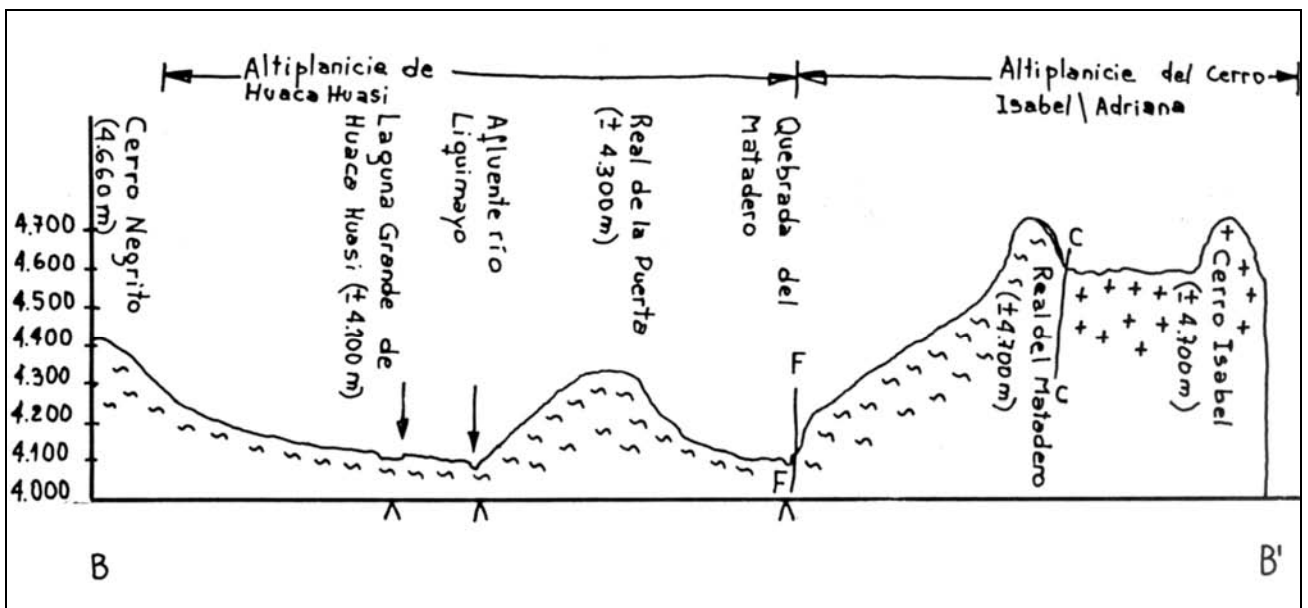


FIGURA 7: PERFIL ESQUEMÁTICO MORFO-ESTRUCTURAL

BB'. Ver ubicación en Fig. 2. Escala horizontal aprox. 1:50.000. Escala vertical 1:20.000.



Se hicieron dos perfiles esquemáticos morfo-estructurales: AA' y BB' (Figuras 6 y 7) cruzando las altiplanicies y fallas mapeadas, para mostrar las alturas de los bloques vasculados y la morfo-tectónica.

7. RASGOS TOPOGRÁFICOS Y ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

El trabajo de campo demostró que algunos rasgos topográficos son claras expresiones de estructuras geológicas. Así, hay tres 'umbrales topográficos' (niveles) en el Valle de la Laguna Escondida, así como en la Quebrada del Matadero (Fig. 2). La Figura 4 muestra el umbral topográfico en la Quebrada del Matadero, formado por basamento metamórfico.

El mapeo realizado con las fotos aéreas ha mostrado que ellos son paralelos. Por otro lado, las mediciones realizadas en el campo sobre los planos de foliación (Fig. 3) en ambos Valles probaron también que son paralelos. Las mediciones de campo se hicieron en la ladera sur del Valle de la Laguna Escondida, entre la Laguna Escondida Inferior y la Laguna Escondida Media. Los planos de foliación están orientados NNE-SSO. Ellos son claramente visibles en: el Real del Matadero, Real de la Puerta, y en la llanura elevada del Cerro Adriana-Cerro Isabel (Fig. 2).

Esos umbrales topográficos fueron creados probablemente por 'fallamiento de bloques' (Fig. 2). Luego, el agua que permaneció estancada y las comunidades vegetales asociadas crearon lagunas y vegas, pendiente arriba de las fallas (Fig. 2).

La Laguna Escondida Superior, Laguna Escondida Media y Laguna Escondida Inferior (en el Valle de la Laguna Escondida) son una secuencia de lagunas cuya hidrología y funciones ecológicas están en estrecha interrelación (Halloy, 1980).

El estilo tectónico de las Sierras Pampeanas involucra mayormente 'fallas inversas de alto ángulo'. En este aspecto, el área de estudio debería tener el mencionado tipo de fallas.

Como el proceso de fallamiento involucra el levantamiento diferencial de bloques y la inclinación, ambas características han sido consideradas en el área de estudio.

El levantamiento diferencial de los bloques dio lugar a varios niveles de 'plateau', siendo los más importantes la peneplanicie de Huaca Huasi, y la peneplanicie del Cerro Adriana-Cerro Isabel (Fig. 2). Esta última es probablemente, el labio levantado de la falla, considerando que está a más altura que la peneplanicie de Huaca Huasi. Mientras que la peneplanicie de Huaca Huasi se movió hacia abajo.

La falla que corre a lo largo de la Quebrada del Matadero es probablemente la 'falla límite' entre la peneplanicie de Huaca Huasi y la peneplanicie del Cerro Adriana-Cerro Isabel.

La inclinación de los bloques originó dos pendientes regionales dominantes: hacia el sur, y hacia el este. Esto ha motivado que el movimiento glaciar se haya realizado siguiendo esas dos direcciones principales.

El Glaciar del Valle del Cerro Alto de la Mina se movió hacia el sur, mientras que el Glaciar de la Quebrada del Matadero lo hizo hacia el este, y el casquete glaciar de Huaca Huasi se movió hacia el este también.

La Figura 4 muestra el basamento metamórfico, pulido, y con estrías glaciales, en la ladera sur de la Quebrada del Matadero. El sentido del flujo glaciar fue hacia el este (en la foto, hacia la izquierda).

Algunas 'escarpas de falla' son nítidas, como la del Valle del Cerro Alto de la Mina (Fig. 2), donde el bloque elevado

forma el Cerro Alto de la Mina, y el bloque hundido es el fondo del valle adyacente.

Otra escarpa de falla visible está en el Valle de la Laguna Escondida (Fig. 2), donde la montaña elevada es el 'Real de la Puerta' (4.300 m aproximadamente) y el 'Real de Matadero' (4.500 m aproximadamente), mientras que la cuenca hundida es la Quebrada del Matadero y el Valle de la Laguna Escondida.

Los planos de foliación de la roca, y las estriaciones glaciares en el área de estudio, tienen ángulos oblicuos entre sí (Fig. 3). Esta característica hace que el reconocimiento de las estriaciones glaciares sea posible.

Los perfiles esquemáticos morfo-estructurales: AA' y BB' (Figuras 6 y 7) muestran las altiplanicies de Huaca Huasi, y del cerro Isabel/Adriana, así como las principales fallas mapeadas: del Valle del cerro Alto de la Mina, y de la Quebrada del Matadero.

Los perfiles citados son líneas rectas sobre el mapa topográfico (y geológico) de Ruiz Huidobro (1972), que se usó para construir los perfiles topográficos. El mismo perfil AA', trazado sobre el mapa geológico de la Figura 2, aparece como una línea quebrada. Esto es debido a la notable deformación que tienen las fotos aéreas en esta área, con desniveles topográficos muy importantes. (El mapa geológico de la Fig. 2 fue hecho a partir de las fotos aéreas). De todas formas, esto no afecta al mapeo geológico ni estructural que aquí se quiere mostrar.

Las alturas topográficas que aparecen en los perfiles AA' y BB' respetan el mapa topográfico de Ruiz Huidobro (1972). Sin embargo, datos topográficos (alturas sobre el nivel del mar de cerros y lagunas, principalmente) que fueron obtenidos de Halloy (1982, 1985) y corroborados durante el trabajo de campo de la autora, difieren de los de Ruiz Huidobro. Por eso, en el texto y mapas se han incluido las alturas medidas en el campo.

8. MAPEO GEOLÓGICO: MATERIALES

Los materiales geológicos mapeados son: basamento, granitoide, grava gruesa y grava fina, arena, y depósitos de vega, basados en: sus valores de reflexión (en una imagen Spot Falso Color Compuesto), en sus foto-características (en fotografías aéreas blanco y negro), y en conocimiento de campo.

Los 'materiales sueltos' son considerados aquí como opuestos a 'materiales rocosos', que es el Basamento, compuesto principalmente de rocas metamórficas.

La primera cosa que llama la atención, geológicamente hablando, son los depósitos de vega (en la imagen Spot).

- Los depósitos de vega están compuestos de materiales granulares: grava, arena, y limo. Llamativos por su color rojizo en la imagen Spot, y textura suave en las fotografías aéreas. Los colores rojizos se deben a las comunidades vegetales asociadas, con altos valores de reflectancia en Spot banda 3 (que en esta Composición de Falso Color se le ha asignado color rojo). A comienzos de Septiembre (fecha de toma de la imagen satelital) la vegetación está comenzando a crecer después del invierno en la alta montaña. Por eso los colores son rojo pálido y anaranjado, mientras que en el verano avanzado aparecerían rojo brillante.
- Otros materiales sueltos, tales como depósitos de origen glaciar son de granulometría arena y grava, y no están cubiertos por comunidades vegetales. Aparecen de colores azules. Ellos están localizados en las peneplanicies y en los valles.
- Afloramientos de roca dura del Basamento, sin cobertura

vegetal, aparecen en colores verde y azul. Aquí se le ha asignado el color azul a la banda 1 de Spot, y el color verde a la banda 2. Este tipo de rocas metamórficas tienen altos valores de reflectancia en Spot banda 1.

Además, se pueden ver áreas muy brillantes (en Spot de Septiembre), que corresponden a zonas congeladas. Tales como Vega Sinuosa y parte alta de la Quebrada del Madero. Ellas tienen un alto contenido de agua (lo que posibilita el congelamiento por períodos de tiempo más largos), y están ubicados en zonas más altas. Su tamaño de grano es menor que el de las áreas circundantes, lo que disminuye el drenaje del agua. Así, estas áreas podrían ser mapeadas como de material fino, basado en la vegetación asociada y en los procesos físicos allí ocurrientes (datos de campo de Halloy, 1982; Arcuri, 1988).

- El cuerpo granitoide fue mapeado en las fotos aéreas y no se ha identificado en las imágenes satelitales (ni Landsat,

ni Spot), ni en el campo, según se ha descrito en detalle anteriormente (p: 3).

9. AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al Dr. Stephan Halloy (Crops & Food, New Zealand) por su ayuda durante el trabajo de campo. Al Dr. Alfredo Bolsi (Instituto de Estudios Geográficos, Universidad Nacional de Tucumán) por proporcionar hardware y software usados en el procesamiento digital de imágenes satelitales. Al Dr. Fernando Hongn (Servicio de Geología y Minería de la Argentina, Salta) por los valiosos comentarios acerca de geología estructural. Al Dr. Hubert Miller (Institut f. Allg. u. Angew. Geologie d. LMU. München, Alemania) por las sugerencias del trabajo en general. Al Ing. Muzzo y Sra. Flavia Allende (Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino, Tucumán, Argentina) por mejorar la apariencia visual de las figuras.

10. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ARCURI, C.B., 1988.

Geomorfología y evolución paleoambiental de la zona de Huaca Huasi, Cumbres Calchaquíes, Tucumán, Argentina.

Fac. de Cs. Naturales. Univ. Nac. de Tucumán. Tucumán. 176 pp. Inédito.

ARCURI, C.B., 1998.

Glacial features in Huaca Huasi (Cumbres Calchaquíes, Tucumán, Northwestern Argentina).

Bamberger Geographische Schriften Bd. 15, S. 368. Bamberg.

CAMINOS, R., 1979.

Sierras Pampeanas noroccidentales de Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan.

2º simp. de geol. reg. Arg. Volumen 1. Córdoba. Argentina.

FOX, A.N. & STRECKER, M.R. 1991.

Pleistocene and modern snowline in the Central Andes (24-28°S).

Bamberger Geographische Schriften.. Volumen 11:169-182. Bamberg.

GONZÁLEZ, O., Y OTROS (2000).

Hoja geológica 2766-II. San Miguel de Tucumán. Provincias de Tucumán, Catamarca, Salta y Santiago del Estero. Escala 1:250.000.

Boletín nro. 245. Secretaría de Geología y Minería de la Argentina (SEGEMAR).

HALLOY, S., 1978.

Contribución al estudio de la zona de Huaca Huasi, Cumbres Calchaquíes (Tucumán, Argentina). La biota en relación con la geología histórica.

Seminario Fac. Cs. Nat. Univ. Nac. de Tucumán. Inédito.

HALLOY, 1980.

Dos nuevos Isóetes (Lycopsidea) de alta montaña, con datos ecológicos de las Lagunas Muerta y Escondida (Cumbres Calchaquíes, Tucumán, Argentina).

Acta Lilloa volumen 35, nº 2: 65-95.

HALLOY, S. 1982.

Contribución al estudio de la zona de Huaca Huasi (Cumbres Calchaquíes, Tucumán, Argentina) II. Climatología y edafología en relación con la composición y adaptación de las comunidades bióticas.

Tesis Doctoral. Fac. Cs. Nat. UNT. Tucumán. Publicado en 1985, Univ. Microfilms Internat. nº 85-02967. Ann Arbor, 839 p.

HALLOY, S. 1985.

Climatología y edafología de alta montaña en relación con la composición y adaptación de las comunidades bióticas.

Thesis. Univ. Nac. de Tuc. Univ. Microfilms.Int. nº 85-02967. Ann Arbor.

HALLOY, S., 1989.

Altitudinal limits of life in subtropical mountains: what do we know?

Pacific Science, volume 43, nº 2. University of Hawaii Press.

- HALLOY, S. 1991.
Islands of life at 6000 m altitude: the environment at the highest autotrophic communities on Earth (Socompa Volcano, Andes).
Arctic and Alpine Research, volume 23, n°3: 247-262. Regents of the University of Colorado.
- HALLOY, S. & J.A. GONZÁLEZ, 1993.
An inverse relation between frost survival and atmospheric pressure.
Arctic and Alpine Research, volume 25, n° 2: 117-123. Regents of the University of Colorado.
- MON, R. Y HONGN, F., 1988.
Caracterización estructural de la Formación Puncoviscana dentro del basamento del norte Argentino.
Rev. Asoc. Geol. Argentina. Volumen 43, n° 1: 124-127. Bs. As.
- MON, R. Y URDANETA, A., 1972.
Introducción a la geología de Tucumán, República Argentina.
Rev. Asoc. Geol. Argentina. Tomo 27, n° 3: 309-329. Buenos Aires.
- RASSMUSS, J., 1918.
La Sierra de Aconquija.
1° reunión nac. Soc. Arg. de Cs. Nat. Physis: 47-69. Buenos Aires.
- RUIZ HUIDOBRO, O., 1972.
Descripción geológica de la hoja 11e Santa María.
Bol. n° 134. Serv. Nac. Minero. Subsecr. de Min. Bs. As.
- SAYAGO, J., 1983.
Geomorfología de la Sierra de Ancasti.
En: Geología de la Sierra de Ancasti. Münster. Forsch. Geol. Paläont. 59: 265-284.
- SEGEMAR, 1994.
Mapa geológico de la provincia de Tucumán. República Argentina. Esc. 1:500.000. Secr.de Min.
Dirección Nac. del Serv. Geol. González, O., Barber, E., Aceñolaza, F. Toselli, A. y Durand, F.
- SOSA GÓMEZ, J. & GÓMEZ OMIL, R., 1993 (a).
Structural analysis of the eastern border of Cordillera Oriental between 24°50' and 26°50' south latitude, Argentina.
Second ISAG, Oxford (UK). 1993: 247-250.
- SOSA GÓMEZ, J. Y GÓMEZ OMIL, R., 1993 (b).
Ejemplos de inversión tectónica en los Andes Centrales.
Actas 12 Congr. geol. arg. Volumen 3: 1-9.
- STELZNER, A., 1923.
Contribuciones a la geología de la República Argentina (traducción del alemán por G. Bodenbender).
Actas Acad. Nac. de Cs. Córdoba. Volumen 8: 1923-1924.
- SUAYTER, L., MOYANO PAZ, R. Y FARIAS E., 1987.
Las calizas cristalinas del Cerro Alto de la Mina, Cumbres Calchaquíes, Tucumán.
Actas X Congr. geol. arg. S.M. de Tucumán. Vol. 1: 57-59.



Identificación de posibles zonas aptas para la instalación de rellenos sanitarios, a partir de la elaboración de una carta temática

Bosch, Dante René

Resumen

El presente trabajo forma parte de un proyecto de investigación que fuera desarrollado en el Centro de Geociencias Aplicadas de la Universidad Nacional del Nordeste.

El objetivo del trabajo consiste en desarrollar una metodología para determinar zonas con diferentes grados de aptitud para localizar el emplazamiento de rellenos sanitarios, utilizando un Sistema de Información Geográfica y relevamientos de campo.

Con este objetivo se adoptó como área piloto la zona metropolitana del Gran Resistencia (provincia del Chaco) abarcando una superficie aproximada de 2.000 km², considerándose las condiciones medioambientales propias de esa región.

El estudio consta de dos grandes etapas, las cuales se encuentran definidas por la diferencia en la escala de trabajo y en los métodos empleados. En una primera etapa, se trabaja a escala regional, apropiada para abarcar la totalidad del área de estudio y considerar aquellas variables medioambientales factibles de ser analizadas mediante un Sistema de Información Geográfica. En la segunda etapa, se aumenta la escala de trabajo y se focaliza el estudio en zonas particulares, utilizando métodos más apropiados como la interpretación de fotografías aéreas y relevamientos de campo.

Como material no tradicional, se emplearon una secuencia de imágenes satelitarias Landsat TM (años 1986, 1994 y 1996) para realizar el seguimiento de la variación del uso del suelo; un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) tanto para actualizar la cartografía existente como para relevar información de campo y fotografías aéreas. Asimismo, dentro del material tradicional, se utilizó cartografía generada por el IGM (cartas topográficas en escala 1:250.000 y 1:100.000), la Dirección de Catastro de la Provincia del Chaco (mapas catastrales en escala 1:100.000 y 1:12.500) y el Centro de Geociencias Aplicadas de la U.N.N.E (cartas geomorfológicas escala 1:75.000).

La metodología empleada consistió en digitalizar, mediante la utilización de un CAD y en diferentes capas temáticas, los elementos medioambientales que intervienen en el análisis. Posteriormente, y con el objetivo de determinar sectores con diferentes grados de aptitud, se realizaron diversos análisis con cada una de las capas temáticas utilizando el Sistema de Información Geográfica IDRISI. Estos análisis se realizaron con herramientas de geoprocamiento provistas por el SIG, entre las cuales podemos mencionar: el procesamiento digital de imágenes satelitarias, análisis de distancias, combinación de layer y evaluación multicriterio. Finalmente se realizó una selección final en función a las normas legales vigentes y al estudio de las condiciones geotécnicas de los distintos sitios.

Los resultados obtenidos indican que la elaboración de mapas temáticos utilizando técnicas de geoprocamiento permite manejar un gran número de variables medioambientales, difíciles de ser tratadas en conjunto mediante técnicas convencionales y que son determinantes para la localización de rellenos sanitarios.

Entregado: 28 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 21 de Setiembre de 2001

Docente Investigador del Centro de Geociencias Aplicadas
Facultad de Ingeniería – U.N.N.E.

Av. Las Heras 727 – (3500) Resistencia – Chaco – Argentina

e-mail: dbosch@ing.unne.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

El destino final de los residuos sólidos urbanos constituye actualmente uno de los grandes problemas ambientales, no encontrándose hasta el presente una solución óptima. Toda propuesta debe considerar aspectos ambientales, técnicos y económicos de la región considerada. Sin embargo, en zonas donde existe gran disponibilidad de tierras, la tendencia mundial consiste en la instalación de rellenos sanitarios.

El *relleno sanitario* consiste en un método apropiado para la disposición final de los residuos sólidos, de forma tal que no causen grandes daños al medio ambiente y que no generen un peligro para la salud pública.

En un proceso de selección de terrenos aptos para la localización del un relleno sanitario deben considerarse las características naturales y el entorno productivo de los suelos, es decir todas las variables medioambientales intervinientes, con el objetivo de conseguir el máximo grado de protección a la salud pública y el medio ambiente.

El proceso de selección debe incluir varias fases, partiendo de un macroestudio a escala regional y aumentando sucesivamente la escala hasta finalizar con un análisis local de los sitios seleccionados. En cada una de estas fases las variables analizadas deben corresponderse con la escala de trabajo. De este modo, a escala regional son dominantes factores tales como la topografía, geología, geomorfología y los elementos antrópicos; y a escala local los inherentes al microemplazamiento de la instalación, como ser las características geotécnicas del subsuelo. Generalizando, puede decirse que el método de selección consiste en un estudio cada vez más intensivo sobre áreas progresivamente menores.

Dentro de este contexto, existen diversas propuestas en cuanto a la implementación del proceso de selección. *LaGrega (1996)* presenta cuatro métodos de selección los cuales son sintetizados a continuación:

- *Intuitivo*: se consideran todos los datos disponibles antes de juzgar si un terreno es adecuado.
- *Exclusión escalonada*: se considera cada uno de los factores de ubicación en forma secuencial, definiendo para cada uno de ellos un criterio (umbral de aceptabilidad) para descartar ciertas zonas de ulteriores consideraciones. Estos criterios pueden responder a restricciones de tipo medioambiental, técnico, social, económico o político para la ubicación de la instalación.
- *Graduación*: consiste en la ponderación de diferentes factores sobre una misma porción del terreno. La fase siguiente de graduación consistiría en asignar coeficientes de importancia relativa de cada factor con respecto a los restantes. Tras la asignación de coeficientes se deberían combinar las calificaciones de todos los factores para determinar la puntuación definitiva obtenida para cada porción del terreno. El lugar seleccionado sería el de mayor puntuación.
- *Combinación de criterios*: en este caso se puede recurrir a las técnicas de exclusión escalonada y de graduación. En vez de trabajar con una serie única de criterios o escalas de valores, se crean nuevas alternativas con la selección de combinaciones concretas de criterios y la identificación de terrenos que cumplan con los requisitos escogidos.

Según *LaGrega (1996)*, los criterios de localización pueden ser clasificados como obligatorios o discrecionales. Los criterios

obligatorios son los requisitos de tipo legal, las normas reguladoras o cualquier aspecto considerado de tal importancia que su incumplimiento tendría que quedar absolutamente descartado en cualquier circunstancia. Sin embargo, la mayoría de los criterios son discrecionales, es decir, representan aspectos aconsejables pero no obligatorios, reflejando preferencias concretas.

Por otro lado, el manejo y análisis de la información geográfica se han visto beneficiados con el surgimiento y perfeccionamiento de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales constituyen una poderosa herramienta para la manipulación de variables geográficas, y pueden ser utilizados para resolver complejos problemas de planificación y gestión. En consecuencia, el problema de la localización de áreas aptas para la instalación de rellenos sanitarios puede ser abordado, en una primera aproximación, utilizando esta moderna técnica de análisis espacial.

La mayoría de los Sistemas de Información Geográfica incluyen un conjunto de órdenes que permiten la implementación de métodos para la toma de decisiones, considerando en forma simultánea varios factores y criterios; uno de estos métodos recibe el nombre de "evaluación multicriterio". En este estudio, el objetivo de utilizar un SIG es el de implementar una metodología sistemática que permita determinar las zonas más adecuadas para la localización de un relleno sanitario, como depósito final de residuos sólidos urbanos.

Para esto deben considerarse: 1) los datos disponibles y la posibilidad de su ingreso al SIG, 2) un método que contemple la interrelación entre las variables geográficas y un relleno sanitario, y 3) la correcta interpretación y verificación de los resultados obtenidos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Para este trabajo se define como "Gran Resistencia" al conglomerado urbano comprendido por las localidades de Resistencia, Barranqueras, Fontana y Puerto Vilelas. El mismo se encuentra ubicado al sureste de la Provincia del Chaco (República Argentina), próximo a la margen derecha del río Paraná. Posee actualmente una población aproximada de 360.000 habitantes y una superficie de 340 km². La producción de residuos sólidos se estimó en 0,46 kg/hab/día, representando una producción diaria de 170 tn.

2.1. Delimitación del área de estudio

Con el objetivo de delimitar el área circundante al Gran Resistencia que será considerada en el estudio, se tomaron en cuenta los siguientes dos factores:

1. *Tamaño, forma y distribución de la zona urbana*: la zona urbana del Gran Resistencia posee una forma extendida a lo largo de un eje con dirección SE-NO. En consecuencia, se consideraron tres centros de producción localizados en los baricentros de las localidades de Resistencia, Fontana y Barranqueras - Puerto Vilelas.
2. *Distancia máxima de transporte*: según un criterio económico, la distancia máxima de transporte de los residuos desde el centro de producción hasta el destino final varía de 15 a 20 km. Para este trabajo se estableció como objetivo abarcar la mayor superficie posible para el análisis y no excluir anticipadamente potenciales áreas aptas, por tanto se adoptó una distancia de transporte de 20 km.

De acuerdo con los dos factores antes mencionados, se asumió como área de estudio un rectángulo delimitado, en coordenadas Gauss-Krügger, por los paralelos de 6.990.000 m al norte y 6.944.000 m al sur y los meridianos de 5.575.000 m al oeste y 5.620.000 m al este; abarcando una superficie de 2.070 km² (ver Fig. 1).

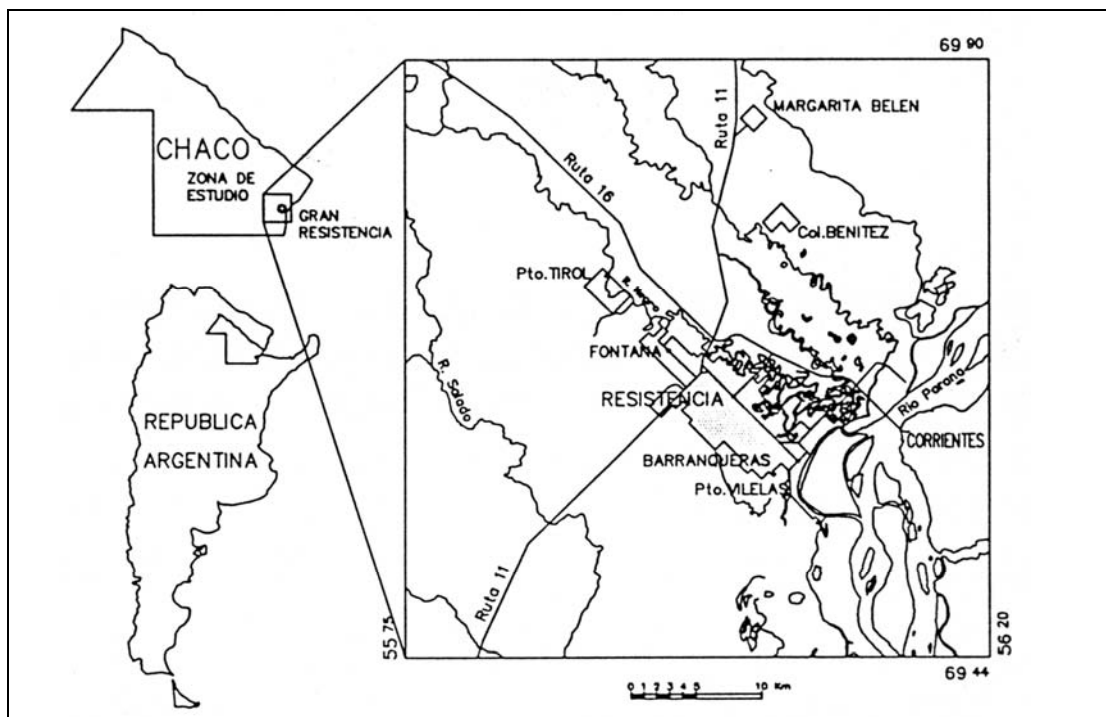
2.2. Geología

Geológicamente el área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca Chaco Paranense dentro de la región geológica denominada Llanura Chaco Pampeana. Su rasgo morfológico más característico es la ausencia casi total de relieve. Coincide con una parte poco móvil de la corteza, de tendencia negativa, donde en el pasado geológico se acumularon espesas series sedimentarias, marinas y continentales. Actualmente en ella se depositan sedimentos en cantidades variables, provenientes en su mayor

parte de la destrucción de las elevaciones montañosas situadas al Oeste, llevados a los lugares de depósitos por los ríos y los vientos. Podría considerarse como un amplio piedemonte o una gran llanura aluvial. El espesor de la sucesión sedimentaria no se manifiesta uniforme a través de toda el área. El basamento cristalino no aflora dentro de la Llanura Chaco Paranense, aunque sí lo hace en los cordones montañosos que la rodean. Según estudios realizados por Yacimientos Petrolíferos Fiscales en base a perforaciones, en el área del Gran Resistencia el basamento cristalino se encontraría a una profundidad entre 1000 y 2000 m. *Russo et al. (1979)*.

Las propiedades geotécnicas del subsuelo se presentan altamente heterogéneas, las cuales varían significativamente aún considerando puntos próximos sobre el terreno. También los perfiles son heterogéneos en profundidad, debido a la intercalación errática de estratos de arcillas, limos y arenas.

FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



2.3. Geomorfología

Según la clasificación geomorfológica propuesta por *Popolizio (1985)*, el área en estudio se encuentra dentro de la unidad denominada *Llanura Chaqueña*. La morfología generada en la región está constituida por gigantescos conos de deyección formados por desplazamientos y derrames de los actuales ríos Bermejo y Pilcomayo, los cuales se comportaron como macrotorrentes bajo condiciones paleoclimáticas más secas y frías que las actuales. El área se caracteriza por la presencia de antiguos cauces difluentes y en parte laberínticos, los cuales presentan una disposición en abanico que puede observarse claramente en los documentos cartográficos, *Popolizio (1985)*.

Los actuales cauces corren en valles limitados por paleoderrames laterales que se elevan sobre las planicies. De esta forma las divisorias de aguas se encuentran sobre dichos derrames y corren mas o menos paralelas a los cursos, terminando por

encerrar sectores de planicies que se convierten en cuencas cerradas sin escurrimiento franco o dificultosamente conectadas con el escurrimiento fluvial. Hacia el este las planicies embutidas se vuelven cada vez más dominantes en el paisaje y sustentan ambientes de cañadas y esteros de gran extensión. La cobertura vegetal está muy condicionada por la morfología existiendo bosques altos sobre los derrames y sabanas, pastizales y pajonales en las planicies embutidas. Como consecuencia de las bajísimas pendientes, la dificultad de integración y la eficiencia de las redes, durante los años de grandes precipitaciones las depresiones se inundan totalmente sobresaliendo únicamente los paleoderrames. (*Popolizio 1986*). Estos rasgos se distinguen claramente en las imágenes satelitarias y fotografías aéreas.

Como conclusión podemos decir que el medio natural en el cual se encuentra localizada el área de estudio se caracteriza por presentar gran complejidad, tanto en la morfología del relieve como en el funcionamiento del sistema.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

Como ya se dijo anteriormente, el trabajo fue dividido en dos grandes etapas, las cuales se encuentran definidas por la diferencia en la escala de trabajo y en los métodos de estudios empleados.

- En la *primera etapa o etapa eliminatoria* se trabaja a escala regional, adecuada para abarcar la totalidad del área de estudio, considerándose sólo aquellas variables medioambientales factibles de ser analizadas mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- En la *segunda etapa o etapa selectiva* se aumenta la escala de trabajo y se focaliza el estudio en zonas particulares, utilizando métodos más apropiados como la interpretación de fotografías aéreas y relevamientos de campo.

3.1. Primera etapa o etapa eliminatoria

La metodología empleada fue ajustada a las condiciones propias del estudio a partir de los métodos de selección de terrenos presentados por *LaGrega (1996)* y del procedimiento para realizar una evaluación multicriterio mediante un SIG propuesto por *Eastman et al. (1993)*. El SIG utilizado fue el IDRISI, esto debido a las potencialidades ofrecidas para aplicaciones medioambientales y a su compatibilidad con la mayoría de otros software de mercado. A continuación se describen las etapas seguidas en la metodología empleada.

Relevamiento de la documentación existente

En primer término se procedió a la búsqueda, ordenación y clasificación del material bibliográfico y cartográfico sobre el tema y la región en estudio. Como material no tradicional, se emplearon una secuencia de imágenes satelitarias Landsat TM (años 1986, 1994 y 1997) para realizar el seguimiento de la

variación del uso del suelo y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) tanto para actualizar la cartografía existente como para relevar información de campo. Asimismo, dentro del material tradicional, se utilizaron cartas generadas por el Instituto Geográfico Militar (cartas topográficas en escala 1:250.000 y 1:100.000), la Dirección de Catastro de la Provincia del Chaco (mapas catastrales en escala 1:100.000 y 1:12.500) y el Centro de Geociencias Aplicadas de la UNNE (cartas geomorfológicas en escala 1:75.000).

Definición de factores y criterios

Todo tipo de instalación conlleva un cierto grado de riesgo. Así los rellenos sanitarios pueden constituirse en fuentes de emisión de contaminantes líquidos y gaseosos, y en focos generadores de vectores. Por esta razón, los criterios de localización deberían minimizar los riesgos para la salud pública y el medio ambiente. Esto puede conseguirse mediante la fijación de distancias mínimas a ciertos elementos medioambientales susceptibles de ser afectados por un relleno sanitario. Sin embargo, este criterio confronta con la fijación de distancias máximas debido a los costos de transporte y construcción de caminos que sean permanentemente transitables.

Debido a la complejidad del medio natural en el que se encuentra emplazado el Gran Resistencia, los factores de localización considerados en esta primera etapa del estudio se limitaron a aquellos que podían ser analizados mediante una escala de trabajo regional. En la Tabla 1 se presentan los factores y criterios de localización en función de los objetivos perseguidos.

Los restantes elementos intervinientes, tales como la susceptibilidad a inundación, las propiedades geotécnicas del subsuelo y el agua subterránea entre otros, serán considerados en una segunda etapa empleando métodos más apropiados para una escala de trabajo local.

TABLA 1: FACTORES, CRITERIOS Y RESTRICCIONES PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

OBJETIVO	FACTOR DE LOCALIZACIÓN	CRITERIO DE LOCALIZACIÓN	RESTRICCIONES
Proteger la salud pública de la población	Distancia a la mancha urbana	Máxima distancia posible a la mancha urbana	Zonas con distancias menores a 2.000 m de la mancha urbana
Minimizar la construcción de caminos permanentemente transitables	Distancia a vías principales (asfaltadas)	Mínima distancia posible a vías principales	Zonas con distancias mayores a 2.000 m de vías principales
Minimizar los malos efectos de los olores y estéticos desde las vías de comunicación	Distancia a vías de comunicación	Máxima distancia posible a las vías de comunicación	Zonas con distancias menores a 200 m de vías las vías de comunicación
Preservar la calidad de los reservorios de agua superficial	Distancia a los cursos y espejos de agua permanentes	Máxima distancia posible a cursos y espejos de agua permanentes	Zonas con distancias menores a 500 m de cursos y espejos de agua permanentes
Minimizar los costos de transporte	Distancia a los centros de producción	Mínima distancia posible a los centros de producción	Zonas con distancias mayores a 20.000 m de los centros de producción

Digitalización de los elementos medioambientales intervinientes

En función a los factores de localización, fueron seleccionados los elementos medioambientales a ser considerados en el proceso de evaluación. Estos elementos son enumerados a continuación:

- *Mancha urbana*: actuales zonas urbanas de toda la zona en estudio, correspondientes a las localidades de Resistencia, Barranqueras, Puerto Vilelas, Fontana, Puerto Tirol, Margarita Belén y Colonia Benitez.
- *Hidrografía*: cursos y espejos de agua permanentes.
- *Vías principales*: rutas y caminos asfaltados.
- *Vías secundarias*: rutas y caminos principales no asfaltados.
- *Centros de producción*: baricentros de las localidades de Resistencia, Fontana y Barranqueras Puerto Vilelas.

Posteriormente, mediante la utilización de un CAD, se procedió a digitalizar en diferentes capas temáticas cada uno de los elementos medioambientales considerados. Este proceso se realizó básicamente a partir de la cartografía temática existente, que fue completada y corregida mediante el apoyo de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), imágenes satelitarias Landsat TM (años 1986, 1994 y 1997) y relevamientos de campo.

Codificación de los factores

Para codificar los factores de localización, se realizó un análisis de distancia sobre cada capa temática conteniendo los elementos medioambientales digitalizados. De esta forma, fueron generados *mapas de proximidad*, en los cuales el valor de cada píxel representa la mínima distancia que existe entre ese punto y el elemento considerado. Para este procedimiento, se empleó el comando DISTANCE de IDRISI, el cual utiliza la función de distancia euclidiana para realizar los cálculos.

Estandarización de los factores

En toda evaluación multicriterio realizada mediante un SIG, los factores seleccionados deben ser expresados en una misma escala cuantitativa, por ejemplo que oscile entre 0 y 255. Los valores extremos de 0 y 255 indican respectivamente, la mínima y máxima adecuación de un terreno para recibir un relleno sanitario, según el factor que está siendo analizado. Con el fin de estandarizar todos los factores que forman parte del

análisis, a una misma escala que oscile entre 0 y 255, se procedió a utilizar la orden STRETCH de IDRISI. Esta orden actúa sobre el mapa raster que contiene una escala arbitraria de valores y genera un nuevo mapa con un rango de variación entre 0 y 255.

Codificación de los criterios

Cuando el criterio de localización corresponde a "máxima distancia posible", la codificación del criterio coincide con la del factor. Sin embargo, cuando el criterio de localización corresponde a "mínima distancia posible" deben invertirse los valores. Esto se consigue mediante la utilización de las ordenes INITIAL y OVERLAY de IDRISI. Con INITIAL se crea una imagen vacía conteniendo valores constantes iguales a 255, a la cual se le sustrae mediante la orden OVERLAY la imagen conteniendo la codificación del factor de localización correspondiente.

De esta forma cada criterio queda codificado mediante un layer, adoptando valores extremos de 0 y 255 en los puntos de mínima y máxima adecuación para recibir el relleno sanitario.

Definición y codificación de las restricciones

Además de los factores y criterios de localización es necesario definir las restricciones, que son los criterios que indican donde no puede localizarse el relleno sanitario. En la cuarta columna de la Tabla 1 se enumeran cuales fueron las restricciones definidas para este estudio.

Con este objetivo se realizó la reclasificación de los mapas de proximidad, asignándose nuevos valores de 0 a las zonas que deberán ser excluidas de posteriores análisis.

Ponderación de los criterios

No todos los criterios ejercen la misma influencia sobre el objetivo buscado. Para definir el peso de cada uno de ellos, se ha utilizado el procedimiento denominado *comparación entre pares de factores (criterios)*. En la Tabla 2 se presenta la matriz de comparación utilizada para el análisis, en la cual se comparan dos a dos los criterios y se asigna un valor que varía entre 9 y 1/9 según la importancia relativa del criterio de la fila con respecto al criterio de la columna. El valor 9 se asigna cuando el criterio de la fila es absolutamente más importante que el criterio de la columna y 1/9 cuando el criterio de la fila es absolutamente menos importante que el criterio de la columna. A partir de esta matriz la orden WEIGHT de IDRISI calcula los pesos para cada criterio y el índice de consistencia de la matriz, Tabla 3.

TABLA 2: MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE PARES DE CRITERIOS

CRITERIOS DE LOCALIZACION	Máxima distancia a la mancha urbana	Mínima distancia a centros de producción	Máxima distancia a cursos y espejos de aguas	Mínima distancia a vías principales	Máxima distancia a vías de comunicación
Máxima distancia a la mancha urbana	1				
Mínima distancia a centros de producción	1/2	1			
Máxima distancia a cursos y espejos de aguas	2	4	1		
Mínima distancia a vías principales	5	7	3	1	
Máxima distancia a vías de comunicación	1/7	1/7	1/9	1/9	1

Cabe señalar que la confección de la matriz de comparación, y en consecuencia la ponderación de los criterios, es una tarea que presenta cierto grado de subjetividad por parte del evaluador; sin embargo este efecto puede minimizarse realizando una interpretación adecuada de los resultados obtenidos.

TABLA 3: RESULTADO DE LA PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LOCALIZACIÓN

CRITERIO DE LOCALIZACIÓN	PESO
Máxima distancia a la mancha urbana	0,13
Mínima distancia a vías principales	0,09
Máxima distancia a vías de comunicación	0,24
Máxima distancia a cursos y espejos de aguas	0,51
Mínima distancia a centros de producción	0,03
Índice de consistencia = 0,08 (Buena consistencia)	

Evaluación multicriterio

Luego de establecidos los criterios, sus pesos y las restricciones, se procedió a realizar una evaluación multicriterio utilizando la orden MCE de IDRISI. El resultado obtenido consiste en un nuevo mapa en donde aparecen zonas con valores de 0

indicando que fueron excluidas por las restricciones, y de 1 a 255 indicando los distintos grados de adecuación. Como el rango de valores entre 1 y 255 es demasiado amplio para realizar una evaluación, se procedió a reclasificar la imagen en forma automática en solo cinco niveles de adecuación, mediante la orden RECLASS de IDRISI (ver Fig. 2).

Discusión de los resultados obtenidos en la etapa eliminatória

En la Fig. 2 se presenta el mapa temático obtenido como resultado final de la metodología empleada en la etapa eliminatória. En el mismo se observan los distintos sectores con sus correspondientes niveles de adecuación para recibir la instalación de un relleno sanitario. Existe una predominancia de áreas clasificadas como no aptas, que responde principalmente a la restricción de que exista una distancia máxima de 2.000 m a las vías principales. Esta restricción también condiciona la distribución general de los sectores aptos (en distintos grados) los cuales se agrupan mayormente próximos a las dos vías principales más importantes, que son las rutas nacionales N° 11 y 16.

En la tabla Tabla 4 se observan los valores de superficies correspondientes a cada sector con distintos grados de adecuación, calculados en función al histograma que resulta de la imagen de la Fig. 2. Se observa que, descartando las áreas no aptas, existe una predominancia de superficie clasificada como de muy buena adecuación.

TABLA 4: SUPERFICIES DE LOS SECTORES CON DISTINTOS GRADOS DE ADECUACIÓN

CLASE	GRADO DE ADECUACIÓN	SUPERFICIE (Km ²)	PORCENTAJE (%)
0	No adecuado	1938,2	93,63
1	Malo	10,2	0,50
2	Regular	3,2	0,15
3	Bueno	25,3	1,22
4	Muy Bueno	93,1	4,50
TOTAL		2070,0	100,00

3.2. Segunda etapa o etapa selectiva

Esta etapa consiste en analizar los sectores resultantes de la etapa anterior, seleccionando aquellas que cumplan con los criterios de localización que no pudieron ser incluidos anteriormente debido al método y escala de trabajo empleados. Para que estos nuevos criterios puedan ser aplicados, los distintos sectores deben ser analizados en forma más detallada, requiriéndose para esto aumentar la escala de trabajo y emplear métodos de estudio más apropiados.

Se siguió en forma general el *método de exclusión escalonada* presentado por *LaGrega (1996)*, el cual implica aplicar cada uno de los nuevos criterios de localización en forma secuencial e ir descartando determinados sectores de ulteriores análisis. Dichos criterios pueden ser de tipo medioambiental, técnico, legal, social, económico o político, entre otros.

El método propuesto se inicia seleccionando uno de los nuevos criterios y con él analizar todos los sectores de mayor grado de adecuación (grado de adecuación muy bueno), resultando generalmente en un grupo de ellos menos numeroso. A continuación, se procede a aplicar un nuevo criterio obteniéndose como resultado un segundo grupo; progresando de esta forma con la secuencia total de criterios de localización. Finalmente,

se concluirá con la posible identificación de uno o varios sectores aptos. El proceso puede detenerse antes de la aplicación de la totalidad de los criterios, debido a que en un momento dado, se haya conseguido identificar una ubicación apropiada.

Si mediante la aplicación de los criterios de localización sobre los sectores de mayor grado de adecuación no se consiguiera identificar ninguno apto, se deberá repetir el método propuesto considerando los sectores con un grado de adecuación menor (por ejemplo: grado de adecuación bueno).

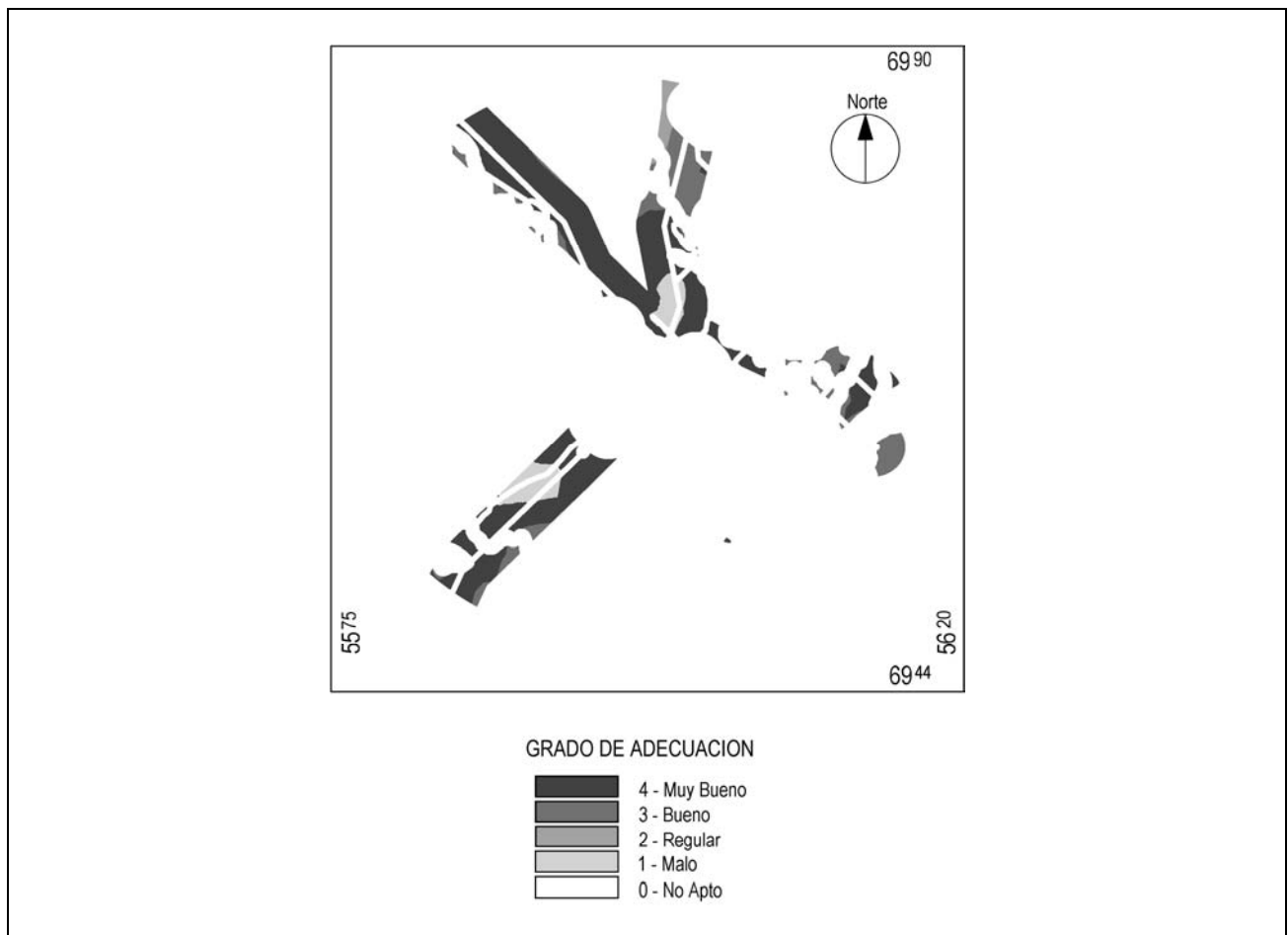
Definición de los factores y criterios

Al ser ésta una metodología que considera los criterios en forma unitaria y secuencial, primeramente debe establecerse el orden en que ellos deben ser aplicados. Para esto, debe tenerse en cuenta la complejidad técnica y los recursos económicos que demandan su aplicación. Con este sentido se presentan a continuación los criterios aplicados en esta etapa del estudio.

El efecto de las inundaciones

Uno de los principales problemas que existen en la selección de terrenos dentro del área que se está estudiando, consiste en el efecto que las inundaciones tienen sobre la misma.

FIGURA 2: MAPA TEMÁTICO RESULTADO DE LA ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO CON LOS DIFERENTES SECTORES Y SUS CORRESPONDIENTES GRADOS DE ADECUACIÓN (Sistema de coordenadas Gauss Krügger)



Cualquier sitio escogido deberá asegurar que bajo ninguna circunstancia las crecidas de los ríos puedan afectar las instalaciones. Esto puede lograrse escogiendo un terreno con cota mayor a la alcanzada por una determinada crecida o uno que se encuentre protegido mediante obras de defensa. La dificultad que presenta el primer caso es que demandaría un estudio hidrológico y topográfico bastante complejo, por lo que se estima más conveniente comenzar evaluando aquellos sectores que estén ubicados dentro del futuro recinto que protegerá al Gran Resistencia de las inundaciones.

Luego de realizada esta evaluación, se observó que dentro del recinto de defensas existen ocho sectores que fueron clasificados como de muy buena adecuación, los cuales serán los únicos considerados en las etapas siguientes, descartándose los restantes.

· Superficie y forma de los sectores

La superficie necesaria para la instalación de un relleno sanitario está en función de: la producción unitaria de residuos sólidos, la tasa de crecimiento de la población, el tiempo de utilización del relleno y de la solución técnica adoptada. Además de la superficie, es importante considerar la forma de los terrenos, que debe ser compatible con las normas de funcionamiento y operación del futuro relleno.

En este estudio consideraremos que el relleno sanitario será utilizado por un período de 10 años, en el cual la población del Gran Resistencia alcanzará los 461.600 habitantes. Otro

elemento a tener en cuenta es que la producción unitaria de residuos se mantuvo constante en 0,46 kg/hab/día durante los últimos quince años anteriores a este estudio, por lo que se adoptó ese valor para calcular la producción total durante el período de funcionamiento del relleno. Respecto a la solución técnica, interesa la densidad que alcanzarán los residuos al compactarse y la altura de relleno, adoptándose para estos parámetros valores conservadores de 780 kg/m³ y 3,00 m respectivamente.

Del cálculo resulta que es necesaria una superficie neta de 32,50 ha, no obstante, las tareas de funcionamiento demandan una superficie adicional debido a la necesidad de contar con espacios para elementos tales como caminos internos, casilla de control, estacionamiento de equipos, lagunas de estabilización y arborización perimetrales, entre otros. Esta superficie adicional varía según el diseño funcional del relleno sanitario, sin embargo, puede estimarse en forma aproximada como siendo un 40 % de la neta calculada, o sea 13,00 ha. En consecuencia, la superficie total necesaria sería de 45,50 ha y con una forma adecuada para el objetivo seguido.

De los ocho sectores seleccionados anteriormente, seis de ellos son los que cumplen con el criterio de superficie y forma.

· Aspectos legales

Otro de los criterios que debe ser considerado es el basado en los aspectos legales, que para el caso del área Metropolitana del Gran Resistencia se encuentran incorporados en el "Código de Planeamiento Urbano del Gran Resistencia". Uno

de los objetivos del citado código es el de "prohibir usos y edificios que sean incompatibles con el carácter de los permitidos en cada distrito".

Luego de analizarse los usos permitidos por el código en cada uno de los seis sectores resultantes en la etapa anterior, se concluye que solo uno de ellos se ajustaría a la instalación de un relleno sanitario. El mismo se encuentra localizado al suroeste del Gran Resistencia próximo a la ruta nacional N° 11 (ver localización en la Fig. 3).

Según el código, este sector corresponde al distrito "Z.R.2. Zona Rural 2" señalando que: "la zona queda restringida a la ocupación con usos urbanos en razón de encontrarse bajo el cono de sobrevuelo que determina la presencia del Aeropuerto Internacional Resistencia".

La superficie utilizable, previendo una distancia mínima de 200 m con respecto a la traza de la futura defensa, es de 61,00 ha con una forma aproximadamente rectangular, lo que satisficiera ampliamente el criterio de superficie y forma.

· Condiciones geotécnicas

Según criterios de ingeniería, avalados por varios autores (e.g. *LaGrega 1996, Weiss 1974*), para la instalación de un relleno sanitario es esencial conocer las características del subsuelo realizando una descripción cualitativa y cuantitativa de sus propiedades. Del análisis de los resultados obtenidos en los estudios geotécnicos, se concluirá si el terreno analizado es adecuado para localizar la actividad y también cuáles deben ser las soluciones tecnológicas a emplearse.

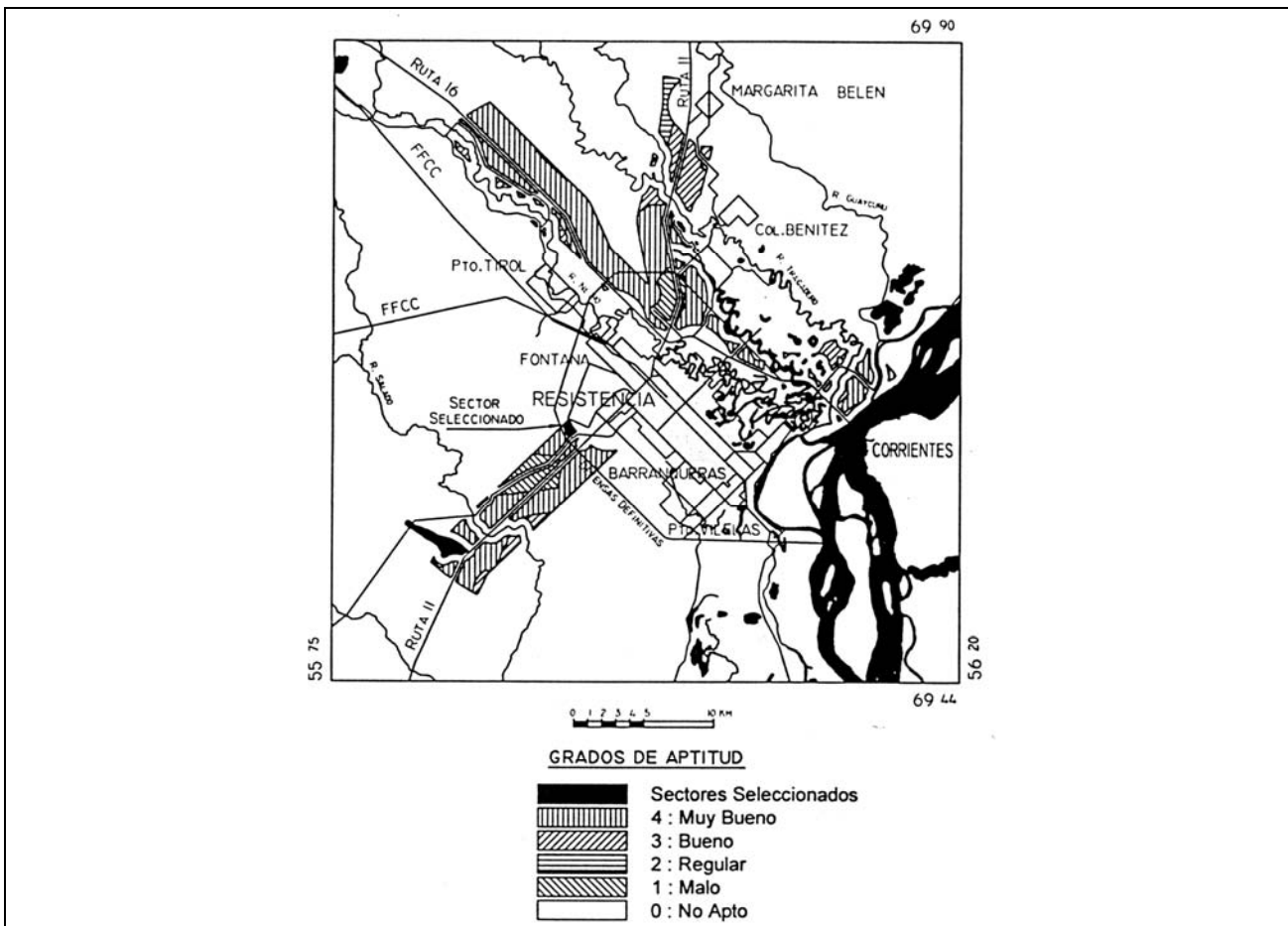
Debido a limitaciones propias de este trabajo, no se realizó un estudio geotécnico de detalle. Sin embargo, a efectos de obtener un conocimiento general del tipo de suelos existentes en la zona seleccionada y validar la metodología propuesta, se realizó un sondeo con barreno manual. A partir de dicho sondeo, se realizó la caracterización del perfil de suelo mediante su descripción macroscópica en campo y la posterior ejecución de ensayos de identificación en laboratorio.

Cabe aclarar que debido a la gran extensión del sector en estudio, esta descripción debe considerarse como indicativa, ya que para una más precisa, deberían realizarse sondeos complementarios.

El perfil de suelo encontrado se caracteriza por presentar un estrato superficial, hasta los 1,50 m de profundidad, de arcillas de media a baja plasticidad (CL); seguidas por arcillas de alta plasticidad (CH) hasta la profundidad de 4,00 m. De acuerdo con los ensayos de lavado sobre tamiz N° 200, todas las muestras del perfil presentan gran contenido de finos, más del 85 %. El nivel de la napa freática se encontraba estabilizado luego de 24 horas a 3,00 m de profundidad.

Uno de los ensayos esenciales que no pudo ser realizado debido a las limitaciones económicas del presente estudio es el de permeabilidad in-situ. Entretanto, analizando el conjunto de resultados obtenidos y según una tabla presentada por *Terzaghi y Peck (1955)* y datos históricos presentados por *Lambe y Whitman (1969)*, puede inferirse que a partir de los 1,50 m de profundidad existen suelos de muy baja permeabilidad, probablemente con un coeficiente "k" menor a 1×10^{-7} cm/seg.

FIGURA 3: LOCALIZACIÓN DEL SECTOR CON MUY BUENA ADECUACIÓN Y QUE SE AJUSTA A TODOS LOS CRITERIOS DEFINIDOS EN LA ETAPA SELECTIVA



En cuanto a la utilización de estos suelos como material para la ejecución de barreras impermeables a través de su compactación, puede decirse que presentan buenas aptitudes, ya que según *Sharma y Lewis (1994)* los suelos que clasifican como CH cuando son compactados a la máxima densidad según el ensayo de Proctor modificado alcanzan valores típicos de "k" de hasta 5×10^{-8} cm/seg, que resulta mayor al máximo recomendado por el mismo autor de 1×10^{-7} cm/seg.

Discusión de los resultados obtenidos en la etapa selectiva

A través de la exclusión escalonada aplicando distintos criterios, fueron seleccionándose grupo de sectores cada vez menos numerosos. Luego de considerarse la totalidad de los criterios, se obtuvo un único sector que se adecuaba a todos ellos.

Entre las principales características de este sector, pueden citarse:

- el cumplimiento de todos los criterios de localización considerados en esta y la anterior etapa.
- su fácil accesibilidad a través de la ruta N° 11 y la antigua ruta N° 11 (que se encuentra enripiada), posibilitando el acceso en épocas de lluvias.
- su ubicación suroeste con respecto a la mancha urbana, lo que no afecta la incidencia de los vientos predominantes sobre la población.
- la posibilidad de potenciar la utilización de un área que posee serias restricciones al uso urbano debido a su proximidad con el Aeropuerto Internacional Resistencia.
- las favorables condiciones geotécnicas que aseguran un suelo de fundación de muy baja permeabilidad y material apto para ser utilizado en barreras impermeables, tanto inferiores como superiores.

Comentarios finales

Aunque los criterios aquí presentados son importantes, y aún imprescindibles para la selección de un área para la localización de un relleno sanitario, existen otros factores que tienen influencia sobre la efectiva utilización y pueden inclusive eliminar áreas seleccionadas por tales criterios. Estos factores son de orden político, económico y sociales. En lo económico puede citarse, entre otros, el costo de expropiación de los terrenos seleccionados. El aspecto político tiene una importancia relevante en lo que se refiere a las influencias externas que se ejercen al momento de la toma de decisiones para solucionar el problema de la disposición final de los residuos sólidos urbanos. Como factor social se encuentra la resistencia de los vecinos y asociaciones ambientalistas a la implantación de este tipo de instalaciones.

5. CONCLUSIONES

Etapa eliminatoria

- En este trabajo se presenta una metodología de geoprosamiento que se considera adecuada para generar una zonificación con el objetivo de localización posibles zonas aptas para el emplazamiento de rellenos sanitarios, analizando el caso especial del Gran Resistencia.

- Los resultados preliminares indican que existen en la zona de estudio cuatro grandes áreas, que a priori se presentan aptas para el emplazamiento de rellenos sanitarios. Estas grandes áreas se encuentran próximas a las rutas Nacional N° 11 y 16, estando cada una de ellas dividida en pequeñas sub-zonas con diferentes características (superficie, forma, grado de aptitud, etc.).
- La metodología empleada indica que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten ponderar y relacionar una serie de variables medioambientales que son determinantes para la localización de un relleno sanitario y que serían difíciles de manejar mediante otras técnicas.
- Finalmente, las variables seleccionadas permitieron una primera delimitación de zonas. Estudios posteriores deberían estudiar la posibilidad de incluir otras variables para permitir ajustar la metodología presentada.

Etapa selectiva

- Los criterios que no pueden ser incluidos en la etapa eliminatoria, debido a la escala de trabajo regional utilizada, deben ser considerados posteriormente utilizando una escala de trabajo local analizando cada sector en particular. Estos criterios pueden ser de tipo medioambiental, técnico, legal, social, económico o político, entre otros.
- En esta etapa se utilizó con buenos resultados un método basado en el de exclusión escalonada (*LaGrega, 1996*), en el cual los criterios son aplicados en forma unitaria y secuencial.
- Para la aplicación de los criterios se sugiere comenzar con aquellos que menores recursos técnicos y económicos demanden; obteniéndose así una rápida eliminación de sectores y permitiendo reservar los estudios más complejos para un pequeño número de ellos.

Generales

- En este trabajo se propone una metodología que se considera adecuada para identificar posibles zonas aptas para la instalación de rellenos sanitarios a partir de la elaboración de una carta temática, estudiando el caso particular del Gran Resistencia.
- La metodología propuesta se subdivide en una etapa eliminatoria y una selectiva, las que se diferencian por la escala de trabajo y métodos utilizados.
- El resultado obtenido para el caso particular del Gran Resistencia indica que existe sólo un sector que cumple con todos los criterios de localización considerados.
- Aunque los criterios aquí presentados son importantes, y aún imprescindibles, en la selección de un área para la localización de un relleno sanitario existen otros factores que influyen la efectiva utilización de aquella y pueden inclusive, eliminar áreas seleccionadas por tales criterios. Estos factores son de orden político, económico y sociales.
- Finalmente, se estima que el método propuesto puede ser utilizado con buenos resultados en otras zonas con características similares a la del Gran Resistencia.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- EASTMAN, J.R., ET AL. 1993.
GIS and Decision Making. Explorations.
Geographic Information Systems Technology, Vol. 4, Ginebra, UNITAR European Office, 112p.
- LAGREGA, M.D., 1996.
Gestión de residuos tóxicos - Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos.
Ed. McGraw Hill, 1316p.
- LAMBE W. Y WHITMAN R., 1969.
Soil Mechanics, SI Version.
John Wiley & Sons, Inc. 1979, 553p.
- POPOLIZIO, E., 1985.
Criterios para la concepción de obras de infraestructura en áreas afectadas por crecientes e inundaciones, *Geociencias XIII, n.13, pp.3-18. Centro de Geociencias Aplicadas, UNNE.*
- POPOLIZIO, E., 1986.
Influencia del sistema geomorfológico en las crecientes e inundaciones del Nordeste Argentino ,
Geociencias XIV, n.14, pp.3-33. Centro de Geociencias Aplicadas, UNNE.
- RUSSO, A., FERELLO, R. Y CHEBLI, G., 1979.
Llanura Chaco Pampeana.
Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Córdoba, Academia Nacional de Ciencias, pp.139-183.
- SHARMA, H.D. Y LEWIS, S.P., 1994.
Waste containment systems, waste stabilization, and landfills: design and evaluation.
Ed. John Wiley & Sons, Inc. 588p.
- TERZAGHI Y PECK, 1955.
Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica,
Ed. El Ateneo.
- WEISS SAMUEL, 1974.
Sanitary Landfill Technology,
Ed. Noyes Data Corporation, Estados Unidos.



Emergencias geomorfológico-paleoambientales de los depósitos cuaternarios en la llanura fluvial costera del torrente Polcevera Liguria, norte de Italia*

Brandolini, Pierluigi ¹ - Calderoni, Gilberto ² - Guido, Maria Angela ³ - Montanari, Carlo ³ - Nicchia, Paolo ¹
Ramella, Agostino ⁴ - Terranova, Remo ³

Resumen

Se presenta un cuadro de la evolución geomorfológica y paleoambiental de la llanura fluvial costera del Val Polcevera, comprendida en la porción occidental de la zona municipal de Génova. El estudio se ha llevado a cabo mediante levantamientos geológicos y geomorfológicos, integrados con fotointerpretación, que han permitido localizar los depósitos marinos y fluviales, las superficies de nivelación en las vertientes, las facetas triangulares-trapezoidales del valle y otras evidencias geomorfológicas menores.

Se han estudiado las litoestratigrafías reconstruidas mediante el análisis de 162 sondeos con perforación continua efectuados a lo largo de varios años en la llanura aluvial de cara a asentamientos urbanos, áreas industriales, grandes obras, recuperación de zonas y áreas portuarias en la desembocadura.

En las muestras más significativas de tales sondeos se han efectuado análisis polínicos de laboratorio y se han llevado a cabo dataciones absolutas C14.

La reconstrucción del substrato debajo de los detritos aluviales ha permitido reconocer un importante proceso erosivo precedente a la fase de sedimentación holocena y de una fase de basculamiento reciente de la cuenca. La vegetación, a partir de casi 8500 años A.C., se presenta dominada por bosques de abeto blanco y latifoliadas termófilas caducas; en una época lejana el abeto desaparece y las latifoliadas caducas son sustituidas en parte por las esclerófilas perennifolias.

* Estudio realizado en el Proyecto nacional "La valorizzazione turistica dello spazio fisico come via alla salvaguardia ambientale", cofinanciado de Universidad de Génova y de Ministerio de la Universidad y Investigación científica (Coordinator nacional prof. Remo Terranova).

Entregado: 06 de Marzo de 2002 ■ Aceptado: 18 de Abril de 2002

1 DISAM, Sección histórico-geográfica, Universidad de los Estudios de Génova, e-mail brando@unige.it

2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad "La Sapienza" de Rome

3 DIP.TE.RIS, Departamento para el Estudio del Territorio y de sus Recursos, Universidad de los Estudios de Génova

4 Provincia de Génova

1. INTRODUCCIÓN

El torrente Polcevera es uno de los principales cursos de agua de Liguria (norte de Italia), y nace a la altura de la circunscripción de Pontedecimo, en la zona occidental del territorio municipal de Génova, por la confluencia de los torrentes Verde y Riccò. Un poco más abajo, en proximidades de la población de Bolzaneto el torrente recibe las aguas del torrente Secca y tras un recorrido de 9,5 km casi rectilíneos desemboca en el Mar de Liguria.

Toda la cuenca de captación se abre en abanico en un área de 137,8 km², su retículo hidrográfico es de tipo pinnado con un eje principal en dirección N-S, en el cual convergen

radialmente una serie de afluentes; las crestas divisorias que delimitan la cuenca en la parte septentrional alcanzan cotas incluso superiores a los 1000 m (monte Lecco y monte Taccone, 1065 m y 1113 m respectivamente) determinando una notable escarpadura de los arrollos en tal sector.

En el tramo terminal de la Val Polcevera el torrente discurre en el centro de una llanura aluvial que se asoma al Mar de Liguria, entre las poblaciones de Sampierdarena y Cornigliano, con una amplitud de 3,5 km y que se restringe notablemente en el vecino inferior con un ancho entre 0,8 y 1 km hasta extinguirse a 10 km de la desembocadura.

La presencia de precipitaciones muy intensas en el período otoñal provoca crecidas aluviales notables del curso de agua, que en el tramo terminal llega a tener un caudal de hasta 1.700 m³/seg.

2. ENCUADRAMIENTO GEOLÓGICO

El potente depósito aluvial del torrente Polcevera está constituido por sedimentos mixtos fluvio-marinos, formados por limos, arenas, gravas y cantos rodados transportados por las aguas de los torrentes, compuestos por múltiples tipos de rocas, sedimentarias, eruptivas y metamórficas, que constituyen las formaciones geológicas que afloran en la cuenca de recepción del valle (*Servizio Geologico Italiano*, 1969; *Marini*, 1989 y 1998; *Comune di Genova*, 1996; *Brandolini, Canepa, Fedolino, Nicchia, Ramella y Terranova*, 2000).

Las condiciones geológicas y la ordenación correspondientes son diferentes entre la vertiente izquierda y la derecha (Fig. 1).

En la vertiente izquierda afloran las formaciones sedimentarias del Apenino septentrional, de tipo *pre-flysch* y *flysch*, del período cretáceo-paleoceno, que comprenden; a) calizas margosas, areniscas y esquistos arcillosos; b) esquistos policromos; c) esquistos arcillosos manganesíferos; d) esquistos margosos y areniscas fines.

En la vertiente derecha las condiciones geológicas son mucho más complejas por la presencia de diversas unidades geológicas, de la edad triásico-cretácea, constituidas por las siguientes formaciones: a) calizas cristalinas micáceas; b) jaspes rojos y verdes; c) esquistos arcillosos y arenáceos; d) esquistos arcillosos; e) calizas con sílex; f) calizas coquinoideas; g) dolomitas y calizas dolomíticas. Asimismo están presentes formaciones de origen metamórfico y magmático como: a) esquistos calcáreos y esquistos micacalcáreos; b) esquistos arcillosos metamórficos; c) ofiocalcitas; d) metabasitas; e) metagabbros; f) serpentinitas.

3. CARACTERES GEOMORFOLÓGICOS

La morfología y la dinámica del eje del torrente se han ido modificando profundamente durante los últimos 150 años, debido a intervenciones antropogénicas (urbanas, industriales y viales) que han circunscrito todo el eje terminal dentro de una sección rectangular, disminuyendo en más del 50% el ancho de la sección hidráulica, reducida hoy a 87 m en la desembocadura (*Brandolini, Ramella y Terranova*, 1994 y 1996).

El análisis de las estratigrafías de los numerosos sondeos, efectuados en la llanura aluvial a lo largo de varias épocas, ha permitido una reconstrucción preliminar de la morfología del substrato, representada en la fig. 2 por las isólinas de profundidad, que evidencia un profundo corte en forma de "V" en el sector de la desembocadura, donde los depósitos aluviales superan los 40 m de espesor.

Tal corte en el substrato se ha identificado también en la zona marítima, como resulta de los perfiles sísmicos efectuados a lo largo de la costa del Mar de Liguria (*Fanucci, Firpo, Piccaz y Ramella*, 1988).

Este corte prosigue hacia el monte hasta tal punto que en Bolzaneto, a 8 km de la desembocadura, algunos sondeos hechos hasta 27 m de profundidad en los aluviones no han encontrado el substrato rocoso.

Rastros morfoestructónicos están representados por superficies de nivelación en roca, presentes tanto a lo largo de la franja costera como en el interior del valle: las primeras están orientadas N-S y se pueden atribuir a superficies de abrasión marina, mientras las segundas, orientadas E-O, se refieren a superficies de erosión con baja energía del relieve, carentes de depósitos y suspendidas en modo diverso en los actuales lechos mayores. Estos constituyen a menudo el vértice de facetas triangulares, con base ubicada a la cota de los aluviones del lecho mayor.

El conjunto de las superficies de nivelación y de las facetas demuestra la erosión y la profundización del torrente, debidos al rápido rejuvenecimiento del paisaje que tuvo lugar en época plio-cuaternaria y permite localizar los restos del antiguo valle.

La erosión regresiva resulta en subida hacia las superficies niveladas, a cotas comprendidas entre 150 y 300 m sobre el nivel del mar y ha alcanzado las rocas sedimentarias más resistentes por encima de los esquistos.

Los detritos aluviales están formados sobre todo por gravas gruesas de matriz arenoso-arcilloso, alternadas con raras zonas limoso-arcillosas que aumentan a medida que se procede hacia la desembocadura del torrente Polcevera en estrecha relación con la ampliación de la llanura aluvial. Los intervalos de material fino no se pueden relacionar entre sí habiéndose depositado en limitadas áreas de sedimentación y fluvial o fluvial-marina con menor energía (zonas de meandro o de laguna). En algunos horizontes arcilloso-limosos se han conservado restos vegetales en los cuales se han podido efectuar algunas dataciones absolutas al radiocarbonio.

Las dataciones efectuadas en dos sondeos en la zona de Campi (sondeos S2 y S3), a unos 1,3 km de la desembocadura, a diversas profundidades, permiten establecer que los depósitos de material aluvial con un espesor de casi 13 m se han producido a lo largo de 1745 ± 60 años, índice de un proceso de fuerte sedimentación en un sector de valle muy profundo (Figs. 2, 3 y 4).

4. ANÁLISIS POLÍNICOS, CRONOLOGÍA Y CONSIDERACIONES PALEOAMBIENTALES

Los análisis polínicos se han hecho con materiales de granulometría muy fina (arcillas) recogidos durante los sondeos profundos ejecutados en el marco de los trabajos para los nuevos asentamientos en áreas ex-industriales en el tramo final del torrente Polcevera. Para la extracción y concentración del polen se han empleado los tratamientos comunmente utilizados (HCl, NaOH, HF, acetólisis). La suma polínica de los espectros en porcentaje se basa en el polen de los taxones de ambiente seco (TLP = Total Land Plants), excluyendo las esporas de los helechos por su abundancia. La concentración polínica (FPA = Frecuencia Polínica Absoluta) se expresa como número de polen por gramo de sedimento seco.

Los sedimentos del Val Polcevera (áreas de Campi y Fiumara) resultan en su mayoría muy pobres en contenido polínico, así como algunos depósitos de análoga cuerda, muestras de los cuales se han recogido en el área de desembocadura del

FIGURA 1: ESQUEMA GEOLÓGICO

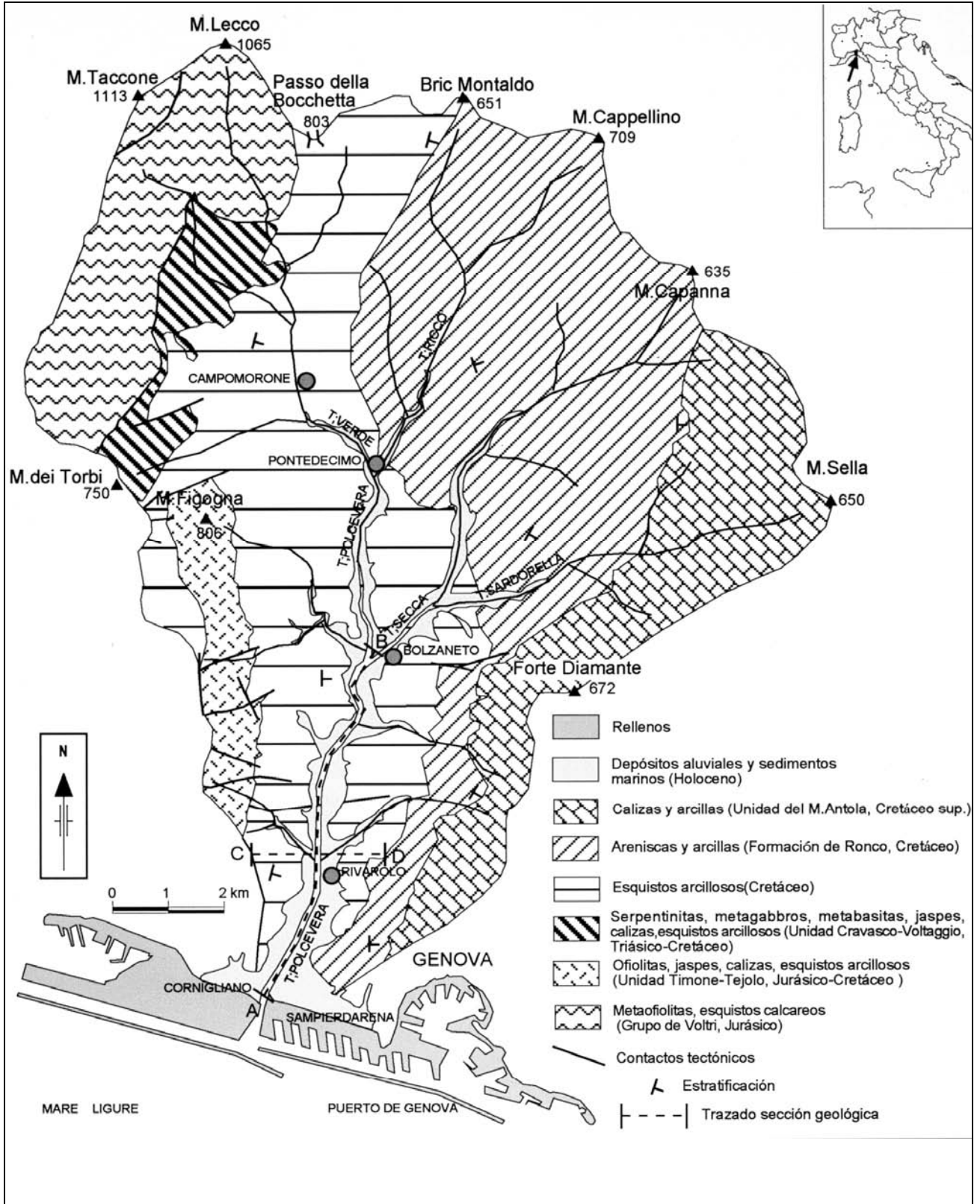
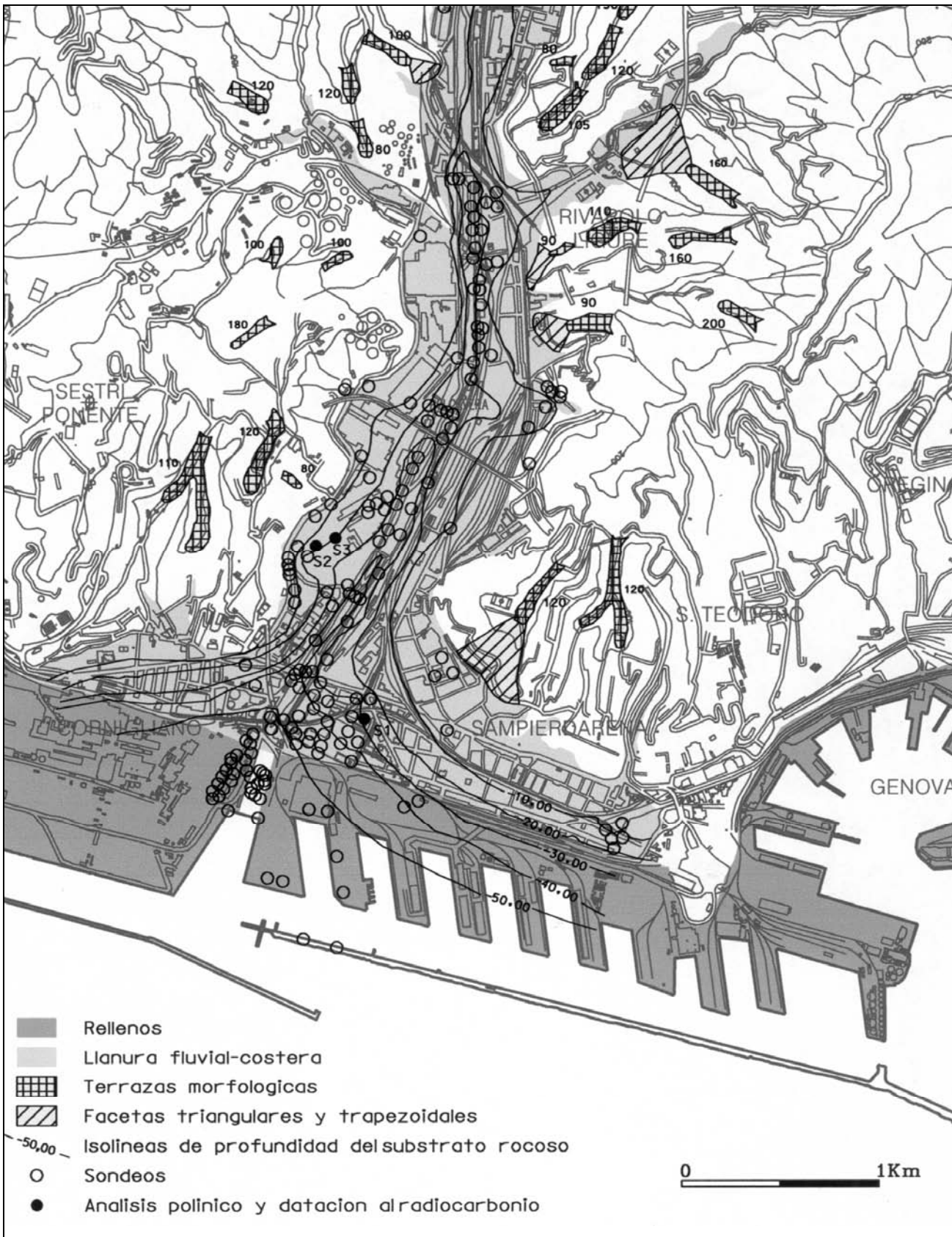


FIGURA 2: MAPA CON ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS



torrente Bisagno situado en la parte oriental de la ciudad de Génova (Cornara, Guido, Montanari y Placereani, 1996). Sólo algún horizonte arcilloso, rico de materia vegetal, ha permitido obtener espectros polínicos significativos; en el caso del sondeo Campi S3, dos espectros, a una profundidad de 26,25 y 29,70 m respectivamente, han permitido abrir una ventana sobre lo que debería ser el paisaje vegetal del valle algunos miles de años atrás (Tabla A). El nivel 26,25 m se ha datado con el método de radiocarbonio, indicando una edad de 8340 ± 60 A.C. (Rome, 883), correspondiente al Holoceno antiguo (Boreal). Se trata, por el momento, de la fecha más antigua referente a sedimentos fluviales en el área municipal genovesa.

Los depósitos examinados en el área de desembocadura del otro torrente de la ciudad (el Bisagno) han mostrado un cuadro paleobotánico similar, a niveles encerrados entre 13 y 18 m de la superficie actual, datados entre 7000 y 6000 años A.C. (Cornara, Guido, Montanari y Placereani, 1996; Montanari, Guido, Cornara y Placereani, 1998). Por el momento, la mayor parte de las informaciones paleobotánicas para la zona costera de Génova parecen concentradas en un ámbito cronológico relativamente restringido (8400 - 6000 A.C.) que abraza el Boreal y el Atlántico.

Para períodos mucho más recientes (a partir de 2495 \pm 60 A.C., es decir al principio del Subatlántico) se pueden recoger datos paleobotánicos sobre bases polínicas para el área costera ligur-provenzal del estudio de Picazzo, Firpo, Ivaldi y Arbba (1994): en sedimentos marinos costeros de la Liguria occidental, el polen de Abies y de Robles caducifolias va decreciendo progresivamente casi un 20% hasta la desaparición del Abeto en la Edad Media tardía, en concomitancia con la difusión de cultivaciones arbóreas (Castaño y Olivo).

El espectro del muestreo más profundo para la zona de Campi S3 (29,7 m) indica una supremacía de polen de Abeto blanco (*Abies*) que se acompaña de Pinos (*Pinus*), Nogales (*Corylus*), Tilos (*Tilia*), Robles caducifolias (*Quercus decid.*) (Fig. 5); entre los taxones herbáceos abundan las gramináceas (*Poaceae*) y sobre todo las esporas de los Helechos (*Filicales*).

El espectro del muestreo a profundidad menor (26,25 m, 8340 ± 60 A.C.) registra una flexión de Abeto, Tilo y Helechos, con incremento de Robles caducifolios, Aliso (*Alnus*), Sauce (*Saxifraga*), Olmo (*Ulmus*), *Erica*, *Helianthemum* y *Asteraceae*. No es fácil decir si se trata de las consecuencias de una oscilación climática, en el sentido de una relativa disminución de humedad que habría ido en detrimento de las especies más mesófilas (p.ej. Abeto, Helechos, Tilo) en ventaja de las demás termoheliófilas (p.ej. Robles termo-xerófilas y especies de la vegetación mediterránea), o bien de un efecto debido a desviaciones del torrente en la llanura. Resulta evidente la formación de un bosque higrófilo de orilla (Aliso, Sauce, Olmo) que podría haber enmascarado las aportaciones polínicas de tipo regional bien a nivel físico, con efecto filtro, sea como consecuencia de la suma polínica; el análisis de los espectros de concentración, que concuerdan plenamente con aquellos porcentuales, permite excluir esta última posibilidad (Fig. 6).

En ambos niveles son escasas las trazas de vegetación mediterránea con esclerófilas perennefolia, tanto arbórea como arbustiva, aquí representada por pocos gránulos de *Quercus t. ilex/suber* y quizás *Erica*. Esto corresponde a lo que se evidencia cada vez con más claridad, por lo menos en lo tocante al Mediterráneo norte-occidental; la expansión de las esclerófilas perennifolias (encinar y matorral) es un fenómeno relativamente reciente y ligado a las modificaciones debidas de la actividad

humana (pastos, incendios, cultivos). Para tratar de evidenciar los rastros de esta última, se ha evaluado la presencia de indicadores antropogénicos (IA): entre éstos, se han encontrado sólo pocos gránulos de Castaño (*Castanea*), Nogal (*Juglans*) y cereales (*Poaceae* > 45 μ m). En todo caso para períodos tan antiguos, el real significado de éstos es más bien incierto; faltan completamente Olivo y Oleáceas en general.

En conjunto lo que se evidencia es la esencia forestal de la capa vegetal del valle, con valores polínicos de especies arbóreas en torno al 60-80% (Fig. 7), que ascienden al 87% en ambos espectros, si se excluyen los helechos de la suma polínica. Debía tratarse de un bosque de abetos donde probablemente predomina el Abeto blanco a las cotas más elevadas, pero rica de latifoliadas caducas en el lecho mayor. Aspectos de este tipo se conocen actualmente en varias zonas apenínicas: Negri (*en Bernetti*, 1995) cita un núcleo de Abeto blanco espontáneo en monte bajo de Cerro en las pendientes meridionales del monte Amiata; en Lucania, Aita, Corbetta y Orsino (1977) describen la asociación *abieti-fagetosum del Physospermo verticillati-Quercetum cerris*, a cotas de 1000-1200 m.

Es un hecho ya bien documentado que el Abeto blanco ha representado una de las especies forestales más difusas a lo largo de varios milenios durante el Holoceno, especialmente en esta porción del Apenino septentrional, pero los datos recientes parecen demostrar que esta conífera mesófila llegó a mezclarse con las caducifolias mesotermófilas (Robles, Tilos, Olmos, Fresnos) bajando en el plano base hasta las proximidades de la costa.

Pese a tener en cuenta el hecho de que una gran cantidad de polen puede haber sido transportado por el agua desde las zonas más elevadas, el Abeto resulta en cantidad ampliamente superior a las demás especies forestales, incluso las de la zona de la orilla y por eso locales y con producción polínica superior (p.ej. *Alnus*).

Esto parece indicar, de acuerdo con lo observado también en otras localidades, tanto en el interior de Liguria (Montanari, Guido y Petrillo, 1985) como en la costa (Montanari, Guido, Cornara y Placereani, 1998), que el bosque de abetos fue durante mucho tiempo la formación principal, difundida en una amplia faja de altitud.

Desdichadamente, por el momento, las demás muestras examinadas han resultado escasísimas de polen. Pero vale la pena citar los análisis polínicos referentes a las muestras de Campi S2, nivel -13,30 m y nivel -14,10 m (Fig. 4), para las cuales se han efectuado dataciones de radiocarbonio que han suministrado una edad respectivamente de 6635 ± 50 A.C. (Rome, 881) y de 6595 ± 50 A.C. (Rome, 882).

En el área de la desembocadura (Fiumara, S1) el hallazgo a una profundidad de 13,80 m de un resto vegetal parcialmente carbonizado ha permitido datar el tiempo de sedimentación en 7690 ± 80 A.C. (Fig. 4).

Sobre la base de los pocos gránulos observados a estos niveles, se puede decir que el Abeto blanco está todavía presente o es predominante, junto con el Pino, el Nogal, Roble caduco y Helechos; esto por otra parte concuerda con lo observado en análogos depósitos a 12,5 m de profundidad, en la desembocadura del torrente Bisagno (Cornara, Guido, Montanari y Placereani, 1996; Montanari, Guido, Cornara y Placereani, 1998), para los cuales se ha obtenido un cuadro semejante referente al Neolítico medio (5770 ± 70 A.C. - GrN-21525).

En otros muestreos de niveles más superficiales de la misma área, de 25 a 4 m de profundidad, no se ha encontrado

FIGURA 3: SECCIONES GEOLÓGICAS

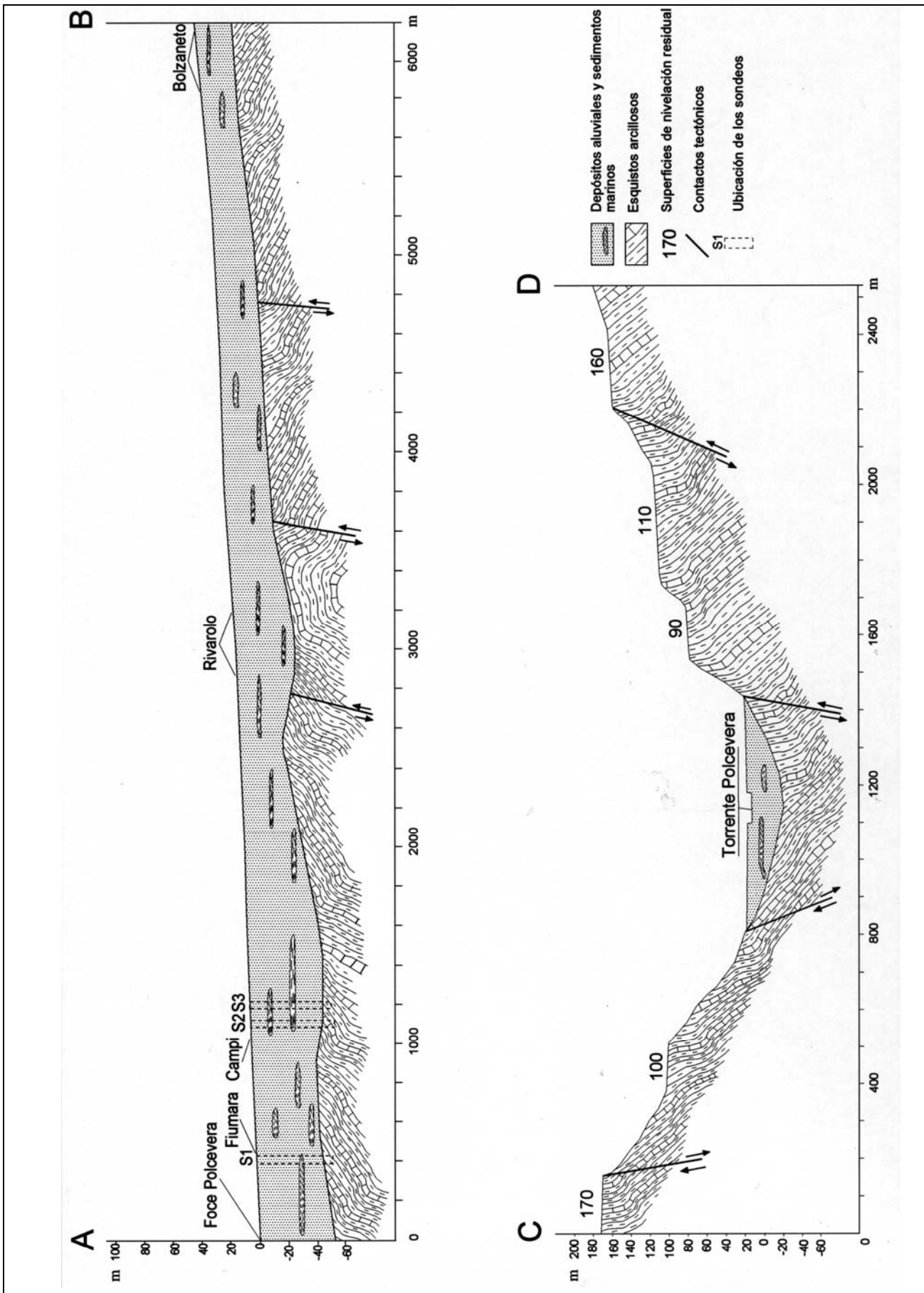


FIGURA 4: ESTRATIGRAFÍAS DE TRES SONDEOS Y DATACIÓN DE MUESTRAS VEGETALES DE ALGUNOS HORIZONTES

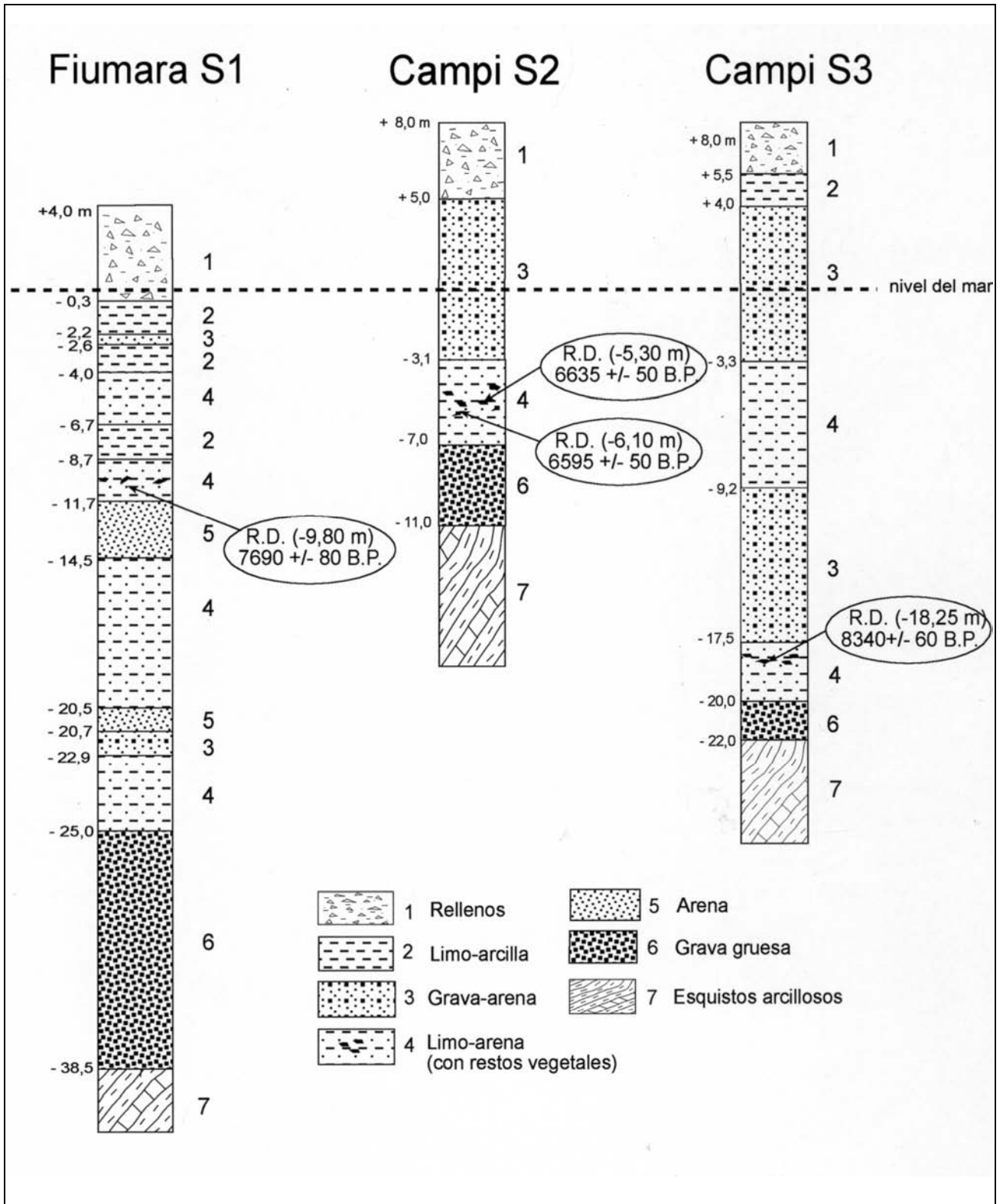


TABLA A: ESPECTROS POLÍNICOS PORCENTUALES DE LOS DOS NIVELES DEL SONDEO CAMPI-S3, RESULTADOS SUFICIENTEMENTE RICOS DE POLEN

GENOVA CAMPI S3					
Profundidad (m)	26,25	29,70	Profundidad (m)	26,25	29,70
Taxa	%	%	Taxa	%	%
Abies	37,69	57,51	Poaceae > 45 m		0,26
Pinus	5,38	8,29	Cyperaceae	1,52	1,28
cfr. Larix	0,38		Compositae lig.	1,15	
Cupressaceae	0,77		Compositae tub.	0,38	
Alnus	17,20	0,77	Artemisia	0,38	
Salix	1,52	0,77	Ranunculaceae	0,38	0,26
Quercus decid.	27,69	2,85	Urticaceae	0,38	
Quercus t. ilex/ suber	0,38	0,26	Caryophyllaceae	0,38	
Tilia	1,54	8,81	Umbelliferae		1,04
Ulmus	3,46	0,26	Leguminosae		1,04
Corylus	5,00	5,96			
Fraxinus	1,92	1,55	cfr. Nymphaea		0,52
cfr. Acer	0,38	1,04	Luzula	0,38	
Castanea		1,30	Viola	0,77	
Juglans	0,38		Plantago	0,38	0,26
cfr. Prunus	0,38				
cfr. Crataegus	0,38		Filicales tot.	10,90	36,59
Sambucus	0,77	0,78			
			arboles	79,94	55,95
Humulus/Cannabis	1,15	0,26	arbustos	3,11	1,13
Erica	1,92	0,78	hierbas	16,95	42,93
Helianthemum	1,15		IA	1,54	1,81
Rosaceae		0,26	higro-hidrof. tot.	19,25	3,26
Hedera		0,26	Bryophyta	1,15	2,59
cfr. Genista		0,26	Concentricystes	0,38	
Poaceae	4,62	6,74	indet.	11,54	1,81

polen de Abeto, sino sólo poquísimos de latifoliadas caducas (Nogal, Aliso, Roble, Carpe negro), de Encina y de Pino.

5. CONCLUSIONES

Sobre la base de la reconstrucción de las terrazas morfológicas, de las estratigrafías y de los datos procedentes de las dataciones absolutas y de los estudios polínicos, la cuenca del torrente Polcevera evidencia por lo menos dos ciclos erosivos precedentes a una fase de sedimentación localizada en los últimos 10.000 años, que ha afectado al eje del torrente en el sector situado al sur de Campomorone.

El valle encajado parece asentado en el substrato y prosigue en la faja costera propiamente dicha con continuidad incluso en la plana costera actualmente sumergida.

La escasez de depósitos aluviales terrazados y la erosión regresiva permiten localizar una fase de basculamiento reciente que afecta a toda la cuenca y se caracteriza por un fuerte levantamiento en el sector septentrional y un hundimiento diferencial más marcado en la zona de la costa.

Los depósitos aluviales identifican por lo tanto una fase de sedimentación holocena caracterizada por sucesivas superposiciones aluviales, compensadas en parte por la subsidencia.

Por lo que se refiere al asentamiento de la vegetación, los resultados obtenidos por los análisis polínicos permiten captar sólo algunas fases del medio Holoceno. Con todo, el cuadro que emerge está de acuerdo con el trazado para la llanura de la desembocadura del torrente Bisagno, en la porción oriental de Génova y, más en general, con lo que se conoce en el Apenino ligure. El Abeto blanco ha sido una de las especies forestales predominantes a partir por lo menos de 8.500 años atrás y ha conservado durante mucho tiempo esta función, incluso en proximidad de la costa, hasta que las modificaciones debidas sobre todo a la actividad humana han sido causa de su desaparición.

A las mismas causas parece ligada también la difusión de las formaciones esclerófilas perennifolias (encina y sus etapas de degradación) que han sustituido ampliamente el bosque de latifoliadas caducas, precedentemente predominante en las cotas menores.

FIGURA 5: ESPECTROS POLÍNICOS PARCIALES DE DOS NIVELES SEDIMENTARIOS DE LA LLANURA DEL TORRENTE POLCEVERA
 En ambas fases de vegetación evidenciadas por el análisis polínico domina *Abies*; las oscilaciones cuantitativas en los dos espectros podrían estar ligada a las divagaciones del curso del torrente (p. ej.: proximidad del bosque de la orilla con *Alnus* en el nivel más reciente).

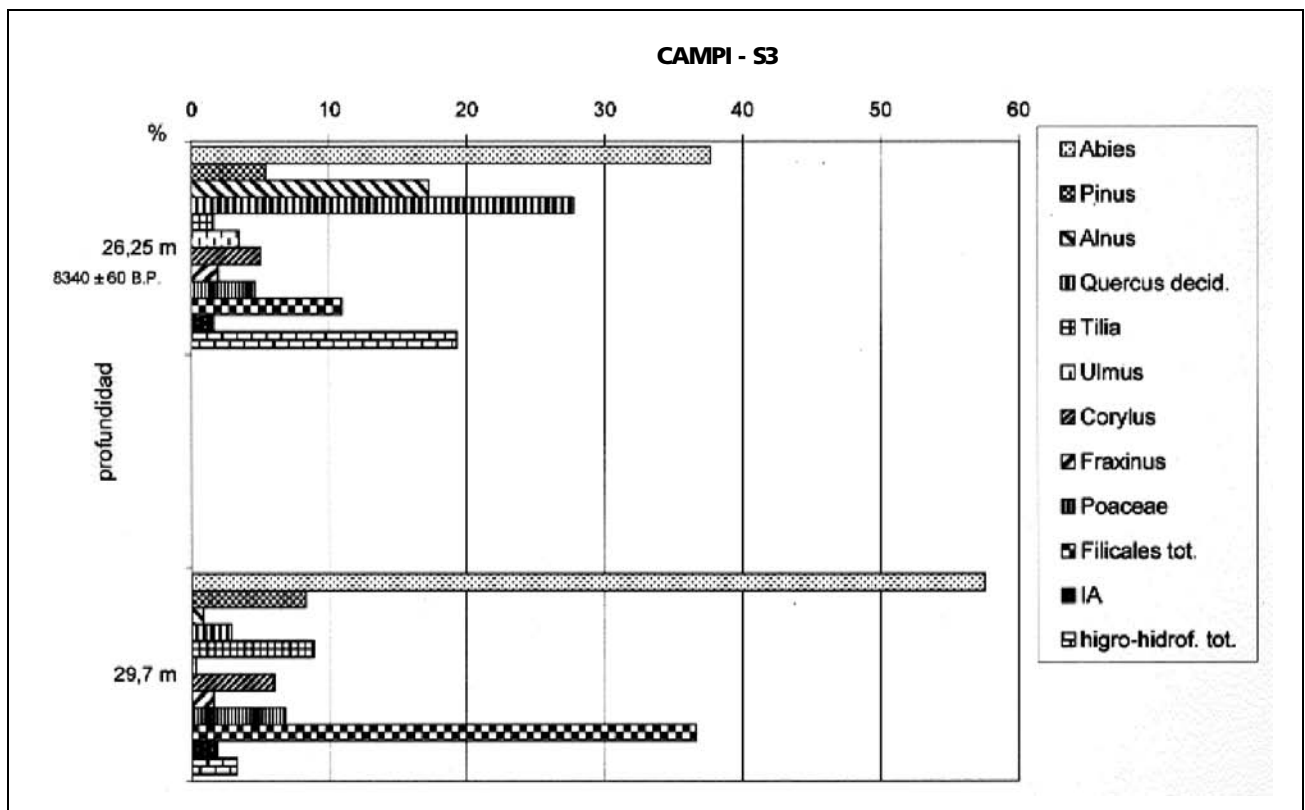


FIGURA 6: LA CONCENTRACIÓN POLÍNICA RESULTA SIEMPRE MÁS BAJA, PERO DE ACUERDO CON LOS VALORES PORCENTUALES

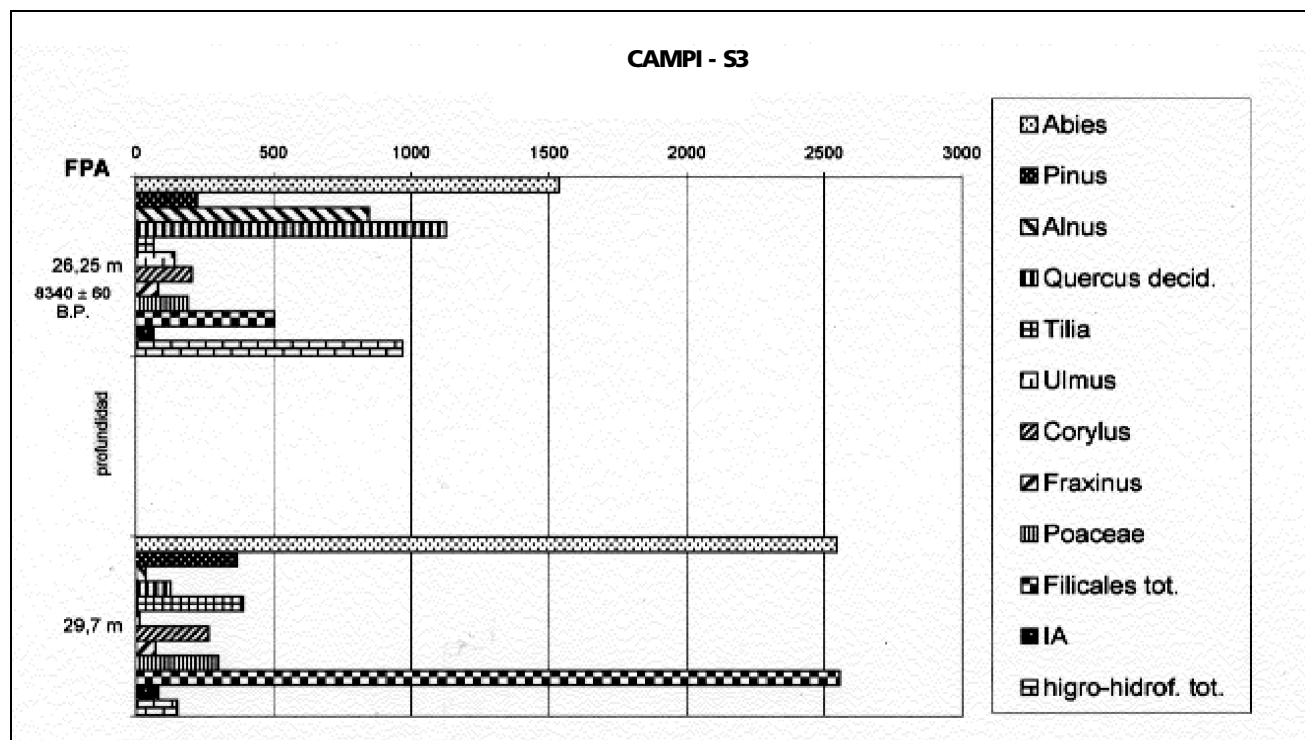
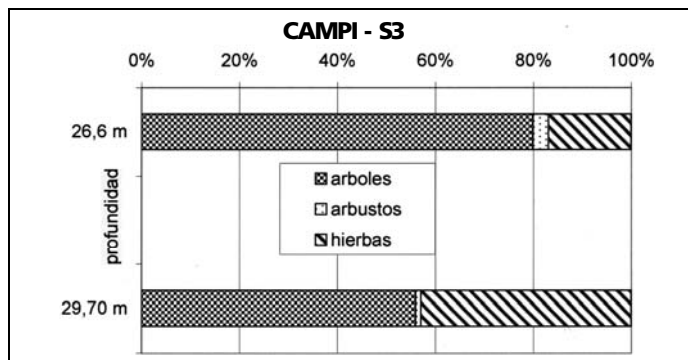


FIGURA 7: LA CANTIDAD RELATIVA DE TAXÁCEA ARBÓREA, ARBUSTIVA Y HERBÁCEA

muestra una cobertura de tipo forestal que resulta todavía más evidente si de la suma polínica se excluyen las esporas de helecho, que son muy abundantes sobre todo en el nivel más antiguo



6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AITA, L., CORBETTA, F. Y ORSINO, F., 1977.
 Osservazioni fitosociologiche sulla vegetazione forestale dell'Appennino lucano centro-settentrionale.
I. Le cerrete. Arch. Bot. Biogeogr.Ital., 53(3/4): 97-130.

BERNETTI, G., 1995.
 Selvicoltura speciale.
 UTET. Torino.

BRANDOLINI, P., RAMELLA, A. Y TERRANOVA, R., 1994.
 Geomorphological features and recent evolution of Polcevera River plain (Liguria, NW Italy): relationship with Human presence.
Il Quaternario - Italian Journal of Quaternary Sciences, 7(1): 403-408.

BRANDOLINI, P., RAMELLA, A. Y TERRANOVA, R., 1996.
 Evoluzione geomorfologico-ambientale della fascia costiera tra Genova e Voltri a seguito degli interventi antropici.
Atti XXVI Congresso Geografico Italiano, 4-9 maggio 1992, Genova, Istituto Enciclopedia Italiana: 658-673, Roma.

BRANDOLINI, P., CANEPA, G., FEDOLINO, M., NICCHIA, P., RAMELLA, A. Y TERRANOVA, R., 2000.
 Modificaciones morfológicas de la costa occidental de Génova derivadas de la construcción del nuevo puerto de contenedores. Liguria - Italia.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, n.15: 20-29, Buenos Aires.

COMUNE DI GENOVA, 1996.
 Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova.
 SystemCart s.r.l., Roma.

CORNARA, L., GUIDO, M.A., MONTANARI, C. Y PLACEREANI, S., 1996.
 Analisi polliniche. In: La città ritrovata (P.Melli ed.). Archeologia urbana a Genova, 1984-1994.
 Tormena Ed.: 373-375, Genova.

FANUCCI, F., FIRPO, M., PICCAZZO, M. Y RAMELLA, A., 1988.
 Natura e genesi dei canyons sottomarini del Mediterraneo occidentale.
Atti VIII Congr. Naz. di Oceanologia e Limnologia: 357-367, Pallanza.

MARINI, M., 1989.
 Litostratigrafia e assetto strutturale della Valpolcevera (Appennino ligure): revisione, nuovi dati e nuove prospettive.
Giornale di Geologia, 51/1.

MARINI, M., 1998.
 Carta geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino settentrionale) alla scala 1:25.000. Note illustrative.
Atti Tic. Sc. Terra, 40: 33-64.

MONTANARI, C., GUIDO, M.A. Y PETRILLO M., 1985.
 Tracce di un bosco di Abete bianco in val Vobbia messe in luce dall'analisi pollinica.
Arch. Bot. Biogeograf. Ital., 61 (3/4): 169-184.

MONTANARI, C., GUIDO, M.A., CORNARA, L. Y PLACEREANI, S., 1998.
 Tracce polliniche di boschi neolitici di Abete bianco in Val Bisagno (area urbana di Genova).
Biogeographia, XIX (1997): 133-143.

PICCAZZO, M., FIRPO, M., IVALDI, R. Y AROBBA, D., 1994.
 Il delta del Fiume Centa (Liguria occidentale): un esempio di modificazione recente del clima e del paesaggio.
Il Quaternario, 7(1): 293-298.



Elaboración y uso de mapas temáticos para la regionalización ecológica de la cuenca del Arroyo del Azul

Entraigas, Ilda¹ - Gandini, Marcelo - Usunoff, Eduardo

Resumen

La definición de regiones ecológicamente homogéneas puede servir como base para la identificación de los potenciales productivos de una región, como así también para el reconocimiento de usos inadecuados de los ecosistemas.

La metodología tradicional de superposición de mapas temáticos se vuelve poco operativa al considerar una gran cantidad de variables, por lo que es necesario eliminar de alguna manera aquellas que aportan poca información. Una forma objetiva de hacerlo es mediante la aplicación, sobre la matriz de datos original, de un análisis multivariado tal como el de Componentes Principales. De esta manera se obtienen nuevas variables (componentes) que son el resultado de la combinación lineal de las originales, y nuevos valores de las mismas (escores factoriales) en cada unidad de análisis.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una metodología objetiva para la subdivisión de una cuenca hidrográfica (la del Arroyo del Azul, 6000 km²) en ecosistemas regionales de características internamente homogéneas, utilizando datos edáficos, fisiográficos, topográficos y de relevamiento "a campo".

La elección del Análisis de Componentes Principales se debió a que dicha técnica permitió, por un lado, usar un reducido número de componentes que contienen la influencia de todas las variables originales, e identificar y desechar aquellas menos significativas y, por otro lado, permitió el desarrollo de una regionalización objetiva y dinámica, pudiéndose realizar nuevos análisis a partir de nuevos objetivos o a la disponibilidad de nuevas variables.

La metodología utilizada, junto a la inclusión en el conjunto de variables de aquellas de importancia agroecológica, ofreció la oportunidad de contar con una regionalización que podrá ser ajustada a posteriori de acuerdo a las tendencias en el uso de la tierra y/o cambios en las variables climáticas, o servir como base para la creación de planes maestros de uso de la tierra. Por otro lado, el uso de Sistemas de Información Geográfica resultó indispensable ya que, además de la descripción, permitió el modelado y manejo de las complejas relaciones presentes en los agroecosistemas.

En conclusión, en esta regionalización se presenta una combinación de herramientas objetivas para la evaluación y caracterización de zonas que poseen abundante información disponible pero no sistematizada y escasamente procesada, usando bases teóricas ecológicas.

1. INTRODUCCIÓN

Una gestión sustentable de los recursos naturales renovables necesita de una planificación regional consistente (De Pablo *et al.* 1983). La definición de regiones ecológicamente

homogéneas puede constituir la base para la identificación de los potenciales productivos de una región, como así también para el reconocimiento de usos inadecuados de los ecosistemas.

Según Bailey (1983), las ecoregiones pueden considerarse como grandes ecosistemas de extensión regional que contienen en su interior a un cierto número de ecosistemas más pequeños. Son zonas que representan asociaciones de ambientes definidos

Entregado: 15 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 12 de Diciembre de 2001

Instituto de Hidrología de Llanuras, CC 44 (7300) Azul, Bs. As.
e-mail: ilda@faa.unicen.edu.ar

a mayor escala y tienen un funcionamiento que justifica su agrupación en grandes zonas.

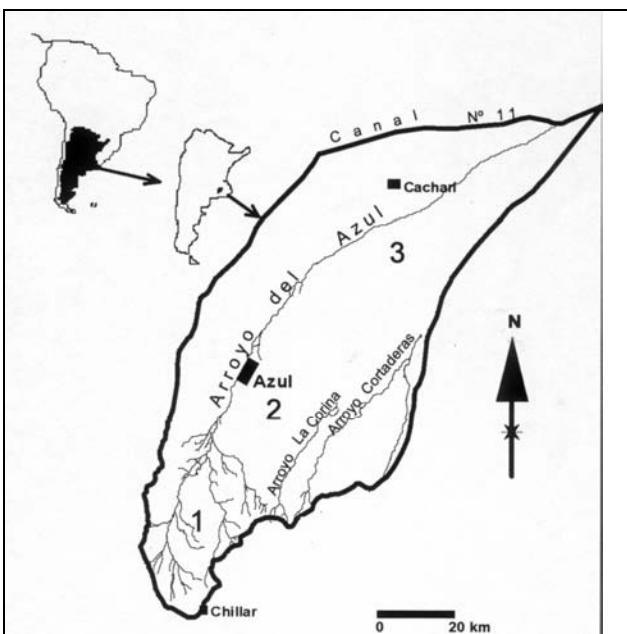
Mabbutt (1968) define tres enfoques metodológicos para la regionalización ecológica del territorio teniendo en cuenta variables naturales: genético, paisajístico y paramétrico. El enfoque *genético* subdivide al ambiente según las relaciones causales entre factores ambientales, lo que implica la existencia de un modelo de relaciones entre variables. Este sistema es jerárquico y supone progresivas subdivisiones del espacio sobre la base de variables cuyo rango de importancia va disminuyendo. El enfoque *paisajístico* postula que un determinado paisaje de la superficie terrestre es el resultado de la actuación conjunta de diversos factores a lo largo del tiempo, y analiza las formas del paisaje directamente sobre el terreno o a partir de imágenes satelitales o fotografías aéreas para el reconocimiento de las regiones. El enfoque *paramétrico*, por su lado, pone especial énfasis en la cuantificación de los atributos espaciales, dado que supone que la misma evita la subjetividad, facilita las comparaciones y confiere mayor rigurosidad a los resultados.

Los dos últimos enfoques tienen una base "multivariada" de percepción, pero el paramétrico parece ser más apropiado para plantear hipótesis sobre el funcionamiento de los ecosistemas, pues aporta una evaluación cuantitativa de la jerarquía de factores de organización.

Los mapas ecológicamente definidos representan hipótesis acerca de los factores que controlan la estructura y el funcionamiento del ecosistema (Rowe y Sheard 1981; según Host et al. 1996). Por otro lado, al establecerse una jerarquía de variables, es posible plantear hipótesis de manejo y predecir los resultados mediante modelos analíticos (Hughes y Larsen 1988; Nathan y McMabon 1990; Beran et al. 1990).

FIGURA 1: CUENCA DEL ARROYO DEL AZUL

(1) Cuenca alta, (2) Cuenca media y (3) Cuenca baja



El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una metodología objetiva para la subdivisión de la cuenca hidrográfica del Arroyo del Azul, ubicada en el centro de la provincia de Buenos Aires y de una extensión aproximada de 6000 km² (Fig. 1) en ecosistemas regionales de características internamente homogéneas, utilizando datos edáficos, fisiográficos, topográficos y de relevamiento "a campo".

2. METODOLOGÍA

El Análisis Multivariado y la Regionalización Ecológica

Según Gallopín (1982), una metodología objetiva para la regionalización es la subdivisión del área de estudio en Elementos Ambientales Unitarios (EAU) y un posterior agrupamiento o clasificación de los mismos mediante técnicas de análisis multivariado. Para la definición de las EAU existen dos alternativas: subdivisión del espacio territorial en unidades geométricas regulares ("artificiales"), o en unidades irregulares, basadas en algunas características observadas ("naturales").

Para el análisis de los datos existen varias técnicas multivariadas aplicables a la regionalización como Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis de Factores, Análisis de Agrupamiento (Cluster), y otros. A partir de cada una de éstas, se obtienen distintos resultados (Nathan y McMabon 1990), por lo que la elección de la técnica apropiada es de gran importancia para obtener resultados coherentes a los objetivos planteados.

Host et al. (1996) realizan una primera aproximación al desarrollo de clasificaciones de ecosistemas usando análisis de componentes principales, pero definen los límites de clasificación de una forma arbitraria (usando los límites de mapas escala 1:250000). Esta decisión puede llevar a que se subestime o sobrestime la varianza de variables que luego son usadas para definir los límites de ecosistemas regionales.

Una solución posible a este problema puede ser la definición de un área de clasificación que presente menos conflictos de límites externos, como los límites de una cuenca hidrográfica, donde uno de los componentes del ciclo del agua, como el proceso de precipitación-escorrentía se puede considerar como cerrado.

La metodología tradicional de superposición de mapas temáticos se vuelve poco operativa al considerar una gran cantidad de variables, por lo que es necesario eliminar de alguna manera aquellas que aportan poca información. Una forma objetiva de hacerlo es mediante la aplicación, sobre la matriz de datos original, de un análisis multivariado tal como el de Componentes Principales. De esta manera se obtienen nuevas variables (componentes) que son el resultado de la combinación lineal de las originales, y nuevos valores de las mismas (escores factoriales) en cada EAU.

El rol de los Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es, específicamente, un sistema asistido por computadora para la adquisición, almacenamiento, análisis, procesamiento y visualización de datos de los cuales se conoce su localización geográfica, o, como enunciara Burrough (1986), es un conjunto de herramientas poderoso para obtener, almacenar, buscar en todo momento, transformando y desplegando datos espaciales del mundo real para satisfacer propósitos específicos. Los SIG ya han logrado hacerse de un lugar en muchas de las áreas que requieren descripción espacial y manipulación de la información, convirtiéndose en una herramienta esencial para el análisis y la transferencia de conocimientos acerca de los recursos.

Los SIG permiten que los datos puedan ser pensados como representaciones del mundo real. Como a estos datos se puede acceder, transformar y manipular interactivamente en el sistema, ellos pueden servir para el estudio de procesos ambientales, para el análisis de tendencias en ciertos fenómenos naturales, y para el anticipo de probables resultados en decisio-

nes de planeamiento. Así, permite la actualización permanente de la base de datos y, por otro lado, la obtención de distintos mapas finales según las necesidades de los actores que habitan (y administran) la zona.

La mayor potencialidad de los SIG como herramienta para una regionalización de base paramétrica se encuentra en la posibilidad del procesamiento y representación espacial de matrices numéricas georeferenciadas, con la posibilidad de importación y exportación de los datos a planillas de cálculo y/o bases de datos. Por otro lado, las posibilidades de procesamiento de imágenes que poseen estos sistemas aportan un sustrato óptimo para visualizar espacialmente los resultados obtenidos mediante un análisis numérico.

El papel de los SIG en esta metodología es, entonces, la ordenación espacial de los nuevos datos en un mapa resultante que es combinación de las variables que explican la mayor parte de la varianza original.

La elaboración de una imagen de falso color compuesto con los componentes de mayor varianza explicada, puede resultar un

sustrato apropiado para la subdivisión en zonas homogéneas, ya sea por interpretación visual o agrupamiento de los nuevos valores de las EAU mediante análisis de agrupamientos.

La ventaja de utilizar esta técnica es la reducción drástica en el número de variables a considerar y la posibilidad de utilizar una combinación objetiva de todas las variables consideradas *a priori* en la regionalización.

El objetivo de la presente línea de investigación fue desarrollar una metodología objetiva para la subdivisión de una cuenca hidrográfica en ecosistemas regionales de características internamente homogéneas, utilizando datos edáficos, fisiográficos, topográficos y de relevamiento "a campo".

Obtención y tratamiento de los mapas temáticos

Se contó con información proveniente de distintas fuentes, la cual fue analizada y procesada mediante dos Sistemas de Información Geográfica diseñados específicamente para la evaluación de los recursos naturales: ILWIS 2.2 (ITC 1998) e IDRISI 2.0 Rev. 2 (Eastman 1997). El área fue dividida

FIGURA 2: ARGIUDDOLES TÍPICOS

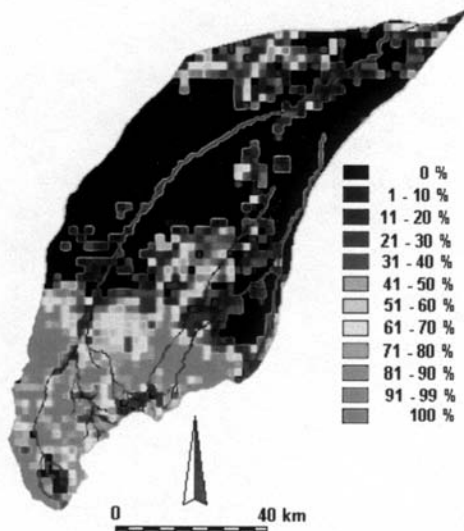


FIGURA 3: ARGIUDDOLES LÍTICOS

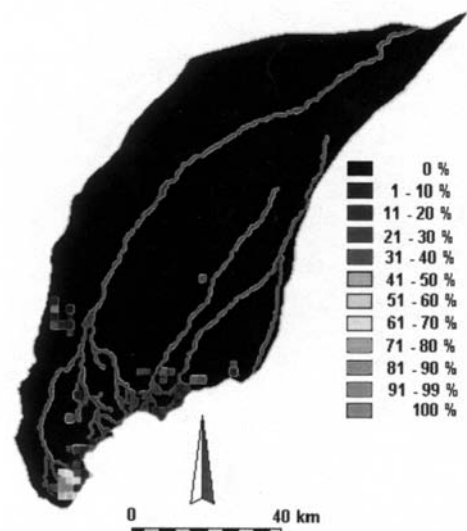


FIGURA 4: ARGIALBOLES

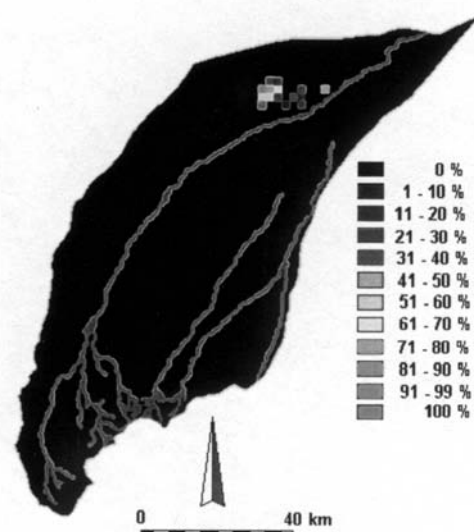
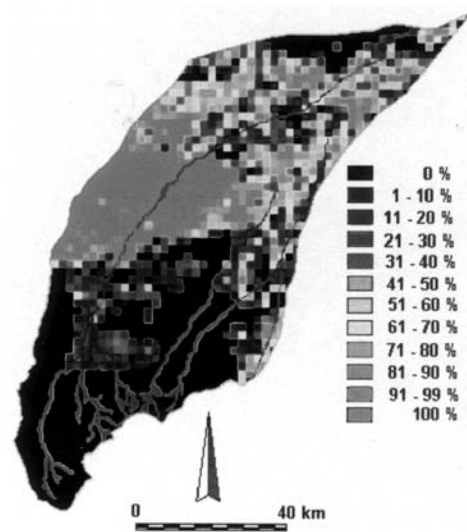


FIGURA 5: NATRACUOLES TÍPICOS



mediante una grilla regular en 4560 celdas (EAU) de 2 Km² cada una. El valor de las variables en cada EAU fue determinado de la siguiente manera:

• **Suelos:** Superposición de una grilla "blanco" y estimación visual del porcentaje de cobertura en cada EAU de los subgrupos de suelos (clasificados según *Soil Taxonomy 1975*) presentes en el área de estudio: Argiudoles típicos, Argiudoles líticos, Argialboles, Natracuales típicos, Natracualfes típicos, Natracualfes mólicos, Hapludoles líticos y Complejos Indiferenciados (Figs. 2 a 9). Dicha información fue extraída de las cartas de suelo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA 1992), escala 1:50000.

Una descripción simplificada de los distintos suelos, se detalla a continuación:

Argiudoles: suelos con horizonte A profundo, rico en materia orgánica, buena saturación con bases (mayor del 50%) y bien estructurado. Poseen un horizonte argílico (desarrollado por

lixiviación) que se reconoce por la presencia de barnices. El régimen de humedad del suelo es típico de climas húmedos, pudiendo tener períodos secos de escasa intensidad (régimen údico). Esto también implica que la sección de control de humedad, en la mayoría de los años, no esté seca en ningún sector por un período mayor de 90 días acumulativos. Los típicos no tienen ningún tipo de limitación, por lo que en ellos se desarrolla la mayor parte de la actividad agrícola; mientras que en el caso particular de los *líticos*, la roca se encuentra dentro de los primeros 50 cm.

Argialboles: poseen un horizonte sub-superficial álbico, definido por la presencia de materiales álbicos, generalmente granos de arena no revestidos (sin barnices), empobrecido de materiales finos, bien lavado. Es el eluvial por excelencia, muy frecuente en suelos bajos, ocupando las partes cóncavas del relieve (ésta ubicación topográfica, justamente, produce una concentración de agua pluvial, lo que favorece la lixiviación del perfil y la formación del horizonte álbico, el que generalmente

FIGURA 6: NATRACUALFES TÍPICOS

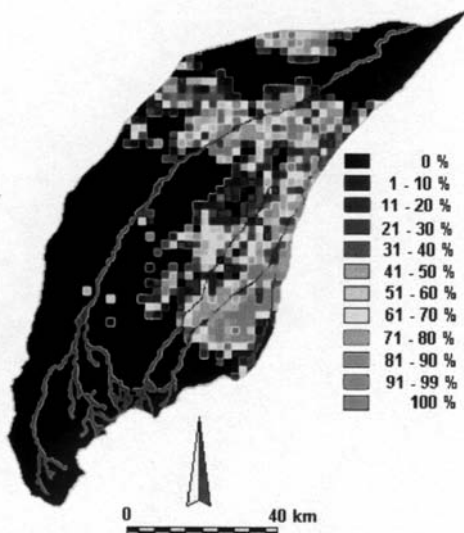


FIGURA 7: NATRACUALFES MÓLICOS

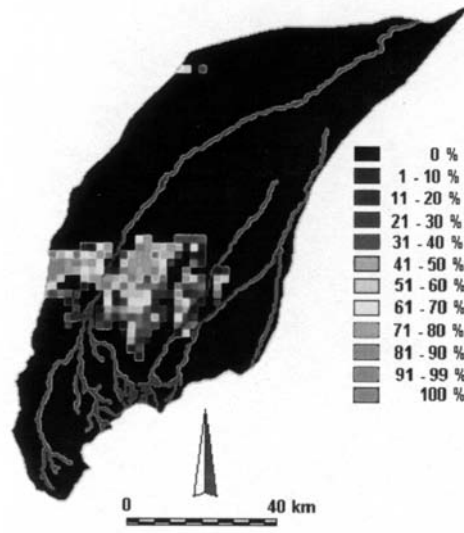


FIGURA 8: HAPLUDOLES LÍTICOS

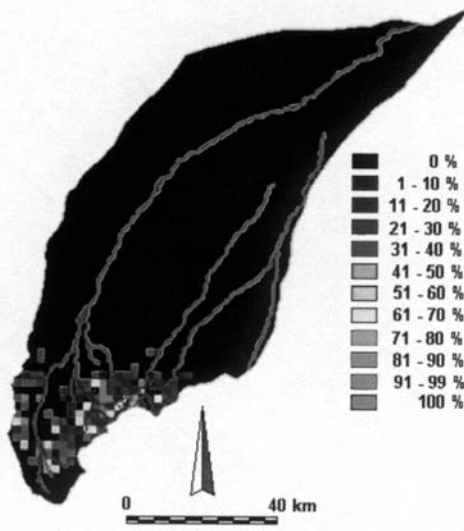
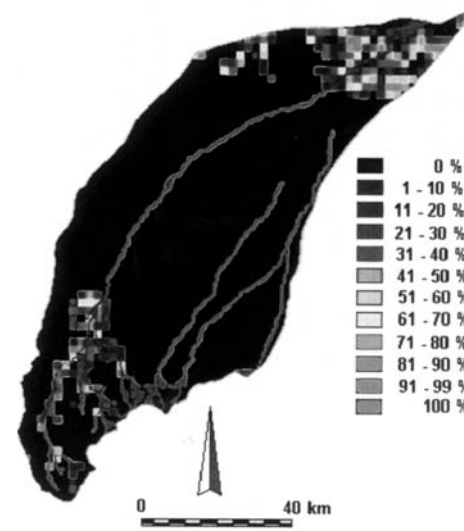


FIGURA 9: COMPLEJOS INDIFERENCIADOS



está muy bien definido y muestra marcados rasgos de hidromorfismo). Entre este horizonte y el Bt subyacente se produce un cambio textural abrupto, característico de este subgrupo.

Natracuales: suelos con drenaje deficiente, con períodos de saturación y ambiente reductor. Con horizonte nátrico caracterizado por poseer más del 15% de sodio intercambiable, pH mayor de 8.5 desde la superficie, generalmente estructura columnar, acumulación de arcillas, materia orgánica dispersada (muy móvil), plásticos en húmedo y duros en seco. Poseen un horizonte oscuro, profundo, rico en bases y alto contenido de material orgánico (epipedón mólico). El subgrupo *típico* agrupa a los suelos cuyos caracteres no se apartan de los que son taxonómicamente diagnósticos para el Gran Grupo, y hasta el momento la taxonomía no considera otros subgrupos.

Natracualfes: al igual que los anteriores, son suelos con drenaje deficiente, en algún momento del año están saturados y hay ambiente reductor (ausencia de oxígeno en el suelo, pero no se define la longitud del período). Presencia de horizontes argílico y nátrico. Más del 35% de saturación con bases. En el caso de los *mólicos*, el horizonte de superficie es oscuro, profundo, rico en bases y alto contenido de material orgánico.

Hapludoles: suelos con régimen údico de humedad, sin horizonte argílico, mullidos, blandos, con un horizonte superior moderadamente provisto de materia orgánica, con estructura débil, susceptible a la erosión eólica y excesivamente permeable. En el caso particular de los *líticos*, sólo constan de un horizonte A en contacto con el sustrato consolidado que limita la profundidad del suelo, impidiendo la normal percolación del agua y la exploración radicular.

Complejos indiferenciados: agrupación compuesta por suelos diferentes, que se encuentran muy entremezclados, de tal manera que es muy difícil separarlos como unidades puras aunque se agrande la escala del relevamiento. En el área bajo estudio, los mismos se encuentran, sobre todo, en las márgenes de los diferentes arroyos.

•**Fisiografía:** Digitalización del mapa fisiográfico elaborado por *Piscitelli y Sfeir (1993)* y estimación del porcentaje de cobertura de cada unidad de paisaje. En dicho mapa se reconocen ambientes serranos, periserranos, ondulados de piedemonte, de acumulación-deflación, de planicies de derrame, de llanuras aluviales y afloramientos rocosos en el área cubierta por el

partido de Azul. Para la superficie restante de la cuenca, se debió interpretar una imagen Landsat TM (Falso Color Compuesto, bandas 3, 4 y 5) para completar la delimitación de aquellos ambientes que excedían estos límites políticos (Fig. 10). La proyección del mapa se corrigió mediante la ubicación de puntos en coordenadas de Gauss-Kruger, utilizando un modelo polinomial de segundo orden, previo a la incorporación al SIG.

Las principales características de estos ambientes, son:

Ambiente serrano: constituido por cerros que presentan afloramientos de roca consolidada, laderas de roca alterada y suelos poco profundos. Sus valles, encajonados, frecuentemente conforman las cabeceras de los afluentes de los arroyos de Los Huesos y del Azul. En la periferia, se encuentran lomas y valles con cubetas de suelos hidromórficos o de régimen hídrico más húmedo.

Ambiente periserrano: caracterizado por la presencia y disposición irregular de afloramientos rocosos que constituyen lomas convexas. Los valles fluviales son amplios, originándose en manantiales o áreas bajas.

Ambiente ondulado de piedemonte: de relieve ondulado y recortado por numerosas vaguadas o vías de escurrimiento.

Ambiente de deflación-acumulación: de relieve muy suavemente ondulado, con típico modelado eólico, donde las lomas (sectores de acumulación) alternan con las pequeñas cubetas de deflación creadas por erosión eólica.

Ambiente de planicie de derrames: dispuesto casi en forma paralela al curso del arroyo del Azul, caracterizado por la presencia de numerosos cauces inestables o antiguas divagaciones que se anegan fácilmente en épocas de lluvias intensas.

Ambiente de llanuras aluviales: constituido por fajas que corren en forma casi paralela, sobre ambos márgenes del arroyo del Azul, y también en la del arroyo de los Huesos que ingresa en el área de estudio. El relieve es sumamente plano.

Afloramientos rocosos: zonas donde la roca está expuesta y el suelo es muy incipiente.

•**Pendientes y Orientación:** Digitalización de las curvas de nivel a escala 1:50000 a partir de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (*IGM 1953, 1954 y 1955*), equidistancia 2.5 y 5 m. Una vez logrado este mapa de estructura vectorial, se construyó el modelo digital del terreno (Fig. 11)

FIGURA 10: AMBIENTES FISIGRÁFICOS

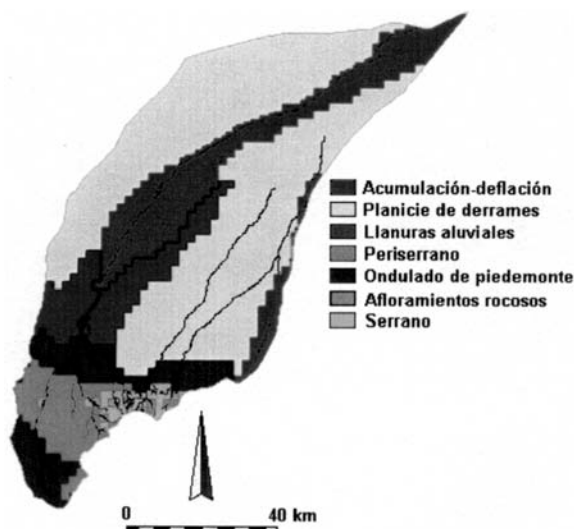
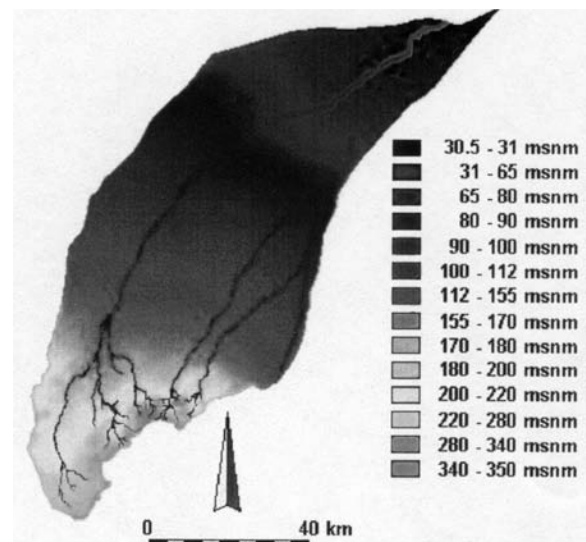


FIGURA 11: MODELO DIGITAL DEL TERRENO



y, a partir de éste, el mapa de pendientes (Fig. 12), expresadas en porcentaje. El mismo mapa vectorial sirvió de base para la construcción del mapa de orientación (Fig. 13) que representa la dirección en la cual está expuesta la "cara" de cada EAU; se expresa en grados decimales y utiliza las designaciones estándar de azimut, 0 - 360, en sentido horario a partir del norte. En regiones donde la superficie es perfectamente plana con una pendiente igual a 0, la orientación tienen asignada un valor de -1.

•**Lluvias:** Interpolación mediante polinomios de segundo grado de datos pluviométricos anuales pertenecientes a 12 estaciones de muestreo (Tabla 1) durante el período 1985 - 1994 (Fig. 14). Cabe aclarar que algunas de las estaciones pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional (Azul y Las Flores), Olavarría pertenece a la Dirección de Hidráulica de la Municipalidad de dicha ciudad, y las restantes son establecimientos agropecuarios de la región cuyos datos fueron aportados generosamente por sus propietarios o encargados.

•**Anegabilidad:** Estimación mediante un cociente normalizado entre valores de reflectancia en el canal 4 (Infrarrojo Medio) de las imágenes NOAA/AVHRR (USGS 1992, 1993), de dos épocas contrastantes en cuanto a sequía (Enero de 1994) e inundación (Abril de 1992). Este cociente se consideró proporcional al área de una celda que es cubierta por inundaciones temporarias (Fig. 15).

Luego de la obtención de las variables, los datos fueron estandarizados y tratados mediante ACP (Harman 1976). Los escores factoriales obtenidos del ACP fueron transformados en archivos ASCII e importados al SIG como nuevas imágenes. Luego se elaboró una imagen compuesta con los escores factoriales de los tres primeros componentes, con el objeto de visualizar la variación conjunta de los mismos. La imagen compuesta fue tratada con una rutina de agrupamiento (Gallopín 1982) con el fin de relacionar en clases homogéneas la mayor parte de la varianza explicada por el análisis.

FIGURA 12: PENDIENTES

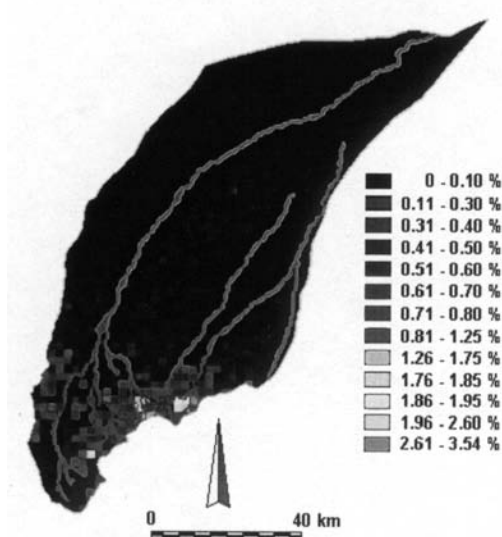


FIGURA 13: ORIENTACIÓN

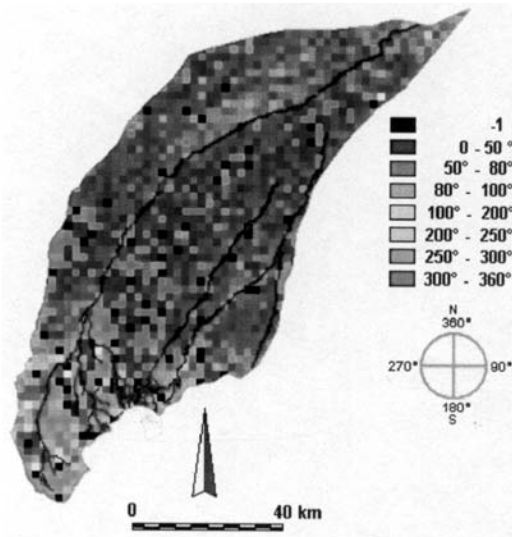


TABLA 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ELEVACIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

Nombre	Latitud	Longitud	Elevación (m)
Azul	36° 44' 49"	59° 50' 25"	127.8
Las Flores	36° 3' 55"	59° 6' 12"	36.2
Olavarría	36° 53' 26"	60° 10' 23"	161.0
Trapenses	37° 6' 24"	59° 42' 43"	260.0
San Gervasio	37° 20' 56"	60° 6' 27"	250.0
San Ramón	37° 11' 37"	59° 49' 14"	230.0
La Dolores	36° 56' 17"	60° 1' 15"	175.0
Campodónico	36° 20' 55"	59° 47' 26"	81.8
La Firmeza	36° 58' 30"	59° 57' 51"	167.5
Moeraki	36° 31' 3"	59° 27' 14"	78.5
Miramonte	36° 18' 55"	59° 27' 30"	65.0
La Isabelita	36° 48' 32"	59° 20' 21"	107.5

FIGURA 14: LLUVIAS

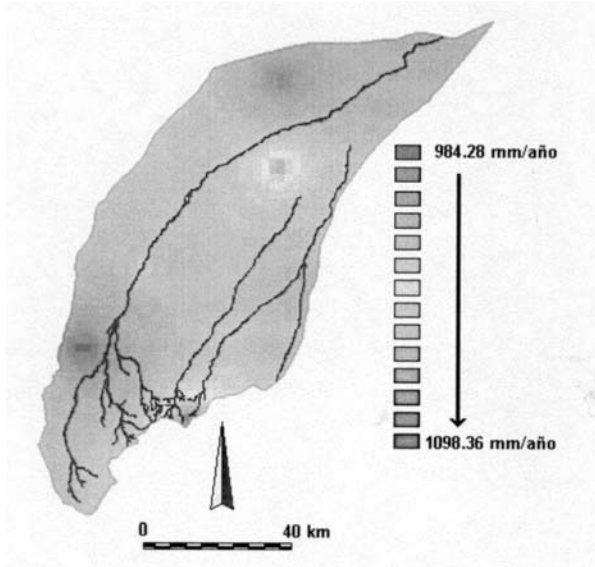
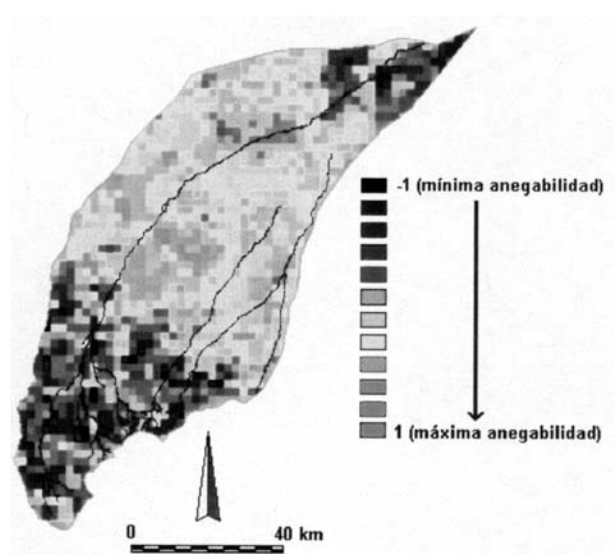


FIGURA 15: ANEGABILIDAD



3. RESULTADOS

A partir del tratamiento de la matriz de datos con el ACP, se observa que un total de cinco componentes poseen autovalores mayores que la unidad (Tabla 2), con lo que explican un porcentaje de varianza mayor que la de cualquier variable individual. Analizando la variabilidad total explicada por cada componente (en el espacio de los datos), se observa que el porcentaje es muy bajo, lo que refleja una baja correlación entre las variables,

hecho que lleva a aceptar la inclusión de todas las variables elegidas como componentes no redundantes en el análisis. La variabilidad total explicada por los tres primeros ejes de componentes alcanza (en el espacio de los factores) al 70 % (Tabla 2). Esto permite una buena interpretación de la variabilidad de los datos utilizando únicamente estos componentes. Debido a esta alta explicación de los ejes y a restricciones en la composición de imágenes en el SIG, se limita el análisis a los tres primeros.

TABLA 2: AUTOVALORES Y PROPORCIÓN ACUMULADA EN EL ESPACIO DE DATOS Y FACTORES

Componente	Autovalores (varianza explicada)	Proporción acumulada en el espacio de los datos	Proporción acumulada en el espacio de los factores
1	2.9648	0.2281	0.3579
2	1.7574	0.3632	0.5700
3	1.2706	0.4610	0.7234
4	1.2427	0.5566	0.8734
5	1.0491	0.6373	1.0000

Las cargas de las variables sobre los ejes de los componentes, pueden ser interpretadas como el grado de afinidad entre las mismas y los ejes extraídos (Noy Meyr 1971; según Montaña y Ezcurra 1991).

La carga de las variables en los componentes se repartió de la siguiente manera (Tabla 3):

Primer eje: grupos de suelos de mayor representatividad en la zona de estudio (Natracuoles y Argiudoles), fisiografía, anegabilidad, pendientes y Hapludoles líticos.

Segundo eje: Lluvias y complejos indiferenciados, argialboles, pendientes y anegabilidad.

Tercer eje: Natracualfes típicos y natracuoles.

En el primer eje posee alta carga positiva la variable Argiudoles, relacionada con altas capacidades del suelo para su uso agrícola, cuyo porcentaje se halla correlacionado positivamente con alguno de los elementos de paisaje definidos en la variable

Fisiografía, y carga negativa las que afectan éstas, como los suelos sódicos (Natracuoles) y la anegabilidad. Por esto podemos definir el mismo como de aptitud ambiental para los cultivos. Cuando las cargas son positivas, este eje definirá elementos del paisaje ubicados en los relieves positivos, en zonas de baja acumulación de agua y sales; y zonas inundables, con suelos alcalinos o salinos, cuando las cargas son negativas.

En el segundo eje, predominan variables como Lluvias, Complejos Indiferenciados y Argialboles, que podrían relacionarse con la presencia de algunas restricciones a la capacidad de uso de la tierra como los suelos aluviales y los álbicos (con poca cantidad de materia orgánica). Por otra parte, las variables Pendientes y Anegabilidad poseen carga negativa aunque baja, lo que indica que las zonas con estas restricciones son de bajas pendientes y poco anegables. Los elementos del paisaje definidos por este eje son aquellos ubicados en posiciones intermedias, con relieve positivo pero cotas no tan extremas como las indicadas para el primer eje.

En el tercero, posee alta carga otro suelo de buena representatividad areal en la cuenca (Natracualf típico) relacionado negativamente con los Natracuoles. Esto reflejaría que este factor está indicando un gradiente de materia orgánica, desde suelos mólicos como los Natracuoles, hasta alfisoles como los Natracualfes.

La aplicación del modelo de ACP a los valores de las variables en los tres primeros ejes de cada EAU, dio como resultado una matriz de 3 escores factoriales por 1575 celdas. Dado que la cantidad de datos es extremadamente grande, no es posible identificar grupos de EAU en un gráfico X-Y de escores factoriales, pero esto sí es posible con la ayuda del SIG, donde se pue-

den elaborar mapas parciales en los cuales, por construcción, ya es conocida la ubicación geográfica de cada EAU y un color con una paleta arbitraria indica similitudes o diferencias. Asimismo, la elaboración de una imagen compuesta sintetiza, en un gráfico, la variabilidad de los datos y el peso que tiene cada eje (y sus variables asociadas) en las EAU (Fig. 16).

Si bien la Figura 16 puede considerarse el resultado final de la regionalización, es muy probable que no exista una conexión espacial entre EAU similares (*Gallopín 1982*). Por lo tanto se propone recurrir a la interpretación de la variabilidad espacial de estas nuevas variables, delimitando zonas en las cuales se observen cambios significativos de los valores de escores factoriales o en el patrón de repetición espacial de los mismos.

TABLA 3: CARGA DE LAS VARIABLES EN LOS PRIMEROS TRES COMPONENTES

(Valores < 0.25 obviados para una mejor interpretación visual)

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Argiudoles típicos	0.791	—	—
Fisiografía	0.773	—	—
Natracuoles	-0.753	—	-0.454
Anegabilidad	-0.642	-0.380	—
Pendiente	0.555	-0.316	—
Hapludoles líticos	0.525	—	—
Lluvias	—	0.749	—
Complejos indif.	—	0.697	—
Natracualf típicos	—	—	0.922
Natracualf mólicos	—	—	—
Argiudoles líticos	—	—	—
Orientación	—	—	—
Argialboles	—	0.474	—

Para la realización de este paso, se recurrió a un agrupamiento de los escores factoriales de los tres primeros ejes de componentes, mediante un análisis de agrupamiento (*Cluster Analysis, Host et al. 1996*), con el objetivo de agrupar en intervalos homogéneos los valores de escores factoriales (Fig. 17).

Región 1: Cubre un área de aproximadamente 776,6 km². Predominan los subgrupos edáficos de Natracuoles y Natracualfes típicos, en ambientes de planicies de derrame. El relieve en general es de pendientes bajas, presentando los máximos índices de anegabilidad. La orientación es hacia los tramos de los distintos arroyos que surcan esta zona.

Región 2: Cubre un área de aproximadamente 835,3 km². Predominan absolutamente los Natracuoles, en ambientes de planicies de derrame y llanuras aluviales. Las pendientes del relieve son bajas, con alta anegabilidad, y la orientación es hacia el arroyo del Azul.

Región 3: Cubre un área de aproximadamente 972,8 km². Se presentan los subgrupos edáficos de Natracuoles y Natracualfes típicos, en ambientes de planicies de derrame y llanuras aluviales. Las pendientes son muy bajas, con los máximos valores de anegabilidad y la orientación es casi plana.

Región 4: Cubre un área de aproximadamente 1383,3 km². Se presentan los subgrupos edáficos de Argiudoles típicos, Argialboles, Hapludoles líticos y Complejos indiferenciados. Los ambientes fisiográficos son muy variados: llanuras aluviales y planicies de derrame, al norte; y ambientes serranos, periserranos y

afloresamientos rocosos, al sur. Las pendientes son las menores del área, al norte; y las mayores, al sur. La anegabilidad es mínima, y la orientación es hacia el arroyo del Azul (al sur) y casi plana (al norte).

Región 5: Cubre un área de aproximadamente 570,3 km². Predominan los suelos Argialboles y Natracuoles, en ambientes fisiográficos de acumulación-deflación y planicies de derrame. Las pendientes son bajas, la anegabilidad es máxima, y la orientación es hacia los distintos arroyos que surcan la zona.

Región 6: Cubre un área de aproximadamente 1555,2 km². Se presentan los subgrupos edáficos de Argiudoles típicos y Natracualfes mólicos, en ambientes de piedemonte y planicies de derrame. Las pendientes presentan los valores medios de la zona, la anegabilidad es mínima, y la orientación es hacia el arroyo del Azul y sus tributarios.

4. CONCLUSIONES

La regionalización es el paso inicial del diagnóstico y la evaluación en los estudios ambientales. Responde a la necesidad de aplicar políticas de corrección, control o mejoramiento ante situaciones críticas del ambiente, ya que permite localizar los problemas y analizar espacialmente la estructura y el funcionamiento del territorio en cuestión.

La elección del ACP se debió a que dicha técnica permitió, por un lado, usar un reducido número de componentes que

FIGURA 16: IMAGEN COMPUESTA DE LOS ESCORES FACTORIALES PERTENECIENTES A LOS PRIMEROS 3 COMPONENTES DEL ACP

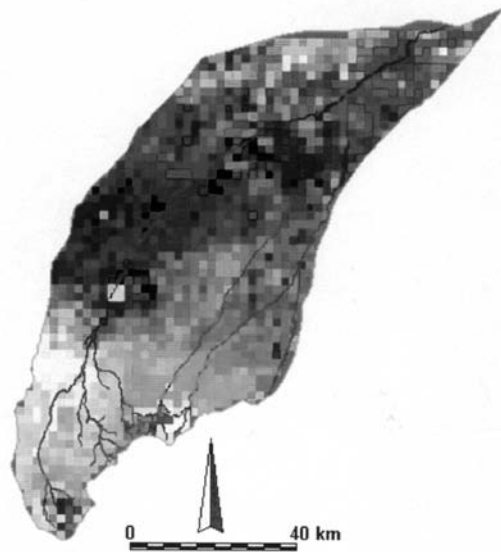
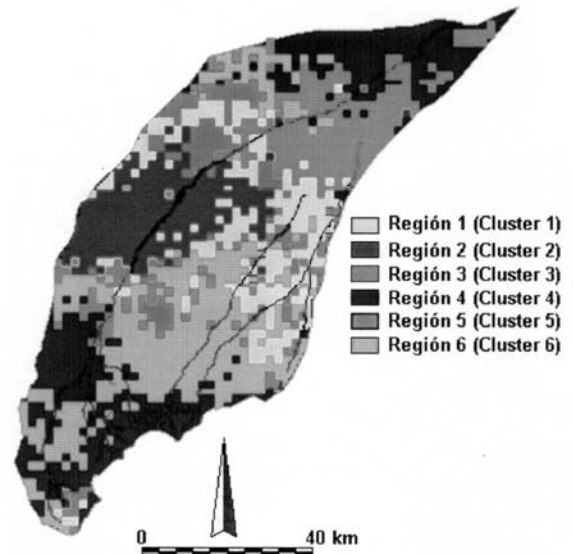


FIGURA 17: AGRUPAMIENTO DE VALORES DE LOS ESCORES FACTORIALES DE LOS 3 PRIMEROS COMPONENTES



contienen la influencia de todas las variables originales, e identificar y desechar aquellas menos significativas y, por otro lado, posibilitó el desarrollo de una regionalización objetiva y dinámica, pudiéndose realizar nuevos análisis a partir de nuevos objetivos o a la disponibilidad de nuevas variables.

La metodología utilizada, junto a la inclusión en el conjunto de variables de aquellas de importancia agroecológica, ofreció la oportunidad de contar con una regionalización que podrá ser ajustada *a posteriori* de acuerdo a las tendencias en el uso de la tierra y/o cambios en las variables climáticas, o servir

como base para la creación de planes maestros de uso de la tierra (Van der Velden *et al.* 1994). Por otro lado, el uso de un SIG resultó indispensable ya que, además de la descripción, interesaba el modelado y manejo de las complejas relaciones presentes en los agroecosistemas.

En conclusión, en esta regionalización se presenta una combinación de herramientas objetivas para la evaluación y caracterización de zonas que poseen abundante información disponible pero no sistematizada y escasamente procesada, usando bases teóricas ecológicas.

5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BAILEY, R. G. 1983.
Delineation of ecosystem regions.
Environmental Management, 7 (4):365-373.
- BERAN, M. A., M. BRILLY, A. BECKER Y O. BONACCI (ED.). 1990.
Regionalization in Hydrology.
IAHS, publicación N° 191. 260 pp.
- BURROUGH, P. A. 1986.
Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment.
Oxford University Press. 194 pp.
- DE PABLO, C. L., NICOLÁS, J. P. Y PINEDA, F. 1983.
Diseño de un Sistema de Información para la planificación ambiental.
Informe del Equipo Coordinador 1. Dirección General de Medio Ambiente, Ministerio De Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- EASTMAN, J. R. 1997.
IDRISI - A grid based geographic analysis system.
Clark University, Graduate School of Geography, Worcester, Massachusetts 01610-1477.
- GALLOPÍN, G. C. 1982.
Una metodología multivariable para la regionalización ambiental-I.
Bases Metodológicas. Ecología Argentina, N° 7, 161-76.
- HARMAN, H. 1976.
Modern Factor Analysis.
The Univ. Chicago Press, Chicago, 487 pp.

- HOST, G. E., P. L. POLZER, K. J. MLADENOFF, M. A. WHITE Y T. R. CROW. 1996.
A quantitative approach to developing regional ecosystem classifications.
Ecological Applications, 6 (2): 608-618.
- HUGHES, R. M. Y D. P. LARSEN. 1988.
Ecoregions: an approach to surface water protection.
Journal Water Pollution Control Federation, 486-493.
- IGM. 1953, 1954 Y 1955.
Cartas topográficas, 1:50000.
Publicaciones del Instituto Geográfico Militar.
- INTA. 1992.
Cartas de Suelos, 1:50000.
Publicaciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina.
- ITC. 1998. ILWIS 2.2. The Integrated Land and Water Information System: User's Manual.
Computer Dept, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Enschede, The Netherlands.
- MABBUTT, G. A. 1968.
Review of concepts of land classification.
En Land Evaluation (G. A. Stewart, ed.), Mc Millan, Melbourne.
- NATHAN, R. J. Y T. A. MCMAHON. 1990.
Identification of Homogeneous Regions for the purposes of Regionalisation.
Journal of Hydrology, N° 121, 217-238.
- PISCITELLI M. Y SFEIR A., 1993.
Descripción físico-geográfica del partido de Azul y de las principales limitantes para el uso y manejo de sus tierras. En prensa:
Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- ROWE, J. S. Y J. W. SHEARD. 1981.
Ecological land classification: a survey approach.
Environmental Management 5:451-464.
- SOIL TAXONOMY, 1975.
A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.
Soil Survey Staff. Soil Conservation Service. U.S. Dep. of Agric.
- VAN DER VELDEN, M., J. VAN VALCKENBORG, J. VAN ORSHOVEN, K. SMETS, A. GRILLET, L. HUBRECHTS, J. A. DECKERS, D. VAN DEN BROUCKE Y J. FEYEN. 1994.
A support system for planning sustainable agricultural land use in Flanders.
En The future of the Land: Mobilising and integratin knowledge for land use options. Cap. 20. Ed. L. O. Fresco, L. Stroosnidjer, J. Bouma y H. van Keulen. John Wiley and sons Ltd.



Estudio experimental de la influencia de mezclas de sedimentos arenosos bimodales en el proceso de socavación de estribos de puentes

Fernández, Sandra

Resumen

En el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid se realizaron ensayos sistemáticos de erosión en estribos de puentes, bajo condiciones de aguas claras. Una consideración importante al diseñar un estribo radica en predecir la profundidad máxima de erosión con el fin de evitar que las cimentaciones de los apoyos de los puentes sean descalzadas por las aguas.

En base a la bibliografía consultada, la experimentación realizada en laboratorio es extensa en lo que se refiere a rangos de longitudes y formas de estribos y granulometrías correspondientes a los sedimentos del lecho uniformes y mezclas lognormales con distintos valores de d_{50} y desvío estándar, sin embargo no se han encontrado experiencias en mezclas bimodales. Considerando que la granulometría del sedimento del lecho de numerosos ríos, particularmente aquellos que contienen arena y grava, difieren significativamente de la lognormal siendo en muchos casos, completamente bimodales o multimodales, se juzgó oportuno estudiar el comportamiento de la erosión local en estribos de puentes en mezclas de sedimentos bimodales.

En un canal de lecho móvil, se hicieron más de setenta ensayos con cuatro mezclas de arena y grava; dos con una distribución granulométrica bimodal y dos unimodales, compuestas exclusivamente de arena o grava. Elegida una de las mezclas de sedimentos no cohesivos como material del lecho del canal, se colocaron modelos de estribos de diferente longitud y ancho en la margen derecha del canal en tres ángulos diferentes con respecto a la dirección del flujo.

Se estudió la forma de la cavidad de erosión y el valor y la posición de la máxima profundidad de erosión. Para esto se concibió una técnica que consiste en definir curvas de nivel a partir de fotografías sucesivas de la cavidad.

La experimentación y el uso del Análisis dimensional permitieron comparar y analizar las diferencias de profundidades de erosión en las distintas mezclas. Además, se pudo observar el efecto de acorazamiento que provoca la distribución de tamaños de granos de las mezclas bimodales.

De manera novedosa, se emplea la técnica del Análisis dimensional discriminado y sobre esta base se presenta una ecuación que permite estimar la erosión más desfavorable para el conjunto de ensayos realizados.

1. INTRODUCCIÓN

Los resultados de este trabajo forman parte de las tareas de investigación de una tesis doctoral (Fernández 2000), cuyo

objetivo general era observar y tratar de cuantificar la influencia de la granulometría bimodal en las profundidades de erosiones locales alrededor de estribos de puentes bajo ciertas condiciones.

Relacionado con estas socavaciones que se producen en los estribos de los puentes fluviales, una consideración importante al diseñar un estribo radica en predecir la profundidad máxima de erosión con el fin de evitar que las cimentaciones de los apoyos de los puentes sean descalzadas por las aguas.

Entregado: 14 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 01 de Octubre de 2001

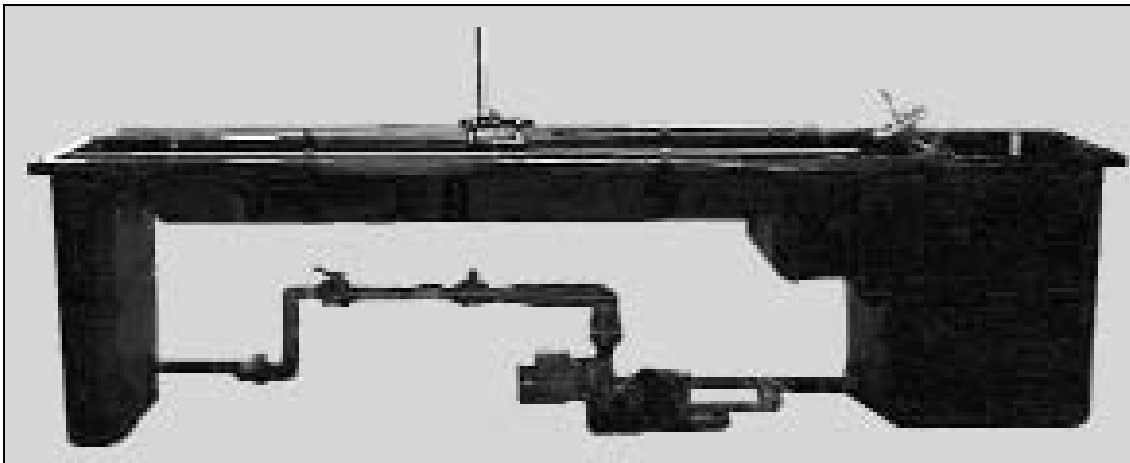
Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Alem 1253. (8000) Bahía Blanca. Argentina.

e-mail: sanfer@criba.edu.ar

En relación a la experimentación en laboratorio realizada hasta el momento, la misma es extensa en lo que se refiere a rangos de longitudes y formas de estribos, coeficientes de contracción, y sedimentos del lecho con granulometrías uniformes o mezclas lognormales con distintos valores de tamaño medio y desvío estándar. Sin embargo, no se han encontrado experiencias en mezclas bimodales, en virtud de lo cual y considerando que la granulometría del sedimento del lecho de numerosos ríos difiere significativamente de las distribuciones normal y lognormal, siendo en muchos casos bimodales o multimodales (*Sambrook Smith, 1996*), se juzgó de interés estudiar el comportamiento de la erosión local en estribos de puentes en mezclas de sedimentos bimodales.

Con este fin se llevaron a cabo ensayos variando la granulometría del sedimento del lecho del canal, el caudal de entrada en el canal de experimentación, la longitud, el ancho y el ángulo de inclinación de los obstáculos con respecto a la dirección del flujo.

FIGURA 1: MODELO DE LECHO MÓVIL UTILIZADO



Sedimento

En el presente trabajo sobre socavación de estribos, interesa el movimiento de partículas sólidas bajo la acción del flujo, teniendo en cuenta solamente la existencia de fuerzas de resistencia de carácter físico. Es decir, fuerzas relacionadas con la partícula sólida en su comportamiento físico en respuesta a la acción de las fuerzas viscosas, su interacción física con los granos de alrededor, su encaje, el grado de exposición al flujo y escondimiento, provocados por la interacción de granos de distintos tamaños. Asimismo, se parte del supuesto que no se producen fuerzas de cohesión entre las partículas con magnitud suficiente, como para que se produzca un efecto de resistencia de naturaleza química.

El hecho de utilizar sedimento en su estado físico natural permite la obtención de resultados vinculados con la realidad del cauce fluvial. La ausencia del efecto cohesivo permite resaltar el comportamiento del transporte sólido fluvial, teniendo en cuenta el hecho de que el material sólido está sometido solamente a efectos de naturaleza física por la interacción de las partículas.

El material sólido utilizado consistió en material granular natural geológicamente desgastado, con un grado de redondez igual a 0.7, proveniente de las orillas del río Manzanares. La muestra del material sólido presenta partículas con forma esférica y redondeada, con factor de forma de 0.7, aunque es posible notar un pequeño porcentaje de granos de pequeño tamaño

En base a los resultados y con la ayuda de la técnica del análisis dimensional se buscaron relaciones que expliquen y permitan estimar la erosión más desfavorable para la amplia gama de ensayos realizada.

2. METODOLOGÍA UTILIZADA

Los experimentos fueron realizados en el Laboratorio de Hidráulica de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid en los años 1999 y 2000. Dicho laboratorio dispone de un canal llamado "modelo de lecho móvil", de aproximadamente 300 cm de longitud, que consta de un tanque de quietamiento, sección de trabajo y tanque de descarga que recibe un vertedero regulable. La sección de trabajo es un tanque plano de sección rectangular, de 213 cm de longitud, 61 cm de ancho y 14 cm de profundidad, en cuyo fondo se puede ubicar una capa de material granular de 7 cm de espesor (Fig. 1).

(diámetro medio aproximado de 0.6 mm), con formato laminar y color negro. Dichas fracciones han demostrado un comportamiento diferente en lo que se refiere al movimiento, lo que está relacionado con su forma y peso específico. El peso específico medio de la partícula sólida adoptado en este trabajo es de 2620 kg/m³, valor ampliamente utilizado por otros autores.

Teniendo en cuenta la necesidad de investigar el efecto de la granulometría en la erosión alrededor de estribos de puentes, se construyeron artificialmente 4 mezclas de material sólido con características granulométricas sensiblemente diferentes. Las composiciones de las mezclas utilizadas se detallan en la Tabla 1.

Mezcla M1: Esta mezcla es del tipo unimodal y está compuesta sólo de partículas de arena. La representación de su curva granulométrica resulta prácticamente una recta vertical y por lo tanto no se dibuja.

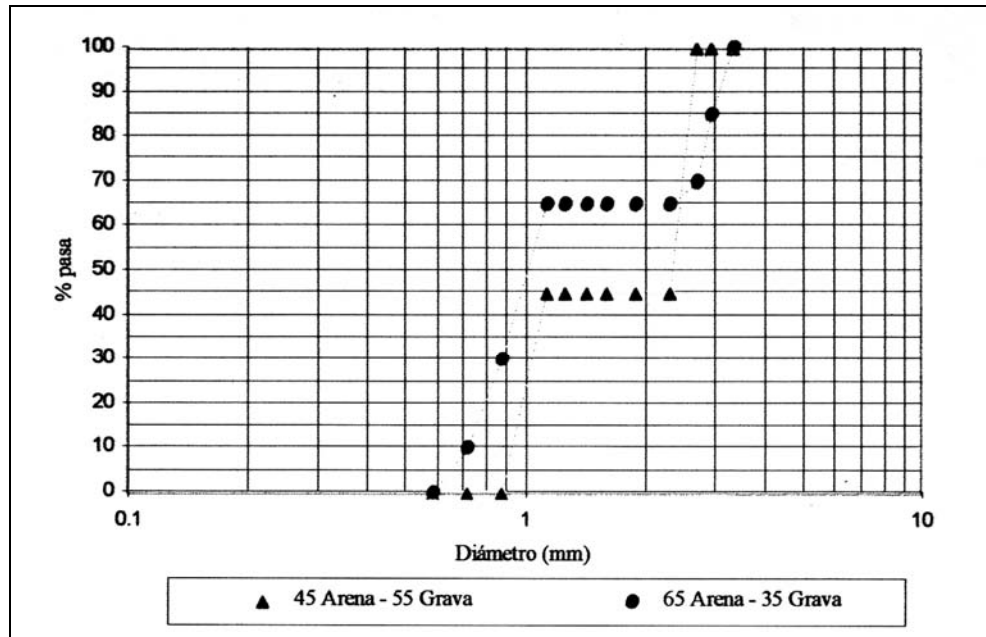
Mezcla M2: Esta mezcla es del tipo unimodal y está compuesta sólo de partículas de grava. La representación de su curva granulométrica resulta prácticamente una recta vertical y por lo tanto no se dibuja.

Mezcla M3: Esta mezcla es bimodal pura, posee un modo grueso compuesto de grava y un modo fino compuesto de arena, su característica principal es que el modo de grava es el dominante. Esta mezcla utiliza un 55% de la grava de la mezcla M2 unimodal y un 45 % de la arena de la mezcla unimodal M1 (Fig. 2 y 3).

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS ENSAYADOS

Sedimento	Identificación	Características
Arena muy gruesa	Uniforme M1	$0.88 \text{ mm} < d < 1.14 \text{ mm}$
Grava muy fina	Uniforme M2	$2.33 \text{ mm} < d < 2.72 \text{ mm}$
Arena 45% - Grava 55 %	Mezcla bimodal M3	$d_{50} = 2.4 \text{ mm}$. Modas: 0.88 mm y 2.33 mm.
Arena 65% - Grava 35 %	Mezcla bimodal M4	$d_{50} = 1 \text{ mm}$. Modas: 0.88 mm y 2.85 mm.

FIGURA 2: DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE MEZCLAS BIMODALES



Mezcla M4: Esta mezcla es bimodal pura, posee un modo grueso compuesto de grava y un modo fino compuesto de arena, su característica principal es que el modo de arena es el dominante (Fig. 2 y 4).

Modelo de estribo

Los estribos, fabricados de acrílico (1 cm de espesor) y con forma de pared vertical, forman ángulos de 45° y 135° con la dirección del flujo, tienen longitudes "L" = 5, 10, 15 cm y anchos "a" = 5, 10 cm. Con la mezcla M4, además, se ensayaron estribos de madera pintada, de ancho $a = 3 \text{ cm}$. En la Fig. 5 se

muestran tres modelos diferentes de estribos de madera y de acrílico. En las Figs. 6 y 7 se indentifican las posiciones de los estribos, que se denominarán aguas arriba (135°) y aguas abajo (45°).

Experimentos

Interesaba conocer el transporte sólo en la vecindad del estribo, por lo tanto, el estudio experimental realizado abordó ensayos de erosiones locales junto a modelos de estribos con fondo móvil sin transporte sólido generalizado, es decir, que las velocidades medias (V) logradas a la entrada del canal eran menores que la velocidad de inicio del movimiento del grano del

FIGURA 3: TEXTURA MEZCLA BIMODAL M3

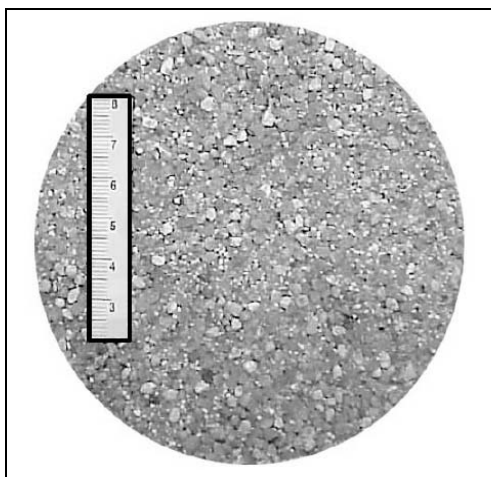


FIGURA 4: TEXTURA MEZCLA BIMODAL M4

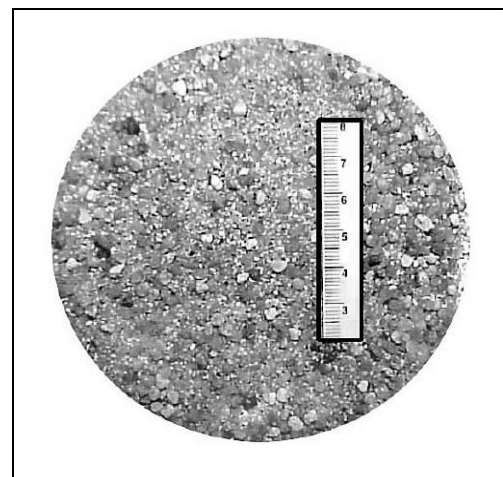


FIGURA 5: MODELOS DE ESTRIBOS DE MADERA Y METACRILATO

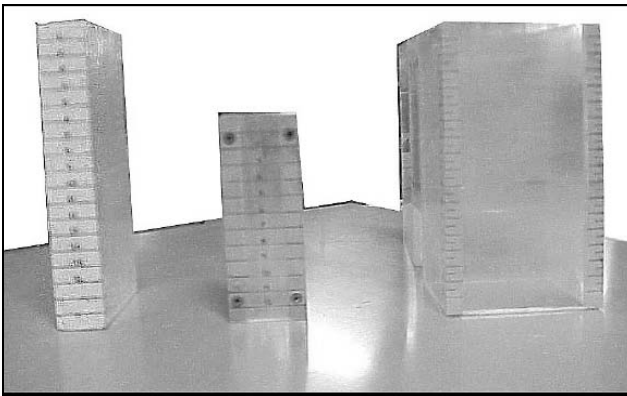
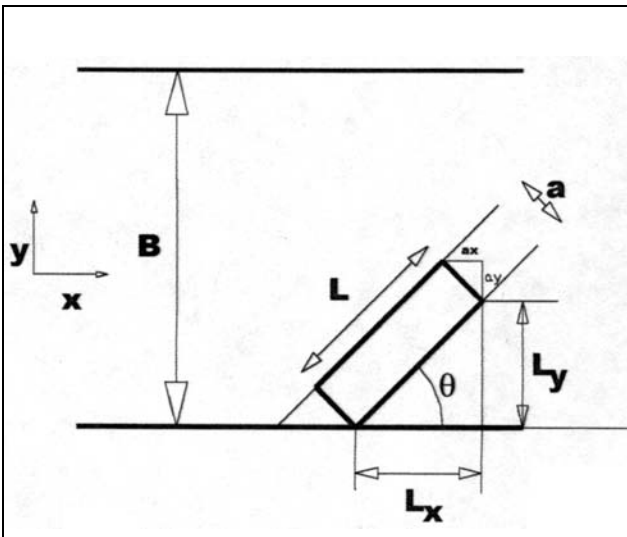


FIGURA 8: ESQUEMA DE LA UBICACIÓN DEL ESTRIBO EN EL CANAL (PLANTA)



sedimento del lecho (V_c). El régimen de flujo en el tramo de estudio era del tipo sub-crítico, con un número de Froude menor que la unidad, en canal rectilíneo y rectangular.

Una vez determinada la pendiente del fondo del lecho, correspondiente al régimen uniforme, en base al tipo de sedimento y el caudal de diseño para una relación V/V_c deseada, se procedió a nivelar el lecho de arena. La tarea se dividió en 4 series, una por cada mezcla de sedimento, que fueron ejecutadas secuencialmente variando en ellas la inclinación y el tamaño de los estribos.

Se colocó el modelo de estribo en un costado de la pared del canal a una distancia no influenciada por las perturbaciones de la sección de entrada. El agua se recirculaba sobre el lecho, impulsada por una bomba centrífuga, y el calado en el lecho era controlado por un vertedero de altura variable en el extremo aguas abajo de la sección de trabajo. No hubo recirculación de caudal sólido ya que se debían crear condiciones de flujo sin transporte generalizado. Periódicamente se midió la temperatura del agua con un termómetro de mercurio.

Cuando se alcanzaba la profundidad de erosión de equilibrio, momento en el cual el descenso del lecho resultaba demasiado lento para registrarlo con el equipo disponible, el flujo se disminuía lentamente, para no perturbar las características de la erosión, hasta desconectar la bomba y dar por finalizado

FIGURA 6: ESTRIBO COLOCADO A 135° (AGUAS ARRIBA)

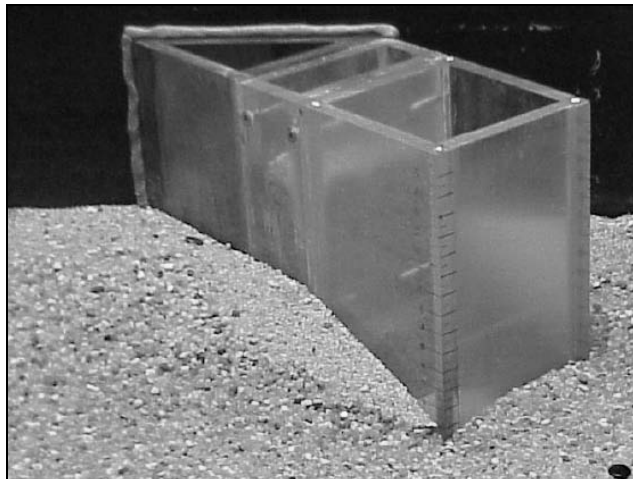
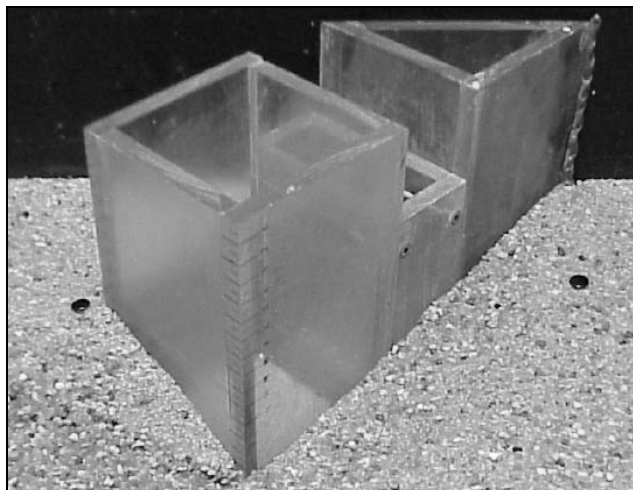


FIGURA 7: ESTRIBO COLOCADO A 45° (AGUAS ABAJO)



el ensayo. Se realizaron lecturas de la superficie del lecho, lecturas de las profundidades de socavación en la nariz del estribo y otros puntos significativos. Las lecturas del lecho se tomaron al inicio y al final del experimento, usando un limnómetro de punta montado en un carro móvil que se desplazaba sobre rieles colocados en la propia estructura del canal. Además, fue posible observar la evolución en el tiempo del proceso erosivo en la nariz del estribo con el recurso de reglas adosadas tanto en la cara de aguas arriba como en la de aguas abajo.

Para estudiar la forma de la cavidad de erosión y la posición de la máxima profundidad de erosión, fue necesario realizar el levantamiento completo de su topografía. Para esto se concibió una técnica que consiste en definir curvas de nivel a partir de fotografías sucesivas de la cavidad de erosión conteniendo agua a niveles predeterminados entre 0.5 y 1 cm. Las fotografías fueron logradas con una cámara digital SONY Mavica FD91 que graba directamente las fotografías como archivos en un disco de 3 1/2. La cámara digital va adosada a un carro que se puede desplazar a lo largo del canal y con un sistema de sujeción que le permite hacer coincidir el eje óptico vertical con el borde vertical del espigón. Una fuente luminosa suspendida desde el techo provoca una reflexión en el menisco cóncavo permitiendo de este modo que el contorno esté siempre visible.

A partir de las fotografías obtenidas, se digitalizaron las curvas de nivel correspondientes a cada ensayo con el auxilio de un software adecuado. La cota cero de referencia corresponde al fondo del lecho en la sección del obstáculo antes de iniciarse el ensayo. Esta técnica para trazar curvas de nivel resultó ser más expeditiva y rigurosa que la clásica de fotografías de curvas de nivel materializadas con hilos de lana. En taludes bastante inclinados, como los de cavidades de erosión en la vecindad de obstáculos es difícil fijar los hilos.

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para el caso concreto de erosión en estribos de puentes, las variables que normalmente forman parte del problema son las siguientes:

B: ancho del canal; L: longitud del estribo; a: ancho del estribo; K : parámetro que describe la forma del estribo; K_S : parámetro que describe la alineación del estribo; V: velocidad media del flujo en la sección no contraída; y: calado en la sección no contraída; ρ : densidad del fluido; γ : peso específico del agua; ν : viscosidad cinemática; ρ_s : densidad del sedimento; d_{50} : tamaño medio de la distribución granulométrica del sedimento; σ_g : desvío estándar de la distribución granulométrica del sedimento; S_f : factor de forma de las partículas; V_c : velocidad media del flujo a la cual se pone en movimiento el sedimento; g: aceleración de la gravedad; t: tiempo.

Dado el elevado número de parámetros en juego, fue necesario eliminar algunos de ellos, con el objeto de tornar accesible la verificación experimental. Algunos de estos parámetros no fueron considerados, por admitir que su influencia era secundaria y otros fueron eliminados, por decidir simplificar el problema, no estudiando en esta etapa la influencia de las variables correspondientes. Con esta premisa y en base al objetivo principal del presente estudio, la máxima profundidad de erosión "e" medida a partir de la superficie de fondo en condiciones de flujo no perturbado es la variable que interesa estudiar y se puede expresar de la forma:

$$f(e, \rho, \gamma, K_M, V, y, L, a) = 0 \quad (1)$$

Las variables d_{50} y σ_g fueron reemplazadas por un factor K_M que identificaba las distintas mezclas.

Las fórmulas dimensionales de las magnitudes que intervienen en el proceso de erosión, considerando la discriminación de las dimensiones del espacio (Arenas, A.; Herranz, A. 1989), son :

$$\begin{aligned} [e] &= L_z & [V] &= L_x T^{-1} & [y] &= L_z & [L_x] &= L_x \\ [L_y] &= L_y & [a_x] &= L_x & [a_y] &= L_y & [K_M] &= M L_x^{-1} L_y^{-1} L_z^{-1} \\ [\gamma] &= M L_x^{-1} L_y^{-1} T^{-2} \end{aligned}$$

- donde a_x : proyección del ancho del estribo según la dirección del flujo
- a_y : proyección del ancho del estribo según la dirección perpendicular al flujo
- L_x : proyección de la longitud del estribo según la dirección del flujo
- L_y : proyección de la longitud del estribo según la dirección perpendicular al flujo

El problema es calcular el número total de monomios que pueden formarse con las variables que intervienen en el fenómeno en cuestión. Los siguientes factores de forma se pueden considerar ya como monomios y se calcula el resto de los monomios con el resto de las variables.

$$\begin{aligned} 1 &= e / y \\ 2 &= L_x / a_x = (L \cos \theta) / (a \sin \theta) \\ 3 &= L_y / a_y = (L \sin \theta) / (a \cos \theta) \\ 4 &= K_M \end{aligned}$$

Considerando como variables repetibles $\rho, \gamma, V, y, a_x, a_y$, el teorema de Boffa ofrece la solución :

$$\frac{e}{y} = \varphi \left(\frac{V^2}{g \frac{a_x^2}{y}}, \frac{L}{a}, K_M \right) \quad (2)$$

Para los valores de $\theta = 45^\circ$ y 135° , resulta que 2 y 3 se reducen al valor L/a indistintamente para ambas posiciones del estribo.

La definición de la función φ está fuera del alcance del Análisis dimensional. Para eso fue necesario la observación directa del fenómeno físico en laboratorio y con esas observaciones fue posible definir las distintas relaciones entre parámetros.

Para mayor comodidad, en adelante, llamaremos Fr al monomio adimensional

$$\sqrt{\frac{V^2}{g \frac{a_x^2}{y}}}$$

que tiene la forma de un número de Froude. Este número de Froude tiene como elemento original la introducción del efecto del ancho del estribo (a_x), además de la velocidad (V) y el calado del flujo de entrada (y), ya previamente considerados por otros autores. Las anteriores fórmulas no reflejan las lógicas variaciones de la erosión en relación a la dimensión ancho del estribo.

Análisis de la influencia de los diversos factores que condicionan la erosión local

A partir de la relación (2) obtenida por el Análisis dimensional discriminado se analizó la influencia de los factores que intervienen en la erosión alrededor de obstáculos. La profundidad de erosión tiene gran interés práctico pues es ella quien condiciona el dimensionamiento de las cimentaciones de los estribos del puente.

De un total de 42 ensayos, 36 de ellos fueron realizados con modelos de acrílico de 1 cm de espesor y los 6 restantes (relacionados con la mezcla M4) utilizaron modelos de madera pintada de 3 cm de ancho combinados con longitudes de estribo de 15 y 10 cm únicamente.

Para un mejor entendimiento de los gráficos que se presentarán a continuación, se detalla mediante el empleo de la Tabla 2, el programa de ensayos en el que se variaron sistemáticamente ciertas características del material del fondo y la longitud, el ancho y la inclinación del estribo. En la Tabla 3 se muestran las combinaciones de la relación L/a que se utilizaron. Por ejemplo, cuando se hace mención a la relación L/a igual a 5-3-1.5, se hace referencia a los estribos que poseen una longitud de 15 cm y un ancho de 3 ó 5 ó 10 cm.

En cada gráfico (Figuras 9 a 12) se representa, en sistema de coordenadas aritméticas, la variación de la erosión relativa e/y (en ordenadas) con el monomio Fr (en abscisas) para cada mezcla de sedimento e inclinación del estribo ($\theta = 45^\circ$ ó $\theta = 135^\circ$).

- Estas representaciones permiten verificar las conclusiones de otros investigadores en relación a la variación de e/y con respecto a la longitud del estribo. Se observa, en todas las

TABLA 2: RANGOS DE LOS PARÁMETROS ENSAYADOS

Parámetro		Rango
Sedimento (M)	M1: uniforme de arena muy gruesa	$0.88 < d_{50} \text{ (mm)} < 1.14$
	M2: uniforme de grava muy fina	$2.33 < d_{50} \text{ (mm)} < 2.72$
	M3: mezcla bimodal de arena 45% - grava 55 %.	$d_{50} = 2.4 \text{ mm}$
	M4: mezcla bimodal de arena 75% - grava 25 %	$d_{50} = 1 \text{ mm}$
Longitud estribo (L)		$L = 15 \text{ cm}, 10 \text{ cm}, 5 \text{ cm}$
Ancho del estribo (a)		$a = 10 \text{ cm}, 5 \text{ cm}, 3 \text{ cm}$
Inclinación del estribo (θ)		$\theta = 45^\circ 135^\circ$

TABLA 3: COMBINACIONES DE LA RELACIÓN L/A

L	a	L/a
15	3	5
	5	3
	10	1.5
10	3	3.3
	5	2
	10	1
5	5	1
	10	0.5

mezclas y para todas las inclinaciones de estribo, el aumento de la erosión relativa (e/y) a medida que aumenta la longitud del estribo (L), es decir, a medida que aumenta la obstrucción del flujo con respecto a un ancho fijo de canal.

- A medida que Fr^* aumenta, para "V" e "y" constantes, "ax" disminuye (del valor "10*sen 45°" al valor "5*sen 45°", por ejemplo), entonces el lecho se comporta como rugosamente relativo al ancho del estribo. En este caso "e/y" disminuye debido a que aumenta la capa rugosa y la porosidad disipa más energía dentro del pozo de erosión.
- En general, se observa una tendencia al aumento de la erosión relativa con el aumento del ancho del estribo (Froude disminuye) en estribos inclinados, variando su porcentaje según sea la inclinación y la longitud del estribo. La erosión relativa llega a duplicarse en algunos casos, por ejemplo, para estribos aguas arriba con una relación de $L/a = 2-1$, en la mezcla M3.
- Estas tendencias ponen en evidencia los cambios en la disposición de los vórtices de estela alrededor del estribo. A medida que "L/a" aumenta ("L" se mantiene constante), los vórtices del costado y de estela se aproximan hasta que los vórtices del costado desaparecen fusionándose con los vórtices de estela. Cuando esto ocurre, la erosión relativa "e/y" disminuye, debido a que la interacción entre el vórtice de estela y del costado es probablemente un factor significativo influyente en la erosión.

M1 (arena uniforme) y M4 (bimodal)

- Si se comparan las mezclas M1 y M4, que poseen un d_{50} similar ($d_{50} = 1 \text{ mm}$), se manifiesta un comportamiento disímil entre ambas. Para el rango de condiciones experimentadas, la erosión en la mezcla M1 es siempre mayor que en la M4. Esto lo relacionamos con el efecto de acorazamiento que

provoca la distribución de tamaños de granos de la M4, que corresponde a una mezcla bimodal, en oposición a la M1, la cual prácticamente no presenta variedad de tamaños de grano, siendo su curva granulométrica casi una recta vertical.

En el cuadro comparativo que muestra la Tabla 4, para estribos inclinados (tanto aguas arriba (135°), como aguas abajo (45°)) se cumple lo siguiente:

- La diferencia de profundidades de erosión entre las mezclas M1 y M4 alcanza valores importantes, oscilando entre un 82% a 52% en estribos a 45° y entre un 60% a 56 % en estribos a 135° .
- La diferencia de profundidades de erosión entre las mezclas se incrementa cuanto mayor es la contracción, es decir, cuanto mayor es la longitud del estribo con respecto al ancho del canal.

M2 (grava uniforme) y M3 (bimodal)

En las representaciones de las Figs 9 y 10, se puede observar:

Para estribos colocados a 135° , la erosión relativa (e/y) que se produce en la mezcla M2 es siempre mayor que la producida en la mezcla M3, tanto en estribos de 5 cm de ancho, como en aquellos de 10 cm. Estas diferencias de erosión relativa son más pronunciadas en el caso de longitudes de estribos de 5 cm.

En el caso de estribos colocados a 45° , en aquellos de ancho $a = 10 \text{ cm}$, la erosión relativa es mayor en la M2 que en la M3, sin embargo, en estribos modelados con 5 cm de ancho, se produce una mayor erosión relativa en la M3.

M3 (bimodal) y M4 (bimodal)

Continuando con el análisis de los gráficos de las Figuras 11 y 12, se contrastaron las erosiones relativas provocadas por los distintos tipos de estribos en las mezclas bimodales M3 y M4 pudiendo comprobarse lo siguiente:

Se nota, en general, una tendencia de erosiones mayores en la M3 con respecto a M4 en el caso de estribos que forman 135° con longitudes de 15 cm y 10 cm. Esta superioridad es algo más notoria en los estribos que forman 45° llegando a un 20% según las condiciones.

Sin embargo, para estribos de 5 cm de longitud se observa una inversión de los resultados, es decir, las erosiones en la mezcla M4 superan las erosiones en la mezcla M3, tanto para ángulos de 45° como 135° .

En este punto del informe, se hará mención de los trabajos realizados por Cunha (1973) para conocer las condiciones

TABLA 4. CUADRO COMPARATIVO ENTRE MEZCLAS M1 Y M4

θ (°)	a (cm)	L(cm)	Sedimento	e/y	Diferencia M1-M4	% M4
135	5	15	M1	2.024	0.756	60
			M4	1.268		
135	5	10	M1	1.408	0.505	56
			M4	0.903		
45	5	15	M1	1.855	0.837	82
			M4	1.018		
45	5	10	M1	1.189	0.409	52
			M4	0.78		

en las cuales la profundidad de erosión “e” es independiente del ancho del lecho del canal “B”, o lo que es lo mismo, verificar las condiciones de independencia entre “e” y la relación de contracción $\alpha = (B - L_y) / B$; donde L_y es el ancho del lecho obstruido por la proyección del obstáculo en la dirección normal al flujo. Cunha arriba a la conclusión que, para ensayos bajo condiciones de aguas claras y longitudes de estribos L_y que provocan una relación $\alpha > 0.9$, la profundidad de erosión es independiente del coeficiente de contracción, en cambio si la longitud de los estribos es tal que, $\alpha < 0.9$, la erosión crece cuando disminuye.

En base a las conclusiones de las investigaciones de Cunha, se considera que en el presente trabajo, la profundidad de erosión será independiente del coeficiente de contracción ($\alpha > 0.90$) únicamente en los ensayos correspondientes a estribos de 5 cm de longitud. Con todo esto, se podría explicar el comportamiento en los resultados de la erosión expresado en el párrafo anterior.

Consideración de la influencia conjunta de algunos factores que condicionan la erosión local

Habiéndose ilustrado, de manera independiente, el tipo de influencia de diversos factores sobre la profundidad de erosión local junto a estribos, posteriormente, se procedió a valorar su influencia conjunta; considerando agrupadamente los distintos factores, con el objetivo de establecer criterios de proyecto.

Al estudiar los resultados de los ensayos y las líneas de tendencias, parece adecuado tratar de expresar “e/y” en función del producto de monomios Fr y L/a, para cada combinación del ángulo de inclinación del estribo “ θ ”, de la longitud del estribo “L” y de la mezcla de sedimento que conforma el lecho.

La fórmula que se puede proponer como síntesis de los experimentos es la siguiente:

$$\frac{e}{y} = C \frac{\left(\frac{L}{a}\right)^{3/4}}{Fr}$$

donde C es una constante característica que depende de la naturaleza de la mezcla y de la orientación de los estribos. Es decir, se podría representar como: $C(K_M, \theta)$. El rango de C queda muy delimitado, comprendido entre $0,168 < C < 0,435$.

La precisión de la fórmula es muy buena. Sólo algunas medidas de las 48, se alejan un poco más de lo previsto de la fórmula, pero no son significativas.

4. CONCLUSIONES

En base a los resultados experimentales obtenidos y el posterior análisis de los mismos, se concluye lo siguiente:

$$Fr = \sqrt{\frac{V^2}{g \frac{a_x^2}{y}}}$$

Que el ancho del estribo es una variable que explica una parte significativa de la variabilidad observada en la profundidad de erosión. En virtud de lo cual, se propone para el caso de estribos inclinados (45° y 135°) un nuevo número de Froude:

En general, se verifica una tendencia al aumento de la e/y con el aumento del ancho del estribo en estribos inclinados, variando su porcentaje según sea la inclinación y la longitud del estribo. La erosión relativa llega a duplicarse en algunos casos. Estas tendencias ponen en evidencia los cambios en la disposición de los vórtices de estela alrededor del estribo.

La representación de los resultados de los ensayos permiten verificar las conclusiones de otros investigadores con respecto a la variación de e/y con respecto a la longitud del estribo. Se observa en todas las mezclas y para todas las inclinaciones de estribo ensayadas, el aumento de la erosión relativa (e/y) a medida que aumenta la longitud del estribo (L); es decir, a medida que aumenta la obstrucción del flujo con respecto a un ancho fijo de canal.

Para el rango de condiciones experimentadas, la erosión en la mezcla M1 (arena uniforme) es siempre mayor que en la M4 (arena 65% - grava 35%). Esto lo relacionamos con el efecto de acorazamiento que provoca la distribución de tamaños de granos de la M4, que corresponde a una mezcla bimodal, en oposición a la M1, la cual prácticamente no presenta variedad de tamaños de grano, siendo su curva granulométrica casi una recta vertical.

Se aprecia una tendencia de erosiones mayores en la mezcla bimodal M3 (arena 45% - grava 55%) con respecto a la mezcla bimodal M4 (arena 65% - grava 35%) en el caso de estribos que forman 135° con longitudes de 15 y 10 cm. Esta tendencia es más notoria en los estribos que forman 45° según sean las con-

FIGURA 9: RESULTADOS EN ESTRIBOS A 135° PARA LAS MEZCLAS M2 Y M3

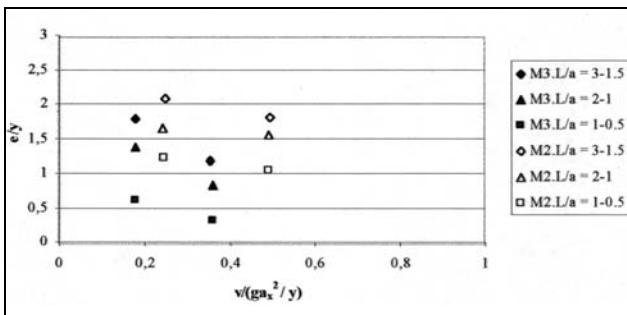


FIGURA 10: RESULTADOS EN ESTRIBOS A 45° PARA LAS MEZCLAS M2 Y M3

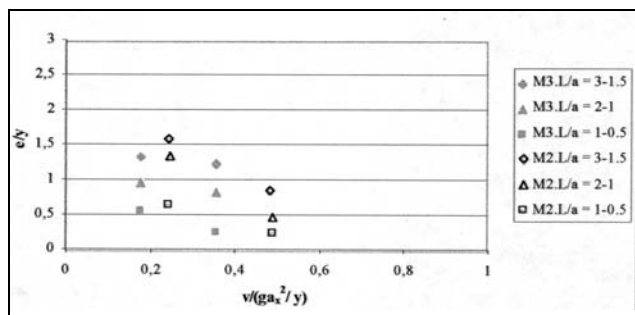


FIGURA 11: RESULTADOS EN ESTRIBOS A 135° PARA LAS MEZCLAS M3 Y M4

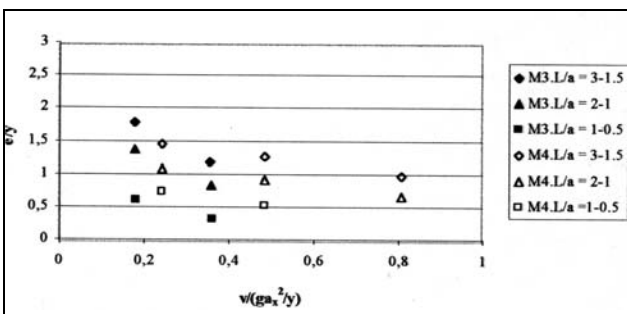
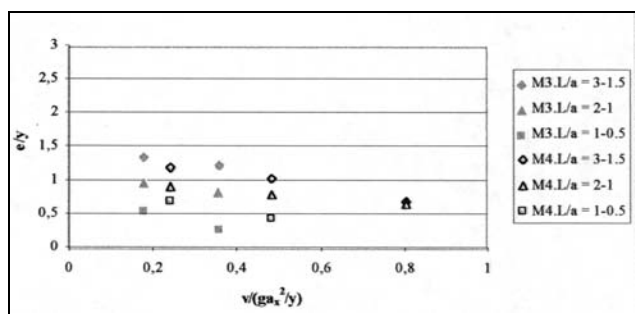


FIGURA 12: RESULTADOS EN ESTRIBOS A 45° PARA LAS MEZCLAS M3 Y M4



diciones de longitud y ancho de los mismos. Sin embargo, para estribos de 5 cm de longitud se observa que las erosiones en la mezcla M4 superan las erosiones en la mezcla M3, tanto para ángulos de 45° como 135°.

Se propone una ecuación, de tipo potencial, que tiene como base el producto del nuevo número de Froude por el monomio adimensional, que relaciona la longitud con el ancho del estribo (L/a).

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en el desarrollo de la tesis mencionada y presentados parcialmente en este trabajo, se cree conveniente:

Realizar más estudios experimentales con vistas a profundizar conocimientos sobre la incidencia del ancho de los estribos en la erosión local alrededor de ellos.

Desarrollar una campaña de obtención de datos de campo que permitan valorar la bondad de la ecuación propuesta para la estimación de la profundidad de la erosión local en estribos.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ARENAS, A. Y HERRANZ, A., 1989.
Análisis dimensional y sus aplicaciones.
Murcia: Universidad, Secretariado de Publicaciones.

CUNHA, L. VEIGA DA, 1973.
Erosões localizadas junto de obstáculos salientes de margens.
Memoria Nº 428, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Ministério das Obras Públicas. Lisboa.

FERNÁNDEZ, S. N., 2000.
Estudio experimental de la influencia de mezclas de sedimentos arenosos bimodales en el proceso de socavación de estribos.
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral.
Dos volúmenes.

SAMBROOK SMITH, G. H., 1996.
Bimodal fluvial bed sediments: origin, spatial extent and processes.
Progress in Physical Geography 20, (4), 402-417.

Continuar investigando sobre la profundidad de erosión en otros tipos de mezclas bimodales que definan situaciones que se asemejen más a los casos reales.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Sur que me concedió una beca a través del Fondo para el Mejoramiento de la Calidad Universitaria (FOMECA N(473) dentro del marco del programa de Reforma de la Educación Superior financiado parcialmente por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, para realizar estudios tendientes a la obtención del grado de Doctor en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos en la Universidad Politécnica de Madrid.

Al Dr Ingeniero Eduardo Martínez Marín, director de tesis, que brindó las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos para realizar los ensayos.



Principais parâmetros físicos do terreno que interferem nas vibrações sísmicas geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas

La Corte Bacci, Denise de ¹ – Barbosa Landim, Paulo Milton²

Resumo

A exploração mineral em pedreiras a céu aberto, que utilizam explosivos no desmonte de rochas, causam diversos impactos ambientais, sendo um dos mais importantes as vibrações sísmicas no terreno, principalmente em áreas próximas aos centros urbanos, pois podem gerar danos às construções civis e desconforto à população.

As características do maciço rochoso, incluindo litologia, espessura, mas especialmente direção e densidade do fraturamento e profundidade do topo rochoso e, ainda a espessura do solo residual influenciam de modo direto na propagação e atenuação das vibrações, sendo seu conhecimento um fator decisivo no planejamento das detonações, através do direcionamento das frentes de lavra, controlando os impactos potenciais.

No presente trabalho são descritos os principais parâmetros físicos do terreno que interferem diretamente nas vibrações sísmicas, para uma pedreira de diabásio localizada em área de expansão urbana da cidade de Campinas, Estado de São Paulo (Brasil) e sua relação com os valores de velocidade de vibração da partícula (V_p) e frequência de oscilação, principais parâmetros de avaliação de danos, registrados por sismógrafos de engenharia.

Foi observado que dependendo da direção e densidade das fraturas, a propagação das ondas sísmicas em determinada direção pode aumentar ou diminuir, e seus efeitos vibratórios, podem ser mais ou menos intensos. Os maiores valores de velocidade de vibração da partícula foram registrados quando a direção de propagação é paralela ao fraturamento; quando perpendiculares, os valores de velocidade da partícula são menores.

Resumen

La exploración mineral en pedreras a cielo abierto, que utilizan explosivos en el desmonte de rocas, causan diversos impactos ambientales, siendo uno de los más importantes, las vibraciones sísmicas en el terreno, principalmente en áreas próximas a los centros urbanos, pues pueden generar daños a las construcciones civiles y desconforto a la población.

Las características del macizo rocoso, incluyendo la litología, espesura, más especialmente dirección y densidad del fraturamento, como también, la profundidad del topo rocoso y la espesura del suelo residual influyen de modo directo en la propagación y atenuación de las vibraciones, siendo su conocimiento un factor decisivo en la disposición de las detonaciones, mediante el direccionamiento de las frentes de lavra, controlando así los impactos potenciales.

En el presente trabajo, son descritos los principales parámetros del terreno que interfieren directamente en las vibraciones sísmicas para una pedrera de diabasio localizada en área de

Entregado: 13 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 11 de Septiembre de 2001

1. Curso de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente
Instituto de Geociências e Ciência Exatas UNESP/Rio Claro (SP)
Rua Ricardo Batista, 22 - Casa Branca - SP. Brasil. CEP: 13700-000
e-mail: dbacci@dglnet.com.br - FAPESP: 97/00735-6

2. Departamento de Geologia Aplicada - Instituto de Geociências e
Ciência Exatas UNESP/Rio Claro (SP)
Av. 24 A, 1515 - Bela Vista - Rio Claro - SP. Brasil. CEP: 13506-900
e-mail: plandim@rc.unesp.br

expansión urbana de la ciudad de Campinas, Estado de São Paulo, y su relación con los valores de velocidad de vibración de la partícula (V_p), frecuencia de oscilación, principales parámetros de evaluación de los daños registrados por sismógrafos.

Fue observado que, dependiendo de la dirección y densidad de las fracturas, la propagación de las ondas sísmicas en determinada dirección, puede aumentar o disminuir, y sus efectos vibratorios, podran ser mas o menos intensos.

Los mayores valores de velocidad de vibración de la partícula fuerón registrados cuando la dirección de propagación es paralela al fracturamiento; cuando perpendiculares, los valores de la velocidad de la partícula son menores.

1. INTRODUÇÃO

As minerações em áreas urbanas produzem uma série de impactos ambientais, dentre os quais as vibrações sísmicas geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas, podendo causar danos às construções civis e incômodos à população vizinha. Os efeitos gerados são monitorados através de medições das vibrações no terreno por sismógrafos de engenharia, que registram a velocidade máxima de vibração da partícula (V_p) em três componentes principais (vertical, longitudinal e transversal) e sua resultante, além da frequência de oscilação da onda sísmica. Através de monitoramento realizado nos arredores das pedreiras é possível medir o nível de vibração gerado e avaliar seus efeitos no terreno e nas pessoas.

Neste trabalho são apresentados os principais parâmetros físicos do terreno que interferem nas vibrações geradas em uma pedreira de diabásio, localizada em área de expansão urbana do município de Campinas, Estado de São Paulo (Brasil), avaliados através de monitoramento sismográfico.

A área de estudo localiza-se entre as coordenadas UTM 281 e 283 e 7466 e 7468, no local denominado Fazenda Santa Bárbara, a noroeste do município de Campinas. A pedreira localiza-se à margem esquerda da rodovia SP 101, no km 2,3, distando aproximadamente 10 km do centro comercial de Campinas. A nordeste da cava, distante 250 m, encontram-se as construções mais próximas, uma fábrica de vidros e uma gráfica. Um pouco mais distante, a 700 m, encontra-se uma fábrica de produtos veterinários e, a cerca de 800 m, começam as primeiras casas da Vila Boa Vista. A oeste, a área é delimitada pela Rodovia dos Bandeirantes e a sul-sudoeste ocupada por pastagens. A localização da área é mostrada na Fig. 1.

O estudo abrangeu a área da pedreira e um raio aproximado de 1 km ao seu redor, totalizando 4 km².

Foram monitoradas 28 detonações, durante um período de 10 meses, totalizando 146 registros sismográficos na área de estudo.

2. GEOLOGIA REGIONAL

A pedreira estudada está inserida na região que pertence ao contexto geológico, representado pelas litologias da porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, muito próxima ao contato desta com o Embasamento Cristalino.

A leste da área afloram rochas pré-cambrianas de alto a médio grau metamórfico, representadas pelo Complexo Itapira, pelas Suítes Graníticas Morungaba e Jaguariúna e por rochas miloníticas presentes nas Zonas de Cisalhamento Campinas e Valinhos. A oeste ocorrem rochas sedimentares da Bacia do Paraná representadas pelo Supergrupo Tubarão (Subgrupo Itararé - PC). Corpos intrusivos, sob a forma de *sills* e diques de diabásio, associados à Formação Serra Geral (K), cortam os sedimentos da bacia e, em alguns locais, as rochas do Complexo Itapira. Os sedimentos cenozóicos, na região, são representados por materiais arenosos, em geral de origem aluvionar.

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



3. GEOLOGIA LOCAL

O maciço rochoso estudado está incluído no grupo de rochas intrusivas básicas, presentes na Bacia do Paraná. É composto por diabásio de coloração acinzentada a preta, granulação fina a média, com variação granulométrica decrescente em direção ao topo. Apresenta aspecto homogêneo, fanerítico, com cristais que podem atingir até 2 cm de comprimento, levemente alterado no topo e são em profundidade. Localmente contém veios preenchidos por carbonatos, sulfetos e silicatos.

O corpo pode ser descrito como um sill, muito provavelmente uma continuidade do de Limeira-Cosmópolis (Estado de São Paulo), descrito por Carvalho et al. (1988), não só pela proximidade geográfica, mas também pela semelhança das características petrográficas das rochas.

Através do estudo de lâminas delgadas de amostras, retiradas de diversos pontos da pedreira, observa-se que o diabásio é constituído essencialmente por plagioclásio (60%), clinopiroxênio (32%), olivina (2%), opacos (magnetita) (5%), clorita (1%), e, como minerais traços, apatita, biotita e hornblenda.

O plagioclásio tem composição de andesina-labradorita, ocorrendo como cristais tabulares com grande variação de granulção. Alguns cristais mais desenvolvidos apresentam zoneamento, com tamanho variando de 7 mm a 1 cm.

O clinopiroxênio é do tipo augita-titanífera. Apresenta coloração castanha e não é pleocróico. Os cristais são, predominantemente, subedrais a anedrais, apresentando-se fraturados. Localmente, ocorrem cristais prismáticos corroídos, que atingem 3 mm. A pigeonita ocorre como cristais anedrais arredondados e fraturados, apresentando coloração castanha e distinguindo-se da augita pela sua maior birrefringência e, muitas vezes, sendo por esta substituída.

Os opacos, magnetita e ilmenita, estão bem distribuídos por toda a lâmina, apresentando-se corroídos e com faces retas.

A clorita e outros filossilicatos aparecem na forma de cristais arredondados, com coloração verde-escura e birrefringência anômala, sendo produto de alteração das olivinas. Ocorrem, preenchendo fraturas ou envolvendo os próprios cristais de olivina.

A apatita ocorre, predominantemente, como finos cristais prismáticos, mas também como cristais hexagonais, sendo estes pequenos e euedrais, com distribuição heterogênea. Sua presença, associada a quartzo e a feldspato potássico, indica a migração de material intersticial de composição mais alcalina, para zonas de fratura, com resfriamento mais lento.

A biotita, de coloração marrom a vermelha, tem ocorrência local, aparecendo como pequenos fragmentos na borda da augita. Sua formação está, provavelmente, associada às fases finais de recristalização do magma, junto com hornblenda, silicatos verdes e quartzo.

A rocha pode ser classificada como um leuco-diabásio pegmatóide, composto, essencialmente, de augita e pigeonita, plagioclásio, olivina, magnetita, biotita, apatita e clorita (traços). Aparecem, no entanto, porções de composição alcalina, com presença de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e apatita, de granulção desde fina a grosseira, produto de migração da zona intersticial para as fraturas, na borda do corpo.

Ocorrem ainda calcitas, zeólitas e apofilita (rara), na forma de veios, preenchendo fraturas.

O corpo de diabásio, onde está localizada a pedreira ocorre intrudido nos sedimentos permocarboníferos da Bacia do Paraná, representados pelo Subgrupo Itararé.

O contato superior está representado na área da mina por um banco de 10 m de altura e cerca de 100 m de extensão, na porção leste da cava, na cota topográfica 641 m. Os sedimentos, siltitos e arenitos finos, apresentam coloração variando de cinza clara a marrom avermelhada; granulometria muito fina a fina, mostrando empastilhamento nas porções mais afastadas do contato com o diabásio. O acamamento apresenta direção N40E-15SE. A rocha encaixante aparece endurecida na área de contato, podendo ser classificada como um hornfels pelítico, mostrando efeito termal do magma intrudido, não apresentando variações texturais e granulométricas visíveis. A presença de cordierita indica altas temperaturas e metamorfismo de contato. Nesse local, ocorrem sedimentos silticos a arenitos muito finos de coloração cinza clara, passando para argilitos escuros, orgânicos, originando uma estrutura rítmica, com espessura centimétrica. O contato entre o diabásio e os sedimentos é irregular, apresentando variação na espessura de 0,5 a 2,5 m. O corpo intrudido parece ser concordante com as camadas sedimentares.

O contato inferior foi obtido em alguns pontos da área, através de sondagens elétricas verticais, que, segundo os valores

de resistividade do material, apontam para os sedimentos do Subgrupo Itararé. Tal contato com a rocha encaixante varia na área entre 25 e 30 m de profundidade.

4. GEOLOGIA ESTRUTURAL

4.1. Quadro Regional

As Zonas de Cisalhamento Dúctil Campinas e Valinhos são as feições estruturais mais importantes no contexto regional. A Zona de Cisalhamento de Campinas está encoberta pelos sedimentos do Subgrupo Itararé na área urbanizada; a de Valinhos, com direção NNE, marca a foliação principal do Complexo Itapira (IG, 1993).

A Suíte Granítica Jaguariúna apresenta foliação blastomilonítica ou protomilonítica, em situação de maior deformação. Muitas vezes, a textura ígnea encontra-se preservada, devido à menor condição deformacional. O maciço Morungaba é isótropo (não foliado) apresentando-se brechado próximo à Zona de Cisalhamento Valinhos. As rochas do Subgrupo Itararé apresentam-se intensamente deformadas em alguns pontos, por vezes formando brechas e sendo cortadas por falhas que se distribuem, aparentemente, em padrões tectônicos (IG, 1993).

As zonas de cisalhamento principais apresentam direção geral aproximada N30E e mergulhos elevados para NW e, subordinadamente, para SE. Outras zonas de cisalhamento menos expressivas ocorrem, em escala de afloramentos.

Tanto para a Zona de Cisalhamento Campinas como para a de Valinhos, os altos mergulhos da foliação milonítica e as lineações de estiramento, mergulhando entre 20° e 50° para NE, mais raramente sub-horizontais, indicam tratar-se de zonas transcorrentes oblíquas, com componentes que sugerem um movimento dextral.

4.2. Quadro Local

O maciço rochoso estudado apresenta-se bastante diaclasado, com direções de fraturamento principal subvertical a subhorizontal.

Os dados estruturais obtidos mostram a existência de quatro famílias de fraturas.

A primeira família é a mais representativa e mais marcante no maciço. A direção principal é leste-oste, predominando mergulhos altos. Essa família é muito persistente, tendo sido observada em todas as frentes de lavra, ocorrendo com mais frequência na porção oeste da cava, na frente C, e nos Planos I, II, e III (Fig. 2). Essa área está mais deformada, indicando maior intensidade dos esforços tectônicos que ocorreram na região, provavelmente associados às Zonas de Cisalhamento Campinas e Valinhos, descritas em IG (1993). O espaçamento médio entre as fraturas é de 18 cm, mas pode variar de poucos cm a 1 ou 2 m (raramente), sendo classificadas como próximas, segundo o critério da ABGE (1983). A direção da primeira família é perpendicular às zonas de cisalhamento.

São encontrados, às vezes, nessas estruturas, espelhos de falhas com estrias e veios de espessura milimétrica a decimétrica, preenchidos principalmente por calcitas e zeólitas, com rara presença de apofilita, pirita e calcopirita.

A segunda família apresenta direção principal noroeste-sudeste. As medidas variam de N30W a N58W. Os mergulhos são altos, entre 80° e 90°. O espaçamento médio entre as fraturas é de 30 cm. São fraturas abertas, sem material de preenchimento e com boa persistência no maciço. Aparecem com mais

FIGURA 2: DIREÇÕES PREFERENCIAIS DAS FAMÍLIAS DE FRATURAS NO MACIÇO ROCHOSO

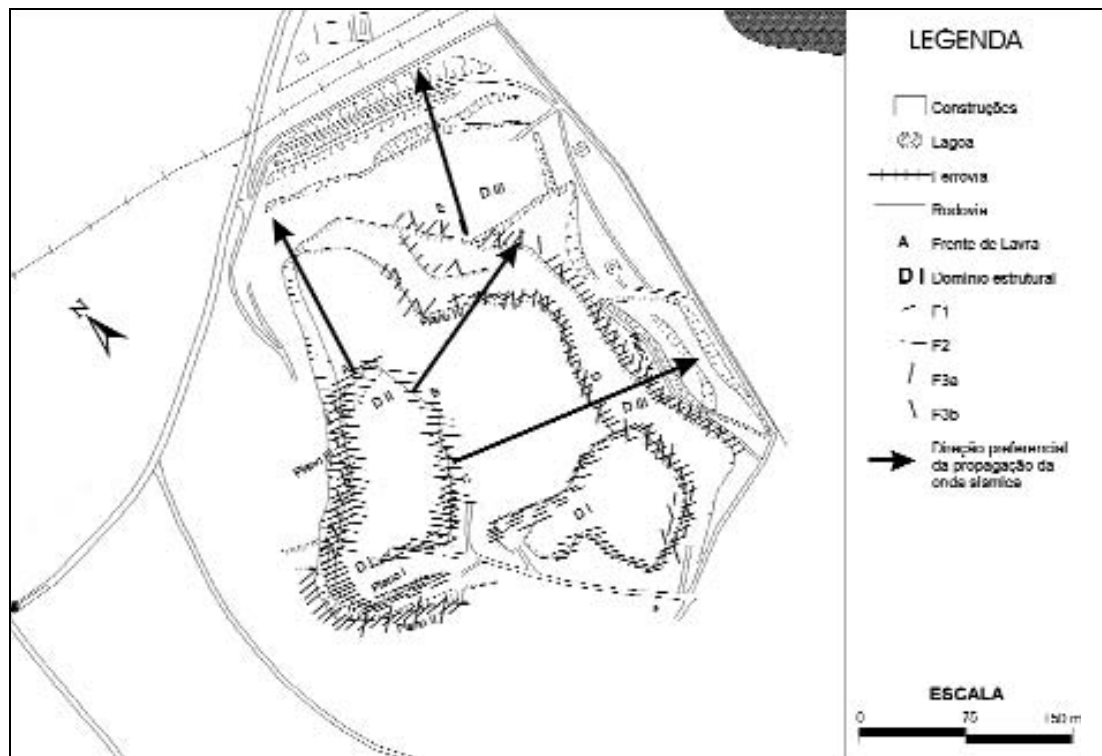


TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DAS FRATURAS NO MACIÇO ROCHOSO

Características	F1	F2	F3	F4
Orientação principal	E-W	NW-SE	N-S	Sub-Horizontal
Espaçamento	18 cm	30 cm	-	-
Persistência	Persistente	Persistente	Sub-persistente	Não-persistente
Rugosidade	Irregular a liso	Liso	Liso	Liso
Resistência das paredes	Fresca	Fresca	Fresca	Fresca
Abertura	Abertas	Abertas	Abertas	Abertas
Preenchimento	Veios de 2 a 3 cm de espessura de carbonatos, com presença de zeólitas, apofilitas e sulfetos		Não Preenchida	Não Preenchida
Percolação	V	III	III	III
Tamanho dos blocos	Fragmentado	Irregular	Irregular	Irregular

freqüência, também, na porção oeste da cava, nas frentes A, B e C e no Plano III.

A terceira família de fraturas apresenta direção principal norte-sul, com tendência para NE, apresentando máximos entre N8E a N30E, este último com pouca freqüência, e mergulhos altos. O espaçamento entre as fraturas é maior do que o observado para as duas famílias anteriores, variando de poucos centímetros a alguns metros, sendo mais difícil de ser observado. Essa família está presente nos Planos III, IV e V e nas frentes D e E, nesta última com baixa representatividade (Fig. 2).

A quarta família de fraturas é subhorizontal, com direção preferencial NW-SE, pequena ocorrência, pequena persistência e baixa representatividade no maciço. Ocorre no Plano V e nas frentes C e E.

O maciço apresenta, assim, diferentes domínios estruturais, determinados segundo a predominância e densidade das famílias de fraturas. O Domínio I ocorre na parte oeste e sudeste da cava, com predomínio da primeira família, a qual apresenta alta densidade de fraturamento.

O Domínio II ocorre na parte sudoeste da cava, predominando a segunda família, com alta densidade de fraturamento

aparecendo, também, a terceira família com média densidade, mas ocorrência secundária.

No Domínio III, na porção nordeste da cava, predomina a terceira família, com direção nordeste e baixa densidade de fraturamento.

A Fig. 3 mostra a projeção estereográfica representando as quatro famílias de fraturas presentes no maciço rochoso.

As famílias de fraturas presentes no maciço rochoso são classificadas como mostra a Tab. 1, segundo critérios da ABGE (1983):

O maciço rochoso em estudo apresenta as seguintes características:

Grau de alteração:	são ou praticamente são
Grau de resistência:	resistente
Grau de coerência:	muito coerente
Grau de fraturamento:	muito fraturado

5. PARÂMETROS FÍSICOS DO TERRENO QUE INTERFEREM NAS VIBRAÇÕES SÍSMICAS NA PEDREIRA EM ESTUDO

5.1. Fraturamento do Maciço Rochoso

Junta ou diáclase (ABGE, 1998), também descritas como fraturas, são descontinuidades do maciço rochoso que ocorrem de forma sistemática, seguindo orientações preferenciais, compondo famílias ou sistemas. Em geral compreendem dois ou mais sistemas que se cruzam, formando blocos poliédricos, cujas formas e dimensões dependem das orientações e dos espaçamentos relativos de cada sistema.

No presente estudo, a importância do fraturamento provém da interferência direta na propagação e atenuação das vibrações no terreno. A propagação da onda sísmica em um meio natural contínuo, isotrópico e homogêneo difere daquela que se processa em um meio real, que apresenta descontinuidades, heterogeneidades e anisotropia, ocorrendo fenômenos de reflexão e refração sucedendo-se, à medida que aumenta o grau de fraturamento do maciço rochoso.

Dependendo da direção e da densidade das fraturas, a propagação das ondas sísmicas em determinada direção pode aumentar ou diminuir, e seus efeitos vibratórios, poderão ser mais ou menos intensos.

FIGURA 4a: DIAGRAMA DE CONTAGEM REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DO PLANO I. N= 87

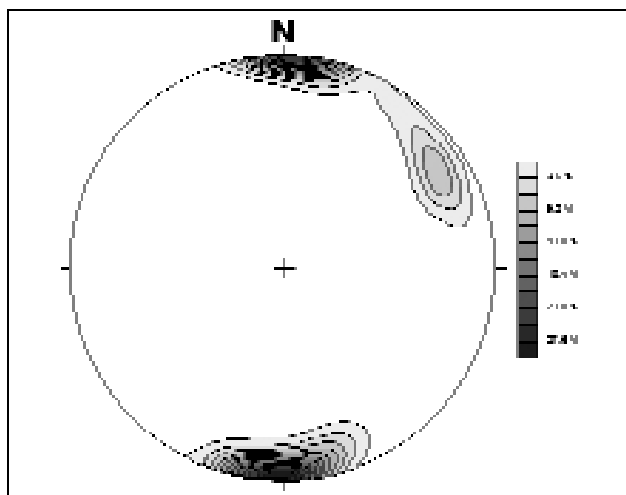
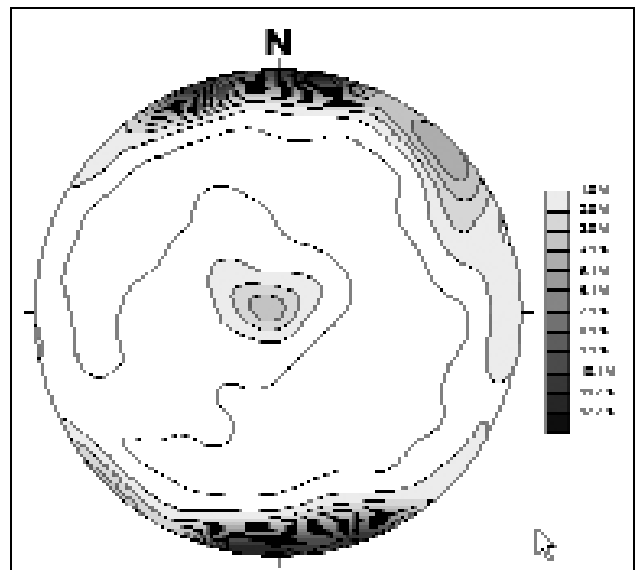


FIGURA 3: ESTEREOGRAMA REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DE FRATURAS NA ÁREA DE ESTUDO, CONSIDERANDO A PROJEÇÃO NO HEMISFÉRIO INFERIOR DA ESFERA DE REFERÊNCIA



Para a compreensão da atenuação do fenômeno vibratório, é importante a determinação do tipo e do grau de fraturamento, além de sua orientação espacial, espaçamento, persistência e preenchimentos.

O conhecimento do padrão de fraturamento de um maciço rochoso pode auxiliar na previsão de valores de velocidade de vibração da partícula, em terrenos onde não se efetuam medições de energia residual, além de permitir o planejamento das detonações através do direcionamento das frentes de lavra, evitando, dessa forma, os efeitos vibratórios indesejáveis produzidos nos arredores das pedreiras durante os desmontes.

O levantamento das descontinuidades na área de estudo foi realizado seguindo a metodologia de levantamento estrutural proposta pela ABGE (1983). As medidas foram realizadas em todas as frentes de lavra da pedreira e, separadas em domínios.

FIGURA 4b: DIAGRAMA DE CONTAGEM REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DO PLANO II. N= 84

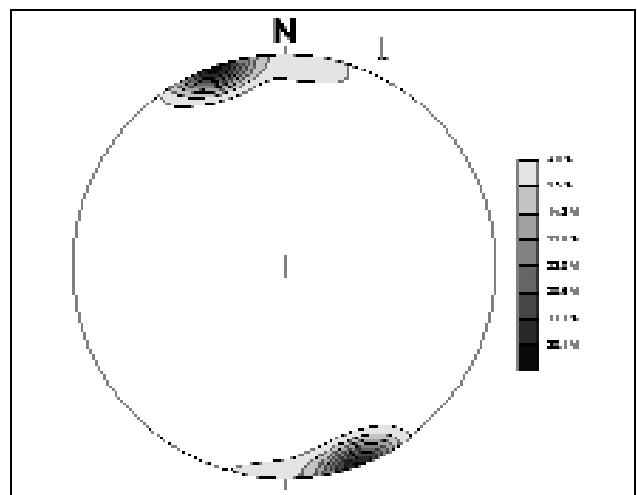


FIGURA 4c: DIAGRAMA DE CONTAGEM REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DA FRENTE A E DO PLANO III. N= 71

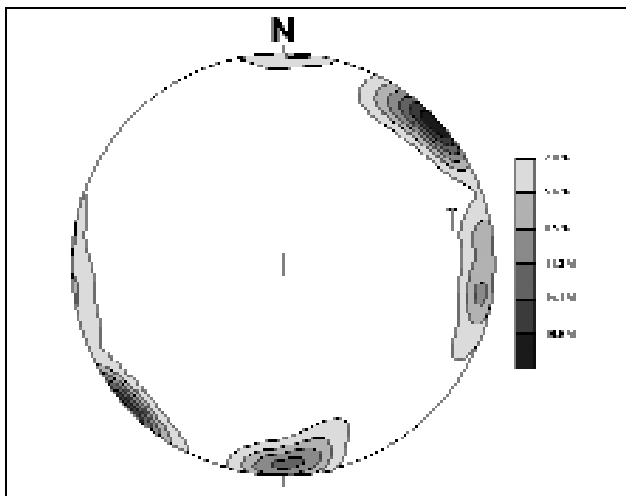


FIGURA 4d: DIAGRAMA DE CONTAGEM REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DO PLANO V. N= 47

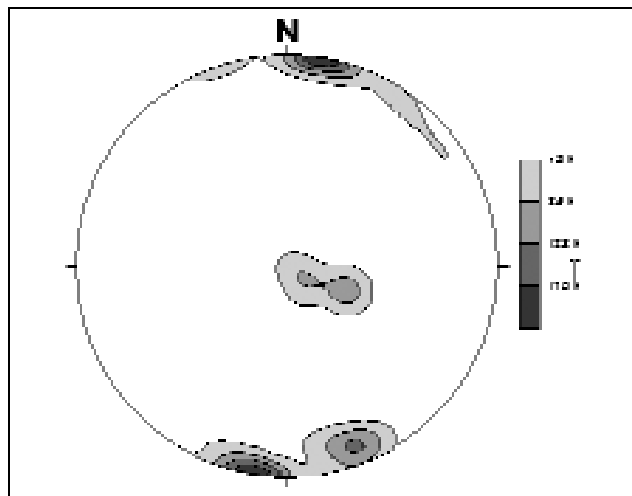


FIGURA 4e: DIAGRAMA DE CONTAGEM REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DA FRENTE B. N= 15

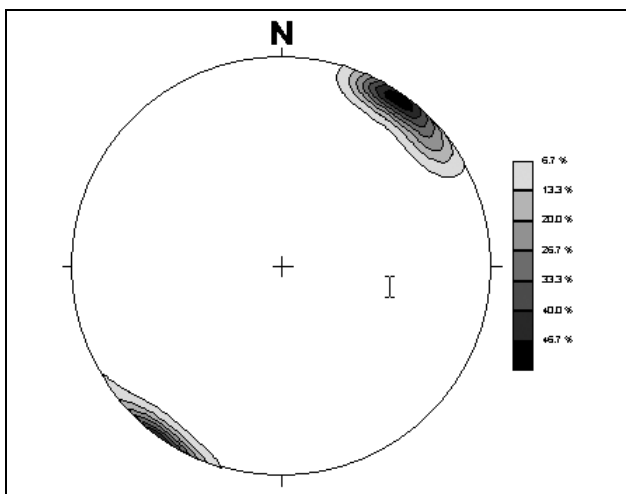


FIGURA 4f: DIAGRAMA DE CONTAGEM REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DA FRENTE C. N= 24

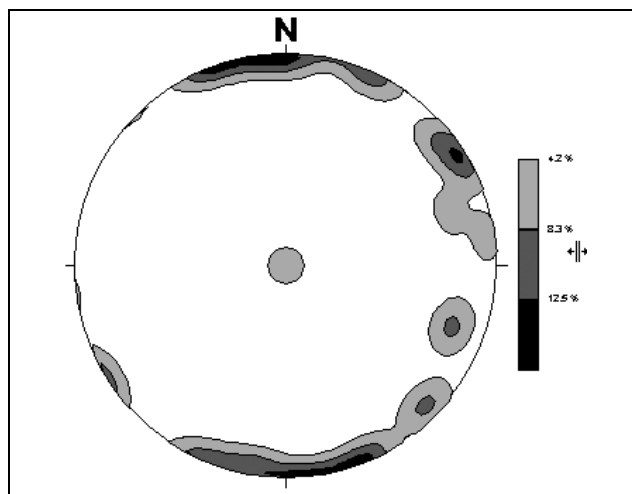


FIGURA 4g: DIAGRAMA DE CONTAGEM REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DA FRENTE D E DO PLANO IV. N= 57

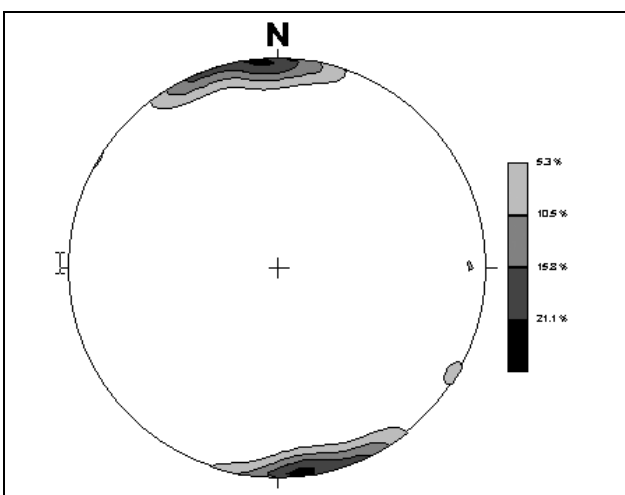


FIGURA 4h: DIAGRAMA DE CONTAGEM REPRESENTANDO AS FAMÍLIAS DA FRENTE E. N= 16

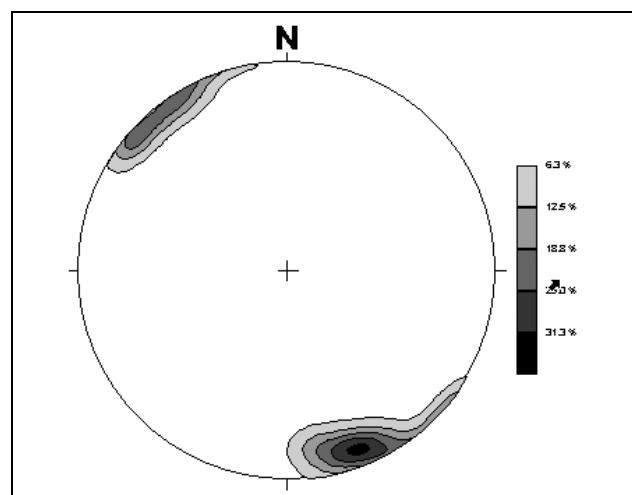
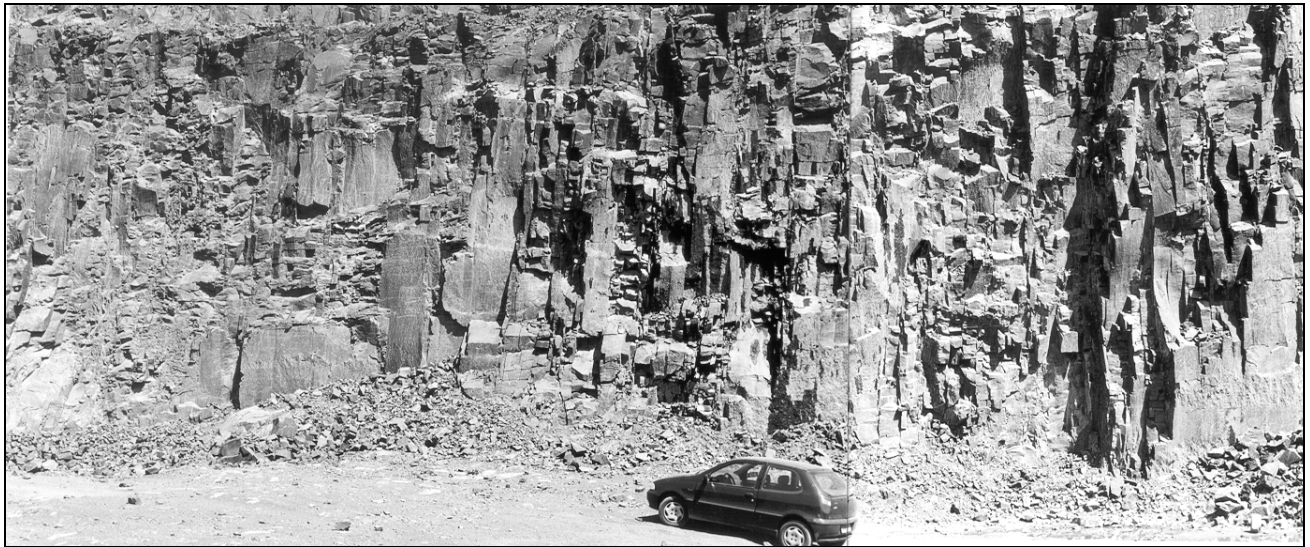


FIGURA 5: FRATURAMENTO DO MACIÇO ROCHOSO NA PEDREIRA EM ESTUDO

O objetivo principal, no levantamento das descontinuidades, foi o de correlacionar suas direções preferenciais de ocorrência, nas diversas frentes de lavra, com valores medidos de velocidade de vibração da partícula, a fim de estabelecer uma relação entre propagação e atenuação de vibrações e o padrão de fraturamento local.

A direção preferencial das descontinuidades foi determinada com o uso de diagramas de contagem, confeccionados para as diversas frentes de lavra.

Os diagramas estão representados na Fig. 4.

Os dados estruturais obtidos mostram quatro direções preferenciais de ocorrência na área de estudo, que foram denominadas de famílias de fraturas 1, 2, 3 e 4.

A Fig. 5 ilustra o padrão de fraturamento no maciço rochoso.

Os estudos do fraturamento do maciço apontam a existência de três domínios preferenciais, representados pelas três primeiras famílias. A quarta família, devido à sua subhorizontalidade, apresenta pouca significância no estudo das vibrações,

pois a onda sísmica caminhando paralelamente ao plano de mergulho subhorizontal, não sofre atenuação devido à este sistema, não influenciando, consequentemente, nas vibrações.

A relação do fraturamento com as direções preferenciais de propagação das vibrações no terreno, escolhidas para a área de estudo, pode ser resumida da seguinte forma: observam-se os maiores valores de velocidade de vibração da partícula quando a direção de propagação é paralela ao fraturamento; quando perpendiculares, os valores de velocidade da partícula são menores. Na área, isso pode ser observado para as frentes A e E, as quais apresentam valores maiores de velocidade na direção norte-nordeste. Já para as frentes B, C e D, os valores de V_p são menores na direção leste-oeste.

No caso da atenuação das vibrações, a densidade do fraturamento passa a ser a fator estrutural mais importante, pois um maior número de fraturas, mais próximas, presentes na trajetória das ondas, gera uma melhor atenuação com o aumento da distância.

A Tab. 2 mostra a relação entre as direções de propagação das vibrações e o fraturamento no maciço rochoso.

TABELA 2: RELAÇÃO ENTRE AS DIREÇÕES DE PROPAGAÇÃO DAS VIBRAÇÕES E O FRATURAMENTO DO MACIÇO

Direção média de propagação	Relações espaciais com o fraturamento	V_p (mm/s)	
		mín	máx
N24° - Frente A	Perpendicular à F_1 (E-W) Oblíqua à F_2 (NW-SE) Paralela à F_3 (N-S)	1,20	36,6
N84° - Frente B	Paralela à F_1 (E-W) Oblíqua à F_2 (NW-SE) Perpendicular à F_3 (N-S)	2,1	24,8
N111° - Frentes C e D	Oblíqua à F_1 (E-W) Paralela à F_2 (NW-SE) Perpendicular à F_3 (N-S)	3,1	25,3
N20° - Frente E	Oblíqua à F_1 (E-W) Perpendicular à F_2 (NW-SE) Paralela à F_3 (N-S)	1,7	36,3

5.2. Topo Rochoso e Cobertura do Solo Superficial

A profundidade do topo rochoso está diretamente relacionada à velocidade de vibração da partícula no terreno. Quanto mais próximo da superfície estiver o topo da rocha, e, consequentemente, menor for a camada de cobertura do solo residual, maior será a velocidade esperada de vibração da partícula, pois quanto mais rígido e mais denso for o meio de propagação, maiores serão os valores de propagação da onda e maior a vibração no terreno.

A profundidade do topo rochoso e a espessura da cobertura de solo residual foram determinadas através do método geoeletrico de sondagem elétrica vertical (SEV). Foram realizados 14 pontos de sondagem na área de estudo, através dos quais foi possível a determinação dos parâmetros desejados.

A interpretação geológico-geotécnica dos dados teve como objetivo a caracterização dos diferentes horizontes da zona de transição solo-rocha, com destaque para a determinação da profundidade do topo rochoso do corpo de diabásio e da espessura da camada de solo residual. Essa interpretação só foi possível com a integração dos dados geoeletricos e geológico-geotécnicos.

As sondagens elétricas verticais identificaram quatro camadas de solo com resistividades diferentes, sobrepostas ao diabásio, além de uma zona saturada em água; também foi possível identificar, em alguns perfis, o contato inferior entre o diabásio e os sedimentos sotopostos do Subgrupo Itararé.

Os resultados separaram dois grupos de SEVs, com base nas curvas geradas. A diferenciação entre os grupos é mais evidente nas camadas de solo menos profundas, podendo ser resultado da maior influência antrópica na região, como compactação do solo, formação de aterros e transporte de solo por processos naturais. A mesma separação também é válida, quando se trata da profundidade média do topo rochoso. Para o primeiro grupo, a profundidade média do topo é de 10 m, enquanto que, para o segundo grupo, é de 27 m. O topo rochoso encontra-se mais raso nas porções nordeste e sudeste da pedreira e mais profundo nas regiões leste e oeste.

Os valores mínimo e máximo encontrados da profundidade do topo rochoso para a área foram 6,2 e 43 m, os quais representam, também, a espessura da cobertura de solo residual. Os valores das velocidades de vibração da partícula na área são maiores quanto mais raso o topo da rocha e quanto menor a cobertura de solo residual. Na porção nordeste da pedreira, a rocha está mais próxima da superfície e facilita a propagação das vibrações. Também nessa área, verifica-se uma melhor propagação das vibrações devido ao fraturamento do maciço, o que favorece valores mais altos.

A distância do ponto de registro ao ponto de detonação também interfere na atenuação das vibrações. Quanto mais distante o ponto de registro da fonte de explosão, maior a atenuação das ondas sísmicas e menor os valores de vibração.

A correlação da distância com a velocidade de vibração da partícula pode ser observada para a área de estudo na Fig. 6.

A Fig. 6 mostra que a atenuação da onda sísmica com o aumento da distância real é maior na direção leste (frente B). Isso pode estar associado à maior espessura do solo nessa área e à maior profundidade do topo rochoso (em média 27 m) além da alta densidade do fraturamento predominante, perpendicular à essa direção da propagação da onda.

A segunda direção de maior atenuação da onda sísmica e, consequentemente, das vibrações é a nordeste (frente A).

Nessa direção, a espessura do solo é menor em relação à direção leste (10 m, em média), porém sua compactação é muito maior, devido às construções, ferrovia e rodovia presentes nessa área, promovendo uma maior atenuação da onda sísmica. Essa área está incluída no Domínio Estrutural II, com direção oblíqua à direção de propagação da onda, possuindo alta densidade de fraturamento, o que facilita a sua atenuação.

Na direção sudeste (frentes C e D) e norte (frente E) a atenuação das vibrações é mais lenta, estando esse fato associado, principalmente, à profundidade do topo rochoso, que se encontra a menos de 10 m de profundidade e à pequena espessura da camada de solo.

As detonações com explosivos geram frequências elevadas e de curta duração. A frequência levada em consideração na avaliação dos danos gerados é aquela com oscilação de maior amplitude, denominada frequência principal.

A frequência das vibrações depende, fundamentalmente, das características do maciço rochoso e da distância da detonação. Em rochas mais brandas, verificam-se vibrações de baixa frequência (abaixo de 20 Hz) e em rochas compactas, duras, vibrações de alta frequência (acima de 40 Hz).

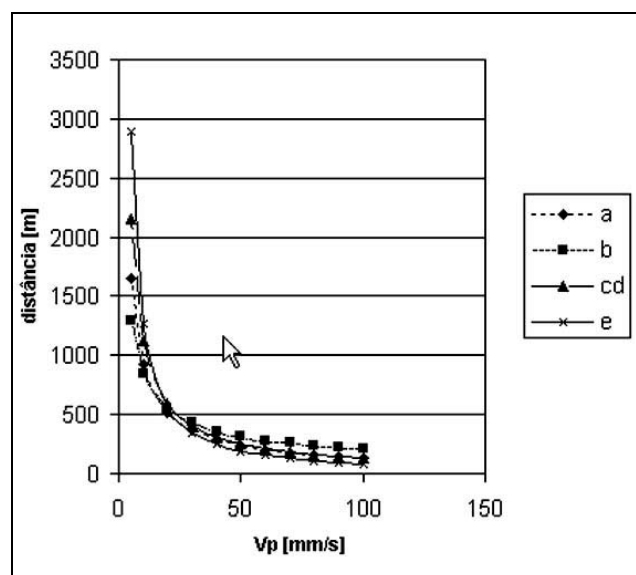
Anomalias geológicas presentes nos maciços rochosos, localizadas na trajetória de propagação das ondas podem fornecer valores diversos de frequências.

Com o aumento da distância em relação à fonte de energia, as vibrações apresentam frequências cada vez mais baixas, porque o terreno absorve preferencialmente as altas frequências, atenuando mais rapidamente os componentes de onda de maior frequência.

Quanto à frequência de oscilação, foi observado que o tipo de rocha exposto aos efeitos da detonação gera valores altos, acima de 40 Hz, não oferecendo problemas de ordem estrutural às residências próximas à pedreira, ou seja, não causando rachaduras, quedas de reboco ou quebra de vidraças nas residências.

Sabe-se que valores entre 4-28 Hz são perigosos para as construções civis, pois correspondem aos valores da frequência natural dos edifícios residenciais, podendo causar o fenômeno da ressonância.

FIGURA 6: ATENUAÇÃO DA VELOCIDADE DE VIBRAÇÃO DA PARTÍCULA (Vp) EM MM/S COM O AUMENTO DA DISTÂNCIA



Os valores gerados pelas detonações nas pedreiras são maiores onde a rocha está mais superficial, porções nordeste e sudeste da área, atingindo até 100 Hz e menores, nas porções onde a cobertura de solo residual é mais espessa, mas sempre acima de 40 Hz, estando acima dos limites definidos como seguros pelas normas técnicas internacionais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento dos parâmetros físicos do terreno e sua correlação com os valores de vibração e a atenuação das ondas sísmicas mostrou-se de grande relevância na avaliação dos efeitos ambientais gerados pelo uso de explosivos em pedreiras. Através deste estudo foi possível determinar as áreas ao redor da pedreira que estariam sujeitas aos níveis mais altos de vibração e também definir limites mínimos de ocupação pela população, evitando riscos de danos, prezando pela sua segurança.

A geologia é, sem dúvida, o fator mais importante no conhecimento do comportamento das ondas sísmicas geradas pelas detonações em rochas, pois determina o meio de propagação destas.

Na área em questão, não existe variação litológica. O meio de propagação é caracterizado pelo corpo de diabásio que aflora na pedreira, estendendo-se nos seus arredores, e variando em profundidade. Em contato com o diabásio, na superfície, ocorre a camada de solo residual, originado a partir do intemperismo da própria rocha aflorante. As ondas registradas pelos sismógrafos de engenharia são ondas superficiais e suas características de propagação no meio rochoso e no solo são diferentes, mostrando variações nos resultados de vibração obtidos.

Os valores de velocidade de vibração da partícula foram maiores onde o topo do corpo de diabásio está mais próximo à superfície, ou seja, nas regiões nordeste, representada pelas áreas de influência das frentes A e E, e sudeste, representada pelas frentes C e D, variando em profundidade de 10 a 6 m, respectivamente. Nessas áreas, a velocidade média de vibração foi de 15 mm/s, a distâncias da frente de detonação de 400 a 700 m, a nordeste, e, menores que 300 m, a sudeste. Nas outras áreas,

de solo mais profundo, a velocidade alcançou valores menores, abaixo de 10 mm/s.

Além da litologia, as características estruturais do maciço também interferem na propagação das ondas e, principalmente, na sua atenuação. O maciço rochoso encontra-se bastante fraturado, tendo sido definidas quatro famílias de fraturas, as quais interferem na intensidade das vibrações. Nas direções paralelas ao fraturamento, as velocidades de vibração são maiores, sendo, no entanto, menores nas direções perpendiculares. Na área, os maiores valores de V_p foram registrados nas frentes A e E e, os menores, nas frentes B, C e D.

A atenuação das ondas está relacionada, principalmente, à densidade do fraturamento, pois um maior número de fraturas presentes na trajetória da onda sísmica dificulta sua propagação, favorecendo a atenuação. Nesse caso, o espaçamento entre as fraturas passa a ser mais importante que a sua direção. Além disso, a distância da fonte de detonação é fundamental na atenuação, como também o é o meio em que ela se propaga. Na região estudada, a atenuação das ondas sísmicas é maior nas áreas de influência das frentes A e B, considerando os fatores descritos.

A distância é, sem dúvida, o fator que maior influência tem nos valores de velocidade de vibração da partícula e na atenuação das ondas, pois, quanto mais distante do ponto de detonação, menores os valores de V_p e maior a atenuação.

Na área em questão, estima-se que a ocupação do meio físico do entorno da pedreira pela população, não deva ultrapassar distâncias menores que 800 m na direção nordeste e 600 m nas direções leste e sudeste, assegurando que os valores de V_p , à semelhança do que é produzido hoje, estarão dentro de limites seguros e aceitáveis pelas normas vigentes.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo/FAPESP (Processo 97/ 00735-6) pelo financiamento da pesquisa e à Basalto Pedreira e Pavimentação Ltda., por permitir o monitoramento das vibrações na pedreira.

8. TRABALHOS CITADOS NO TEXTO

ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA.

Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos.

1983. Tradução n° 12. ISRM - *International Society for Rock Mechanics*. São Paulo. 132 p.

ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA.

Geologia de Engenharia.

1998. Livro. ABGE. São Paulo (SP). 586 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9653.

Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas.

Norma de Procedimento. 1986. São Paulo (SP).

BACCI, D. C.

Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais.

2000. Tese de Doutorado. Rio Claro (SP). v1 (Texto) e v2 (Anexos).

BERTA, G.

L'esplosivo strumento di lavoro.

1985. ITALESPLOSIVI – Milano. 1ª ed. 488p.

BOLRA, G.

Esame delle principali normative e raccomandazioni esistenti per il controllo delle vibrazioni provocate dal brillamento di esplosivi ed indotte da queste negli edifici.

1993. GEAM - *Geingegneria Ambientale e Mineraria*. Associazione Mineraria Subalpina. Anno XXX, n°4, p. 243 -248.

- CARVALHO, S.G.; NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; SOARES, P.C.; ZANARDO, A., ANTONIO, M.C.
Aspectos geológicos e litoquímicos dos sills Borda da Mata e Limeira-Cosmópolis (SP): resultados preliminares.
1988. *Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, (PA). v3. p.1281-1292.*
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEMAENTO AMBIENTAL
Norma D7.013 - Mineração por explosivo.
1992. *São Paulo. (SP). 7 p.*
- COTTAS, L.R.; FIORI, A.P.; LANDIM, P.M.B.
Divisão faciológica do Subgrupo Itararé e da Formação Aquidauana no nordeste do Estado de São Paulo.
1981. *In: Simpósio Regional de Geologia, 3, Curitiba. Atas... São Paulo: SBG, v2. p.103-115.*
- DEVINE, J.F.
Avoiding damage to residences from blasting vibrations.
1966. *Hygway Research Bord. 135 p.*
- DU PONT DO BRASIL S.A.
Noções preliminares sobre explosivos para o desmonte de pedreiras.
1977. *Boletim Técnico 17. 52 p.*
- ELIS, V.R.
A aplicação da geofísica para análise do meio físico – importância para elaboração de mapeamento geotécnico.
1993. *Dissertação. UNESP. Rio Claro (SP). 120 p.*
- ESTON, S.M.; IRAMINA, W.S. BARTALINI, N.M. DINIZ, M.J.
Acompanhamento sismográfico de desmontes por explosivos: pedreiras em meios urbanos e implosões de edifícios.
1996. *EGATEA: Revista da Escola de Engenharia, p.42-46. Edição Especial.*
- ESTON, S.M.
Uma análise dos níveis de vibração associados a detonações.
Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. São Paulo. 125 p.
- FANG, H.Y.; KOERNER, R.M.; SUTHERLAND, H.
Instrumentation and monitoring criteria to determinate structural response from blasting.
1976. *Proceeding of the Second Conference on Explosives and Blasting Technique. Louisville. SEE. USA.*
- FORNARO, M. ET AL.
Valutazione di vibrazioni con moderne tecniche.
1993. *GEAM. Geoingegneria Ambientale e Mineraria. Associazione Mineraria Subalpina. Ano XXX, n° 4, p. 233 -236.*
- FORNARO, M.
Vibrazioni dannose per le costruzioni in conseguenza dello sparo di mine: esame di quanto amesso dalle norme e suggerito dall'esperienza.
1980. *Notiziario dell'Associazione Mineraria Subalpina Anno VI, n° 3-4. p. 18-28.*
- GERALDI, J.L.P.
Instrumentação sísmica de detonações – controle do meio ambiente e otimização de planos de fogo.
1986. *II Congresso Brasileiro de Mineração. p. 165-184.*
- GIRARDI, V.A.V.; MELFI, A.J.; AMARAL, S.E.
Efeitos termais associados aos diabásios mesozóicos da Bacia do Paraná.
1978. *Boletim do Instituto de Geociências. v.9. p.47-55.*
- GUIDICINI, G. ET AL.
Um método de classificação geotécnica preliminar de maciços rochosos.
1979. *Apostila. 20 p.*
- INSTANTEL INC.
BlastMate Series III – Operator Manual.
1998.
- IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO.
Mapa topográfico do município de Campinas. Folhas SF-23-Y-A-V (Campinas III) e SF-23-Y-A-V (Jardim Santa Isabel).
1979. *Escala 1:10.000. Coordenadoria de Ação Regional, divisão de Geografia do Plano Geográfico do Estado de São Paulo (SP).*
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO.
Subsídio do meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas (SP).
1993. *Relatório Técnico. Programa: cartas geológicas e geotécnicas para o planejamento ambiental na região entre Sorocaba e Campinas. São Paulo. 3v.*
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
Mapa geológico do Estado de São Paulo; escala 1:500.000.
1981. *v1 (texto) e v2 (mapa).*

- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
Recomendações técnicas – manual de operações práticas no desmonte de rochas com explosivos.
1984. *Divulgação Sindipedras. São Paulo (SP).*
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
Explosivos, pedra e meio ambiente.
1988. *Apostila do curso de treinamento para implantação de fiscalização no uso de explosivos em minerações urbanas. 239 p.*
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
Controle de vibrações provenientes de detonações na Pedralix S.A.
1996. *Relatório 34.203. 64 p.*
- MACARI, R.
Mapeamento geotécnico da porção NW da área de expansão urbana do município de Campinas. Escala 1:25.000.
1996. *São Carlos. Dissertação de Mestrado. USP, São Carlos (SP). 2v.*
- MANCINI, R.
Definizione e descrizione delle vibrazioni prodotte dall'uso dell'esplosivo
1994. *Rivista della Sezione Italiana dell'Associazione Subalpina. E&B n° 1. p. 9-17.*
- MIDEA, N.
Uso de explosivos na exploração de pedreiras próximas à áreas urbanas.
1989. *Seminário Internacional sobre Mineração em Áreas Urbanas, São Paulo. Anais, São Paulo, DNP/Pró-Minério. pp. 44-50.*
- MONTEIRO, R.L. & GOMES, C.B.
Características petrográficas e químicas de uma intrusão básica localizada no município de Tanquinho.
1988. *Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia. Belém (PA). v3. p.1311-1325*
- MONTEIRO, R.L. & GOMES, C.B.
Química mineral do sill de Tanquinho (SP).
1988b. *Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia. Belém (PA). v3. p.1293-1310.*
- NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO E.M.; COMIN-CHIAROMONTI, P.; MELFI, A.J. BELLINI G.; OLIVEIRA, M.A.F.
Caracterização litoquímica e aspectos petrológicos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral: região centro-sul do estado do Paraná.
1993. *Geociências UNESP. São Paulo (SP). v12 (2).*
- NUTTING, M.J.; FROEDGE, D.T.
The mapping of vibration patterns around a blast.
1990. *6th Annual SEE Conference on Explosives and Blasting Technique Mini Research Symposium, Orlando. USA. p. 165-178*
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; ROTTA, C.L.
Levantamento pedológico semi-detalhado dos solos do Estado de São Paulo: quadrícula de Campinas.
1979. *Rio de Janeiro (RJ), IBGE. 169 p.*
- ORIARD, L.L.
The effects of vibrations and environmental forces: a guide for the investigation of structures.
1999. *Hardcover. Published by ISEE. 284 p.*
- PERSSON, P.A.; HOLMBERG, R. & LEE, J.
Rock blasting and explosives engineering.
1994. *International Society of Explosives Engineers. CRC Press, Inc. USA. 540 p.*
- PIOVANO, G.
Criteri di previsione dei valori massimi tollerabili delle vibrazioni indotte dall'uso degli esplosivi.
1994. *Explosives and Blasting. N.1. Rivista della Sezione Italiana Esplosivi dell'Associazione Mineraria Subalpina. p. 19-22.*
- PIOVANO, G. & SORLINI, A.
Normative e raccomandazioni sulle vibrazioni: criteri di salvaguardia, tollerabilità degli edifici e delle persone, scelta dei parametri valutativi.
1993. *GEAM - Geingegneria Ambientale e Mineraria. Associazione Mineraria Subalpina. Anno XXX, n°4. p. 27-30.*
- ROSENTHAL, M.F.; MORLOCK, G.L.
Blasting guidance manual.
1987. *Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement – United States Departments of the Interior, USA. 201 p.*
- RUEGG, N.R.
Aspectos geoquímicos, mineralógicos e petrográficos de rochas basálticas da Bacia do Paraná.
1969. *Tese de Doutorado. Fac. Fil. Ciênc. Letras – USP São Paulo (SP). 172 p.*
- SCHILLINGER, R.R.
Blasting vibrations and other environmental effects of blasting works.
1994. *Explosives 94 - Conference Proceedings University of Leeds, U.K. -The Institute of Explosives Engineers. The European Federation of Explosives Engineers & The University of Leeds Department of Mining & Mineral Engineering. p. 15-26.*

- SCOTT, A.
Open pit blast design.
1996. JKMR. T.J. Napier Munn Editor. *The University of Queensland. Austrália.* 339 p.
- SILVA, V.C.
Variáveis que interferem nos problemas ambientais gerados durante os desmontes de rochas.
1998. *Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. São Paulo (SP).* 134 p.
- SISKIND, D.E. & STAGG, M.S.
Environmental effects of blasting and their control.
1997. *Proceedings of the Twenty-Third Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. International Society of Explosives Engineers. Las Vegas, Nevada, USA.* p.575-583.
- SISKIND, D.E.
Vibration from blasting.
2000. *Hardcover. Published by ISEE.* 120 p.
- SOARES, P.C.
Informações sobre sills de diabásio na Bacia do Paraná.
1985. *Rel. DOCEGEO. (inédito).* 18 p.
- SOUZA FILHO, E.E.
Mapeamento faciológico do Subgrupo Itararé na quadrícula de Campinas (SP).
1986. *São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. USP. São Paulo (SP).*
- WALTER, E.
Lithologic variation and vibration effects.
1997. *Proceedings of the 33th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. International Society of Explosives Engineers.*



Degradación de hidrocarburos en terrenos loésicos

Lexow, Claudio ¹ - Bonorino, Alfredo G. ²

Resumen

Se evalúa la tasa de degradación natural de hidrocarburos, por volatilización y biodegradación, en un suelo loésico como resultado de la remediación de un sitio contaminado. Como consecuencia de la rotura de un oleoducto se produjo un derrame de petróleo que afectó una superficie de 22.000 m². Efectuada la reparación de la cañería se iniciaron las tareas de remediación del sitio consistentes en: la remoción de una gran parte del terreno afectado y la reposición del suelo extraído. El sector se caracteriza por suelos de textura limo arenosa que sobreyace a una cobertura sedimentaria loésica que posee una intercalación de tosca de espesor variable. Se tomaron 53 puntos de referencia para el muestro de sedimentos ubicados de acuerdo a una grilla regular en dos sectores próximos a la rotura e irregular en el área más alejada. Las concentraciones iniciales de hidrocarburos en el suelo acusaron a nivel superficial 2.196 mg/kg, a 50 cm 1.599 mg/kg y a 1 metro de profundidad 858 mg/kg. Luego de 380 días de seguimiento periódico se alcanzaron los siguientes tenores medios: 453 mg/kg en superficie; 332 mg/kg a 0,5 metro y 81 mg/kg a 1 metro de profundidad. Se aplicó una ecuación exponencial de primer orden para formular la cinética de la degradación de hidrocarburos, aunque condicionada por la diversidad de factores que gobiernan el proceso, que permite determinar la constante de la velocidad de degradación k' (tiempo⁻¹) del petróleo retenido en el terreno. Las k' determinadas corresponden a: $6,38 \times 10^{-3}$, $5,16 \times 10^{-3}$ y $4,16 \times 10^{-3}$ (días⁻¹) para 0,0, 0,5 y 1 metro de profundidad respectivamente. Estas constantes permiten estimar el tiempo requerido para lograr concentraciones menores a 10 mg/kg, lo cual podría justificar la liberación de un sitio contaminado, y que alcanzarían los 1.070 días para 1 metro de profundidad y 845 días para los terrenos más superficiales. Los resultados obtenidos se relacionan directamente con la actividad microbiana de cada profundidad y las características físicas del terreno que favorecieron la volatilización a la atmósfera de los productos derivados del petróleo bajo las condiciones ambientales imperantes durante el período de control.

1. INTRODUCCIÓN

A raíz de los trabajos que realizaba un equipo de zanjeo, en cercanías de la estación Grunbein, tuvo lugar un accidente que causó la rotura de un oleoducto, de 50 cm de diámetro y enterrado a 0,75 m. de profundidad, que produjo un derrame de hidrocarburo, superior a 1.000 m³, que afectó una superficie cercana a los 22.000 m². El líquido que fluyó aproximadamente durante 20 horas inundó la zanja abierta y otras depresiones cercanas, mientras que a mayor distancia, el aerosol impulsado por el viento, se depositó como una película de espesor variable sobre el terreno. El petróleo se caracteriza por tener una

densidad de 26° a 30° API, moderada cantidad de hidrocarburos saturados y concentraciones relativamente altas de azufre (Cruz et al. 1999). Las medidas correctoras y compensatorias para minimizar los impactos moderados y severos generados consistieron en: a) la remoción inmediata de gran parte del suelo contaminado por petróleo, y b) el rellenado del sitio con material de similares características al contaminado para reestablecer las condiciones originales relacionadas con la textura del suelo y con sus características químicas y mineralógicas. Con el objeto de evitar que se incrementara el área impactada por el derrame de crudo sobre el suelo y la vegetación local, un equipo de trabajo inició, al día siguiente, la tarea de extracción de un importante volumen de material del área afectada, labor que se extendió durante once días. La profundidad de remoción del suelo contaminado fue variable, desde unos diez centímetros, en los sectores alejados, hasta dos metros en las proximidades de la rotura. En promedio en el área se extrajo una capa de

Entregado: 21 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 03 de Octubre de 2001

1. C.I.C.U.N.S. e-mail: lexow@criba.edu.ar

2. C.O.N.I.C.E.T.-U.N.S. e-mail: bonorino@criba.edu.ar

Departamento de Geología - Universidad Nacional del Sur
San Juan 670 - (8000) Bahía Blanca

aproximadamente 40 centímetros de espesor. El suelo removido fue enviado a una planta de tratamiento dedicada a la gestión de residuos industriales. A pesar de la rápida respuesta en remover el material contaminado, las condiciones físicas del terreno facilitaron la percolación de hidrocarburo en fase líquida a una profundidad mayor a las alcanzadas, durante la fase de remoción, con las maquinarias. Estos relictos aislados fueron removidos con un equipo tipo pata de cabra, con el fin de desagregar esos núcleos y conformar una superficie de mayor rugosidad sobre la cual depositar el material de reposición.

La aplicación de un plan de vigilancia ambiental y el control en diversos puntos de muestreo generó una base de datos significativa que permitió evaluar la tasa de degradación natural de hidrocarburos, por volatilización y biodegradación, remanentes en el suelo. Dichos procesos disminuyen notablemente la probabilidad de migración de las sustancias tóxicas desde la superficie contaminada hacia las capas inferiores, minimizando el riesgo de contaminación del agua subterránea.

2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sitio donde tuvo lugar el derrame de hidrocarburos (Fig. 1) se ubica a los 62° 07' de longitud oeste y 38° 47' de latitud sur, en el Partido de Coronel L. Rosales, Provincia de Buenos Aires, en la intersección de la ruta provincial número 229 y la ruta nacional número 3.

Las poblaciones más próximas al sector son: la Villa Gral. Arias, cuatro kilómetros al SE, la estación Grunbein (Partido de Bahía Blanca) seis kilómetros al NO y el Club de Campo Pago Chico a unos 500 metros hacia el sud.

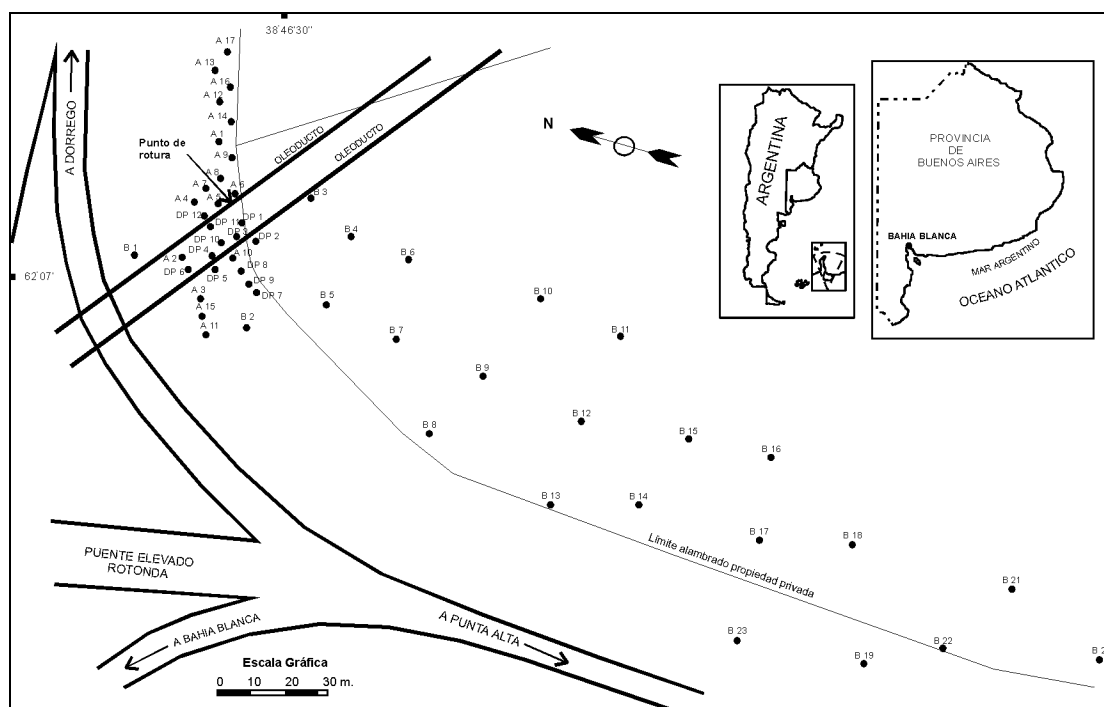
3. METODOLOGÍA

El proceso de evaluación se inició con la realización de un Estudio de Impacto Ambiental destinado a predecir, identificar, valorar y mitigar los efectos causados por el derrame de

hidrocarburos sobre los distintos factores ambientales. Los aspectos más sobresalientes de dicho estudio, que tuvo lugar a los 70 días posteriores de ocurrido el accidente, se refieren a la caracterización del suelo y de la biota a reponer, composición de una grilla de muestreo de sedimentos, muestreo de agua subterránea y seguimiento de la evolución de las concentraciones de hidrocarburos en el terreno.

El muestreo de sedimentos se efectuó por sectores identificados con las letras A, B y DP (Fig. 1), para diferenciar porciones de terreno con distintos grados de afectación. En el A, por ejemplo, se individualizaron las porciones próximas a la zanja inundada por petróleo, el sitio de rotura propiamente dicho y encharcamientos aledaños. En la porción DP se acentuó el control de los terrenos vinculados al ducto paralelo que por sus condiciones físicas diferenciales con el terreno natural potencian la migración de los fluidos. En el sector B se observaron distintas porciones de terrenos subyacentes a encharcamientos menores y afectados por el aerosol de hidrocarburos. En el sector A se muestreó aproximadamente un punto cada 25 m², en el sector B un punto cada 700 m² y en el sector DP las tomas se situaron aproximadamente cada 4 metros, a lo largo de dos direcciones, una paralela y otra perpendicular a los oleoductos. El muestreo se realizó con una barrena helicoidal de 3" de diámetro, tomándose una muestra superficial y cada 0,50 m, en profundidad, totalizando 31, 17 y 21 muestras en los sectores A, B y DP respectivamente. Los puntos fueron posicionados espacialmente y demarcados con estacas que representaron el centro de un área de unos 50 cm² dentro de la cual, aleatoriamente, se ejecutaban los sondeos en cada período de control. La caracterización textural de las muestras se llevó a cabo en laboratorio, determinándose los contenidos de arena, limo y arcilla. Desde el punto de vista químico se analizó el contenido de hidrocarburos totales por cuantificación espectrofotométrica a 450 nm. El control de la atenuación natural de hidrocarburos se desarrolló durante trece meses a través de cinco muestreos periódicos de suelo y su correspondiente determinación química.

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO Y DE LOS PUNTOS DE MUESTREO



El análisis continuo de la evolución de la degradación del hidrocarburo permitió ir valorando la tasa recesiva de la concentración en cada uno de los sitios especificados y particularmente en las distintas profundidades de muestreo.

El concepto "ciclo de vida" (Nyer 1998) es de suma utilidad para diseñar las estrategias principales necesarias para remediar exitosamente un sitio. El contenido básico del mismo, inicialmente aplicado en aguas subterráneas, radica en que la remediación consiste en dos fases separadas: remover la máxima cantidad de masa contaminada y concretar la limpieza del sitio. En este sentido esta segunda etapa fue encarada bajo la noción de atenuación natural (Nyer y Duffin 1998) que se define como la biodegradación, dispersión, dilución, adsorción, volatilización, y/o estabilización química y biológica de los contaminantes para reducir efectivamente la toxicidad, movilidad y volumen de los mismos a niveles que no sean perjudiciales para la salud humana y del ecosistema. Se destacan, por las condiciones establecidas para el proceso de remediación proyectado en esta oportunidad, los procesos de biodegradación y volatilización como los responsables principales de la transformación y eliminación de los productos retenidos en la matriz del suelo. La curva de ciclo de vida debe servir para evaluar un buen diseño de la remediación y en este sentido permitir predecir los cambios en las concentraciones del contaminante en el tiempo.

La aplicación de las ecuaciones clásicas del tratamiento de agua residual al campo de los residuos peligrosos está algunas veces limitada debido a múltiples dificultades: la necesidad de utilizar métodos de tratamiento no convencionales, los efectos de inhibición tóxica, de algunos residuos, la competencia natural de

otros residuos mezclados, la concentración diluida del sustrato, la dificultad de contabilizar pérdidas abióticas que pueden ser significativas y conceptos nuevos en el campo de la ingeniería medioambiental como pueden ser co-metabolismo y sustrato primario (La Grega et al. 1996). La mayoría de los casos de contaminación del suelo y agua subterránea implican concentraciones diluidas de constituyentes peligrosos (por ejemplo ppb). Mientras que esta baja concentración de residuo puede ser todavía perjudicial para los receptores, puede no ser suficiente para mantener la biomasa necesaria para el tratamiento. En este caso en particular las concentraciones encontradas no son perjudiciales para afectar a la función de la biomasa. Es posible describir el proceso mediante la implementación de una ecuación exponencial de primer orden que permite determinar la constante de degradación k' (tiempo⁻¹) que se expresa de la siguiente manera:

$$S = S_0 e^{-k' t}$$

dónde S es la concentración del sustrato a un tiempo t, S_0 la concentración inicial del mismo y k' la constante de la velocidad de degradación de primer orden (tiempo⁻¹).

4. CLIMA

La información meteorológica es de suma importancia para definir un aspecto del comportamiento de los efluentes sólidos, líquidos y gaseosos que son liberados al medio. Los datos meteorológicos (Tabla 1) corresponden al período 1980-1989 y proceden de una estación meteorológica instalada en el Club Náutico Bahía Blanca en Ing. White (38° 47' LS, 62° 16' LW).

TABLA 1: RESUMEN DATOS METEOROLÓGICOS CORRESPONDEN AL PERÍODO 1980-1989

	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Viento (Km/h)	Evaporación (mm)
Mínima	7,5 (en junio y julio)	102 (en invierno)	13,4 (mayo y junio)	69 (en junio)
Media (anual)	15,1	610	14,6 (direc pred. N - NW)	1496
Máxima	22,7 (en enero)	187 (en otoño)	16,3 (en febrero)	214 (en enero)

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen (1948) el clima es de transición entre "templado húmedo" (CF) que categoriza a la llanura bonaerense y el de "estepa" (BS), dominante en la patagonia. Según los índices climáticos de Thornthwaite (1948) es subhúmedo-húmedo, mesotermal con nula a pequeña deficiencia de agua y concentración térmica estival.

El balance hidrológico modular anual, de paso mensual, permite realizar una primera aproximación de los meses o estaciones del año que se producen excesos o déficits hídricos. Desde el punto de vista hidrológico, se considera estación húmeda o mes húmedo, cuando el valor de la precipitación supera a la

evapotranspiración potencial y viceversa para un período de tiempo seco.

En la Tabla 2, se exponen los datos medios mensuales de precipitación (P) y evapotranspiración potencial (ETP) calculada con la metodología clásica de Thornthwaite (1948) en base a los registros termométricos referenciados anteriormente. Los valores de AH positivos indican una mayor probabilidad de que ocurran excesos hídricos factibles de escurrir superficialmente o infiltrarse, mientras que los valores negativos indican déficit hídrico.

TABLA 2: BALANCE HIDROLÓGICO MODULAR ANUAL SIMPLIFICADO (en mm de lámina de agua)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
P	55	42	85	56	46	37	34	31	56	56	50	65	613
ETP	138	106	87	50	26	17	17	24	33	60	92	121	771
AH	-83	-64	-2	+6	+20	+20	+17	+7	+23	-4	-42	-56	-158

El otoño y el invierno constituyen las estaciones húmedas del año hidrológico (AH positivos), mientras que la primavera y el verano son las estaciones secas.

Cabe destacar que a la fecha del accidente el viento sopla desde el N incrementando su velocidad por encima de los valores promedio, desde 25,7 km/h hasta 33,8 km/h. Los factores meteorológicos, viento y precipitación, influyeron de diferente forma en la magnitud del impacto provocado por el derrame de petróleo puesto que: a) el viento ayudó a distribuir el aerosol de petróleo a una distancia mayor que la alcanzada por el líquido propiamente dicho, llegando a unos 400 metros hacia el sur del punto de rotura del oleoducto y afectó sólo superficialmente la masa herbácea y b) la primera lluvia ocurrió siete días después y se infiere que gran parte fue evaporada, teniendo en cuenta la tasa de evaporación diaria del lugar. Por tal razón se asume que no ha habido posibilidades de que algún excedente de agua pudiera haber disuelto parte del hidrocarburo e infiltrarse en el suelo. Como al producirse dicha precipitación la masa de suelo con petróleo había sido retirada casi totalmente no afectó la magnitud del impacto ambiental.

5. GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA

El sector forma parte de un área en pendiente, con gradientes topográficos locales superiores al 1%. Los suelos se desarrollan sobre una capa de sedimentos eólicos Holocenos de textura franco arenosa que suprayacen, en clara discontinuidad litológica, a un horizonte petrocálcico (capa de tosca) que corona los sedimentos pampeanos (Fidalgo et al. 1975) predominantemente limo arenosos a arcillosos.

Los suelos presentan escaso desarrollo, con secuencias de horizontes de tipo Ap-C-Ck-2Ckm en relieve plano normal y Ap-C-2Ckm en las nacientes de una difusa vía de escurrimiento que corta la planicie. Los horizontes Ap presentan contenidos medios a bajos de materia orgánica y nitrógeno total y bajos tenores de fósforo disponible. El lavado de carbonato de calcio presente en el material parental, afecta sólo a los horizontes superficiales.

El muestreo de material sedimentario se llevó a cabo hasta la presencia, en profundidad, de un horizonte calcáreo (tosca), muy compacto. Los análisis granulométricos indican que sobre este nivel, situado entre los 0.5 m y 1 m de profundidad, el material predominante es arenoso con las fracciones limo y arcilla subordinadas, poco estructurado, en condiciones no perturbadas que varía a un material predominantemente areno-limoso de densidad aparente muy variable. En otros sectores el horizonte calcáreo pudo ser atravesado en su totalidad por presentar condiciones diferentes de compactación, espesor y grado de fracturación. Por debajo de la tosca se muestreó un sedimento limoso con arena y arcillas en menor proporción, hasta una profundidad máxima de 2,5 a 3 m que pudo lograrse en los puntos referenciados como: A3, DP11, A10 y DP2.

6. HIDROLOGÍA

La línea de ruptura de pendiente, dada por la erosión de los niveles de tosca, que se ubica algo al norte del sector estudiado, conforma un sector inclinado en el que son visibles algunas vías de drenaje superficial de carácter esporádico. No obstante, estos escurrimientos tienen muy escaso recorrido debido a la infiltración inmediata en los suelos arenosos que predominan en estas áreas de pendiente, por lo que la probabilidad de ocurrencia de inundaciones, tanto encausadas como mantiformes, en el sector se encuentra muy disminuida.

Los sedimentos pampeanos conforman la zona no saturada y el acuífero libre del sector. Se trata de un acuífero del tipo multicapa cuyo nivel freático se localiza, en el lugar de estudio, a unos 15 metros de profundidad y su espesor supera los 100 metros. La red de flujo subterránea local del área de estudio en general permite señalar una dirección predominante del flujo de noreste a suroeste, en concordancia con la pendiente topográfica del sector. Se trata de aguas con baja salinidad, blandas, bicarbonatadas cloruradas sódicas y que presentan altas concentraciones de fluoruros y arsénico.

Las determinaciones de permeabilidad saturada (Ks) de los terrenos afectados fueron obtenidas por medio del uso de un infiltómetro de tensión (Hussen y Warrick 1995). Se llevaron a cabo tres ensayos que arrojaron como resultados valores de 0,19, 1,14 y 1,63 m/d. Los mismos corresponden al rango esperado para este tipo de suelos, limosos y franco arenosos (van Genuchten et al. 1991). Estas determinaciones corresponden a condiciones de flujo mátrico y flujo por macroporos o fracturas. Es decir, que al considerar la macroporosidad se pueden esperar variaciones de Ks de hasta un grado de magnitud.

7. RESULTADOS

El estado inicial (t_0) se fijó al momento de efectuar el estudio de impacto ambiental, 70 días posteriores al accidente, es decir los resultados químicos se realizaron sobre las muestras de sedimentos que no fueron removidos del sitio. En ese instante se tomaron muestras de suelo sobre terreno natural no afectado por el derrame (blancos) que indicaron ausencia de hidrocarburos.

Las concentraciones iniciales de hidrocarburos en el suelo acusaron tenores desde 3 mg/kg hasta 14.000 mg/kg con un valor medio de 1.792 mg/kg. A nivel superficial la media fue de 2.196 mg/kg, a 50 cm de 1.599 mg/kg y a 1 metro de profundidad de 858 mg/kg. Solo en dos puntos se detectó hidrocarburo a 2 metros de profundidad con una concentración menor a 50 mg/kg.

Los análisis correspondientes al sector A presentan un valor medio de hidrocarburo de 1.890 mg/kg, mientras que el máximo encontrado fue de 14.000 y el mínimo de 10 mg/kg. Los resultados marcan una gran dispersión de las concentraciones propios del fenómeno en cuestión y de las condiciones heterogéneas del medio.

Los puntos más afectados fueron los identificados como: A5, A7, A9, A11, A14 y A15. Los dos primeros se encuentran muy próximos al sitio de rotura del oleoducto, mientras que el A9 y A14 se localizan en proximidades de la zanja que estaba siendo excavada al momento del accidente (Fig. 1).

El sector correspondiente a los pozos A3, A15 y A11 se vio particularmente afectado probablemente por algún encharcamiento de petróleo en superficie. Esta situación pudo haber contribuido en maximizar el flujo del crudo hacia los niveles inferiores del terreno en condiciones de mayor grado de fracturación de la capa de tosca; situación claramente ejemplificada en el punto A15, en donde se determinó hidrocarburo hasta los 2 metros de profundidad.

Las muestras correspondientes al sector DP contienen tenores máximos de 11.400 y mínimos de 25 mg/kg, con un valor medio de 981 mg/kg. La mayor concentración fue determinada en la muestra superficial del punto DP6. En la mayoría de las muestras localizadas en proximidades del ducto paralelo se determinaron concentraciones de hidrocarburos importantes y es posible que ello se deba a que el material de relleno, con menor

grado de compactación, es más permeable al fluido contaminante. En el pozo DP11 se alcanzó a determinar hidrocarburo a una profundidad de 2 metros.

Los resultados analíticos sobre las muestras del sector B muestran concentraciones mínimas de 3 y máximas de 8.000 mg/kg, con un valor medio de 2.575 mg/kg. Al igual que en los casos anteriores, la dispersión de los resultados es muy alta. La distribución espacial de las concentraciones se debe al modo de ocurrencia del accidente. El aerosol afectó a todo el sector, en mayor grado al terreno próximo y en menor grado a los sitios más alejados. Sin embargo tuvo lugar una distribución propia causada por el encharcamiento del líquido en superficie a causa de la presencia de pequeñas depresiones del terreno (micromorfología).

Luego de 380 días de seguimiento y control se han observado una significativa disminución de las concentraciones

medias de hidrocarburos contenidas en el suelo que alcanzaron 453 mg/kg en superficie; 332 mg/kg a 0,5 metro y 81 mg/kg a 1 metro de profundidad (Fig. 2). De la misma manera se presentan en la Tabla 3 las variaciones clasificadas de acuerdo al sector de muestreo. El incremento notable encontrado en el cuarto muestreo, once meses después del accidente, se debería a una redistribución y movilización del contaminante causada por las condiciones pluviométricas antecedentes al muestreo. Cuando existen núcleos de compuestos orgánicos en concentraciones límites al punto de saturación residual, fomentados por la heterogeneidad natural del terreno, puede tener lugar un proceso de disolución significativa que facilita la movilidad, tanto a vertical como horizontal, de los componentes del crudo, inducida por la circulación de agua infiltrada (Devitt *et al* 1987).

La capa freática no acusó cambios en su composición como producto de la lixiviación de hidrocarburos que podrían haberla alcanzado.

FIGURA 2: EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS POR NIVELES DE MUESTREO

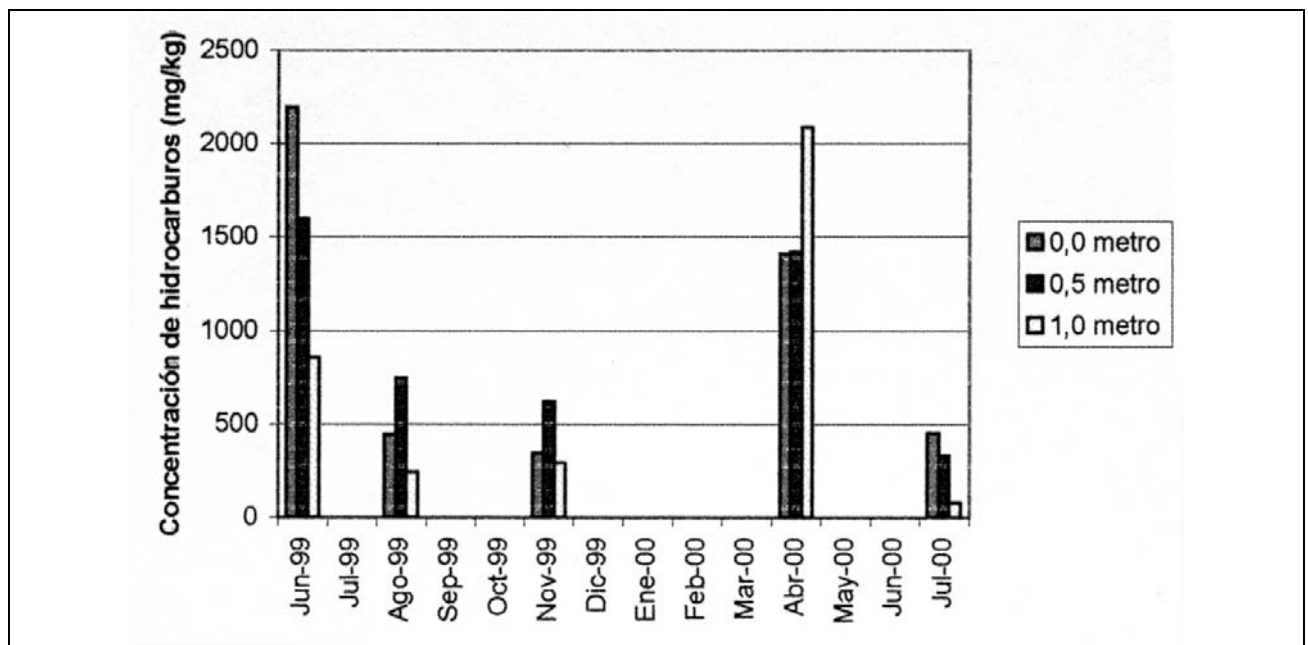


TABLA 3: VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS POR SECTORES DE MUESTREO

Parámetros	SECTOR A					SECTOR DP					SECTOR B				
	14-06-99	23-08-99	17-11-99	03-04-00	06-07-00	14-06-99	23-08-99	17-11-99	03-04-00	06-07-00	14-06-99	23-08-99	17-11-99	03-04-00	06-07-00
Valor medio (mg/kg)	1989	483	393	706	243	981	752	640	2916	213	2575	293	225	807	954
Desviación estándar	4017	706	594	1231	518	2493	850	727	2837	211	3177	754	577	2172	2115
Valor máximo (mg/kg)	14000	2376	1776	5200	2400	11400	2880	2044	7710	736	8000	3144	1948	7320	6400
Valor mínimo (mg/kg)	10	12	6	0	0	25	50	11	0	8	3	18	0	0	0

La ecuación para determinar la constante de la velocidad de degradación se aplicó considerando las concentraciones $S_0(t=0)$ y $S(t=380)$ en cada punto de muestreo que al tiempo t continuaban acusando concentraciones de hidrocarburos. Las k' medias definidas son de $6,38 \times 10^{-3}$ (días⁻¹) para las muestras superficiales, $5,16 \times 10^{-3}$ (días⁻¹) para las de 0,50 m de profundidad y $4,16 \times 10^{-3}$ (días⁻¹) para las de 1 metro de profundidad. A fin de determinar el tiempo necesario para la "limpieza del sitio" se propone una concentración límite en el suelo de 10 mg/kg de hidrocarburos totales. Dicho límite surge de considerar que los resultados analíticos de dicha determinación pueden enmascarse con las sustancias húmicas contenidas en el suelo. El valor es además muy conservador por cuanto señala que las concentraciones límites de hidrocarburos no tóxicas para bacterias y hongos naturales en el suelo no deben superar los 100 µg/g (Riser-Roberts 1992). Para reducir las concentraciones en el suelo a valores menores a 10 mg/kg, y poder justificar la liberación del sitio contaminado, serían necesarios 845 días para los niveles más superficiales y 1070 días para 1 metro de profundidad, considerando las condiciones ambientales impuestas en el sitio durante el período de control.

9. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CRUZ, C.E., F. ROBLES, C.A. SYLWAN Y H.J. VILLAR, 1999.
Los sistemas petroleros jurásicos de la Dorsal de Huincul. Cuenca Neuquina, Argentina.
IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. I:177-195. Mar del Plata.
- DEVITT, D.A., R.B. EVANS, W.A. JURY Y T.H. STARKS, 1987.
Soil gas sensing for detection and mapping of volatile organics.
National Water Well Association. 270 pp. Ohio, USA.
- FIDALGO, F., F.O. DE FRANCESCO Y R. PASCUAL, 1975.
Geología superficial de la llanura bonaerense.
VI Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca. Relatorio: 103-138.
- HUSSEN A.A. Y A.W. WARRICK, 1995.
Tension infiltrometers for the measurement of vadose zone hydraulic properties.
Handbook of vadose zone characterization and monitoring. Lewis Publishers. 189-201 pp. USA.
- KÖEPPEN, W., 1948.
Climatología; con un estudio de los climas de la tierra.
Fondo de Cultura Económica, 478 pp. México.
- LA GREGA, M.D, BUCKINGHAM, P.L. Y J.C. EVENS, 1996.
Gestión de residuos tóxicos.
Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos. McGraw-Hill Ed., 1316 pp. España.
- NYER, E.K, 1998.
Life cycle design for in-situ remediation.
En Groundwater and soil remediation - Practical methods and strategies. Ann Arbor Press, 226 pp. USA.
- NYER, E.K. Y M.E. DUFFIN, 1998.
The state of the art of bioremediation.
En Groundwater and soil remediation - Practical methods and strategies. Ann Arbor Press, 226 pp. USA.
- RISER-ROBERTS, E., 1992.
Bioremediation of petroleum contaminated sites.
C.K. Smoley Ed., 197 pp. USA.
- THORNTHWAITE, C.W., 1948.
An approach toward a rational classification of climate.
Reprinted from the Geographical Review, XXXVIII (1): 55-94.
- VAN GENUCHTEN, M.TH., F.J. LEIJ Y S.R. YATES, 1991.
The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils.
EPA/600/2-91/065. IAG-DW 12933934. 117 pp.

8. CONCLUSIONES

Se demuestra que una rápida actuación luego del accidente, un día, máxima remoción posible del material contaminado, contribuyó significativamente en la implementación posterior de estrategias alternativas de recuperación a muy bajo costo. En este sentido, el mantenimiento de una superficie vegetalmente activa y con condiciones físicas favorables para la supervivencia de microorganismos fue responsable principal de la transformación y desintegración de los hidrocarburos retenidos en el suelo.

Las constantes de velocidad de degradación se corresponden directamente con la actividad microbiana de cada profundidad y las características físicas del terreno que favorece la volatilización a la atmósfera de los productos derivados del petróleo.

La determinación de la cinética de la degradación no fue posible de alcanzar en todos los puntos de muestreo. Las causas se atribuyen a la metodología del muestreo de suelo, ya que si bien en un punto se selecciona una cierta profundidad para la toma, la misma no puede ser repetida posteriormente y, por lo tanto, según la posición espacial elegida se pueden muestrear sedimentos con concentraciones muy disímiles de hidrocarburos. Este fenómeno se acentúa, sobre todo, en los niveles más profundos que puede alcanzar el fluido por caminos preferenciales producto de una mayor densidad de fisuras o variaciones granulométricas.



Examen petrográfico aplicado al estudio del hormigón de una ruta interurbana con evidencias de deterioro

Maiza, Pedro J.^{1,2} - Marfil, Silvina A.^{1,3}

Resumen

El camino que une la ciudad de Bahía Blanca con Puerto Galván, presenta problemas de deterioro prematuro, manifestado por el desarrollo de fisuras, achicamiento de las juntas de dilatación y elevación del nivel del pavimento.

El propósito del trabajo es determinar, mediante el estudio petrográfico del hormigón, la patología que presenta.

Se evaluaron los constituyentes de los agregados finos y gruesos y las características del mortero. Se concluyó que el deterioro se produjo por el desarrollo de la RAS, debido al uso de un agregado potencialmente reactivo, con elevado contenido de vidrio volcánico y vulcanitas vítreas.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años han comenzado a presentarse problemas de deterioro en pavimentos de hormigón de la zona de Bahía Blanca, (Prov. de Bs. As.) debido al desarrollo de la reacción álcali - sílice (Marfil *et al.* en prensa).

Los yacimientos que proveen la arena utilizada en la industria de la construcción, poseen materiales no aptos, desde el punto de vista petrográfico, para ser utilizados como agregados en hormigón, ya que no cumplen con los valores establecidos en las normas IRAM 1649 y 1531. (Maiza *et al.* 1997).

Los agregados gruesos disponibles en la zona, tienen composición variable. Se utilizan piedra partida de granitos y cuarcitas y cantos rodados. Los últimos están constituidos principalmente por vulcanitas con un elevado porcentaje de vidrio volcánico, tanto fresco como alterado, principalmente a minerales arcillosos (Marfil *et al.* 1993). En muchos casos, en los estudios petrográficos se agrupa a un porcentaje importante de los clastos como "alteritas". Litológicamente son heterogéneos pero están enmascarados por crustificaciones, especialmente

carbonato de calcio (tosca) o alteraciones superficiales que no permiten determinar la composición de los granos o fragmentos analizados, englobando agregados inocuos y reactivos debido a que no se diferencian a ojo desnudo.

El estudio realizado sobre un corte de aproximadamente 20 - 30 μ de espesor, con microscopio de polarización, permite asegurar la composición mineralógica y petrográfica de los componentes y diferenciar claramente todos los minerales y las texturas de los componentes.

El propósito del presente trabajo es definir la patología que presenta el hormigón a partir del examen petrográfico sobre secciones delgadas.

2. RESULTADOS

Relevamiento de la obra:

El tramo estudiado, camino que une Bahía Blanca con Puerto Galván, se extiende desde el cruce con la ruta nacional N° 3 hasta la rotonda de acceso al puerto de Ing. White.

Las losas de pavimento tienen dimensiones de 12,30 m x 3,65 m, unidas transversalmente y en la parte central del camino con material elástico.

El deterioro observado puede agruparse en dos tipos:

- a) Producido por fatiga del hormigón y
- b) Desarrollo de la RAS.

Entregado: 16 de Julio de 2000 ■ Aceptado: 21 de Julio de 2001

1. Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur.
San Juan 670. 8000 Bahía Blanca. TE: 0291-4595184.
FAX: 0291-4595148. email: smarfil@criba.edu.ar.

2. Investigador Independiente CONICET.

3. Investigador Adjunto CIC.

a) *Producido por fatiga del hormigón:*
Está concentrado en sectores específicos donde ha cedido la base, por ejemplo: zonas próximas a los ángulos externos de las placas, en curvas de la traza, donde se produce una distribución de cargas heterogénea o en cortes por obras posteriores que no lograron la compacidad necesaria del sustrato en la reparación. En estos casos siempre se observa hundimiento de la masa de hormigón.

b) *Desarrollo de la RAS:*
Se manifiesta por el fracturamiento en forma de mapa, aumento de las dimensiones de la placa, con estrechamiento de las juntas de dilatación, elevación del nivel del rasante, desarrollo de exudados, entre las características más notorias que definen esta patología.

En este trabajo sólo se analizó el desarrollo de la RAS.

Si bien un fracturamiento incipiente se presenta en todos los sectores de las placas, es evidente que se concentra en los contactos entre placas, especialmente en los transversales. No se observaron mayores deterioros en la unión central ni en la parte externa, en contacto con el material consolidado de las banquinas. En numerosos sitios se ha procedido a la reparación de las zonas dañadas ya que en su evolución dificultaba el libre tránsito. Se tomaron muestras de hormigón de las zonas afectadas con el objeto de realizar un estudio petrográfico de detalle.

Petrografía del hormigón:

El estudio petrográfico del hormigón puede dividirse en dos grandes estadios:

2.1. Composición de los agregados finos y gruesos.

2.2. Estado de la pasta y relación agregado - mortero.

2. 1. Composición de los agregados:

2.1.1 Agregados finos: Es una arena constituida por cuarzo, feldespato, rocas graníticas, carbonato de calcio, vidrio volcánico, cuarcitas, minerales opacos y vulcanitas básicas frescas, alteradas y vítreas.

Las rocas graníticas contienen cuarzo con extinción ondulante y el feldespato está levemente sericitizado.

El vidrio se encuentra fresco, se presenta en forma de trizas, de color ámbar a incoloro. Su contenido supera el 10 %.

En la figura 1a se muestran las características del agregado fino con luz paralela, donde es posible identificar abundante vidrio volcánico (vv), en forma de trizas, de color ámbar e incoloro y las vulcanitas básicas vítreas (vbv). En la figura 1b se observa otro sector de la muestra con nicoles cruzados, con lo que es posible visualizar el cuarzo con extinción ondulante (q), feldespato (f), rocas graníticas (g), cuarcitas (qz), carbonato (c) y vulcanitas básicas con pastas microcristalinas (vb). Es importante estudiar en detalle las vulcanitas, en especial la composición de la pasta y grado de alteración que presentan. En la figura 1c se muestra (con nicoles cruzados) un clasto de una roca volcánica básica constituida por fenocristales de plagioclasa (p), con la pasta vítrea (pv). En algunos sectores se observa que el vidrio ha sufrido un proceso de alteración con la formación de montmorillonita (m). En la figura 1d, se muestran (con luz paralela), 2 clastos de vulcanitas básicas con pasta microcristalina (vb) constituidas por tablillas de plagioclasas, (p). Estas últimas se comportan como inocuas, las relaciones entre la interfase agregado-mortero conservan la textura original, mientras que en las

rocas observadas en 1c, ha sido totalmente modificada. Estas son altamente reactivas frente a la RAS.

2.1.2 Agregados gruesos: Están constituidos por rocas graníticas y cuarcitas. Las primeras tienen cuarzo con extinción ondulante y textura sacaroides, localmente gráfica o micrográfica. El tamaño de los cristales es heterogéneo con predominio de los pequeños y el feldespato está levemente sericitizado. El mafito por lo general es biotita con algo de hornblenda. Son escasos los opacos y minerales accesorios entre los que se destaca apatito, epidoto y magnetita.

La cuarcita está constituida por clastos de cuarzo con extinción ondulante con una matrix de cuarzo microcristalino. Algunos clastos presentan fuerte sericitización.

La figura 1e corresponde a un clasto del agregado granítico (con nicoles cruzados), en el que se observa la fuerte sericitización del feldespato potásico (f). La plagioclasa se presenta más o menos fresca (p); el cuarzo (q) con textura en mosaico, localmente sacaroides, presenta extinción ondulante. Se identificó epidoto intersticial y escasa muscovita. En la figura 1f se observa la roca cuarcítica (qz) constituida por granos de cuarzo en una matrix de cuarzo fino, ambos con fuerte extinción ondulante.

2. 2. Estado de la pasta:

El mortero se presenta fisurado. Las fracturas afectan a la pasta y a los clastos de los agregados. Se observan productos de reacción en el interior de cavidades de aire accidental y en algunas microfisuras. Se trata de un mineral de muy baja birrefringencia adjudicado por sus propiedades ópticas a ceolitas.

En algunos sectores es posible observar fisuramiento en forma de mapa, típico de la reacción álcali - sílice.

Los contactos entre agregados y mortero no son netos, en especial los de los agregados cuarcíticos donde se desarrollan senos de corrosión y fracturas, algunas de ellas rellenas con ceolitas.

En la figura 2a se representa, con luz paralela, una vista general del hormigón, donde es posible visualizar el fisuramiento de la pasta (f), la relación entre los clastos y el mortero, coronas de reacción, bordes con claras evidencias de caries y contactos difusos. La figura 2b muestra un detalle de las fracturas en forma de mapa. Se desarrollan a partir de una cavidad de aire accidental colmatada con el producto de la reacción (ceolita) (z). En la figura 2c se visualizan las microfisuras producidas en las zonas de contacto entre el agregado grueso (ag) y el mortero (m), con continuidad en la pasta, afectando clastos del agregado fino. En la figura 2d se observa que los contactos agregado - pasta son muy difusos y se desarrollan ceolitas en el interior de cavidades de aire accidental. En la figura 2e se visualizan los bordes de reacción y senos de corrosión desarrollados en los clastos reactivos. La figura 2f muestra que el fisuramiento del hormigón afecta a los clastos y al mortero.

3. CONCLUSIONES

- El tipo de fracturas y los productos de reacción identificados permiten concluir que el deterioro del pavimento se debió al desarrollo de la reacción álcali-sílice.
- La causa de la patología es la presencia de vidrio volcánico y vulcanitas con pastas vítreas en el agregado fino y el cuarzo microcristalino y con extinción ondulante de las cuarcitas del agregado grueso.

- Si bien no se conoce el contenido de Na_2O equivalente del cemento utilizado en la elaboración del pavimento, se asume que debió ser elevado y contribuyó al desarrollo de la RAS.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. y a la UNS por el apoyo brindado y al Sr. Rodolfo Salomón por la colaboración en la compaginación de las fotomicrografías.

FIGURA 1: 1a. CLASTOS DEL AGREGADO FINO VISTO CON LUZ PARALELA. vbv: vulcanita básica vítrea vv: vidrio volcánico. 1b. AGREGADOS FINOS, CON NICOLES CRUZADOS. vb: vulcanita básica; g: roca granítica; c: carbonato de calcio; qz: cuarcita. 1c. DETALLE DE UN CALASTO DE VULCANITA BÁSICA VÍTREA. (vbv) con procesos de desvitrificación. f: feldespato; m: montmorillonita. 1d. VULCANITAS BÁSICAS, CON LUZ PARALELA. vb: vulcanita básica; q: cuarzo; f: feldespato. 1e: AGREGADO GRUESO GRANÍTICO. f: feldespato; q: cuarzo; p: plagioclasa. 1f. AGREGADO GRUESO CUARCÍTICO (qz) con matrix de cuarzo fino y con extinción ondulante.

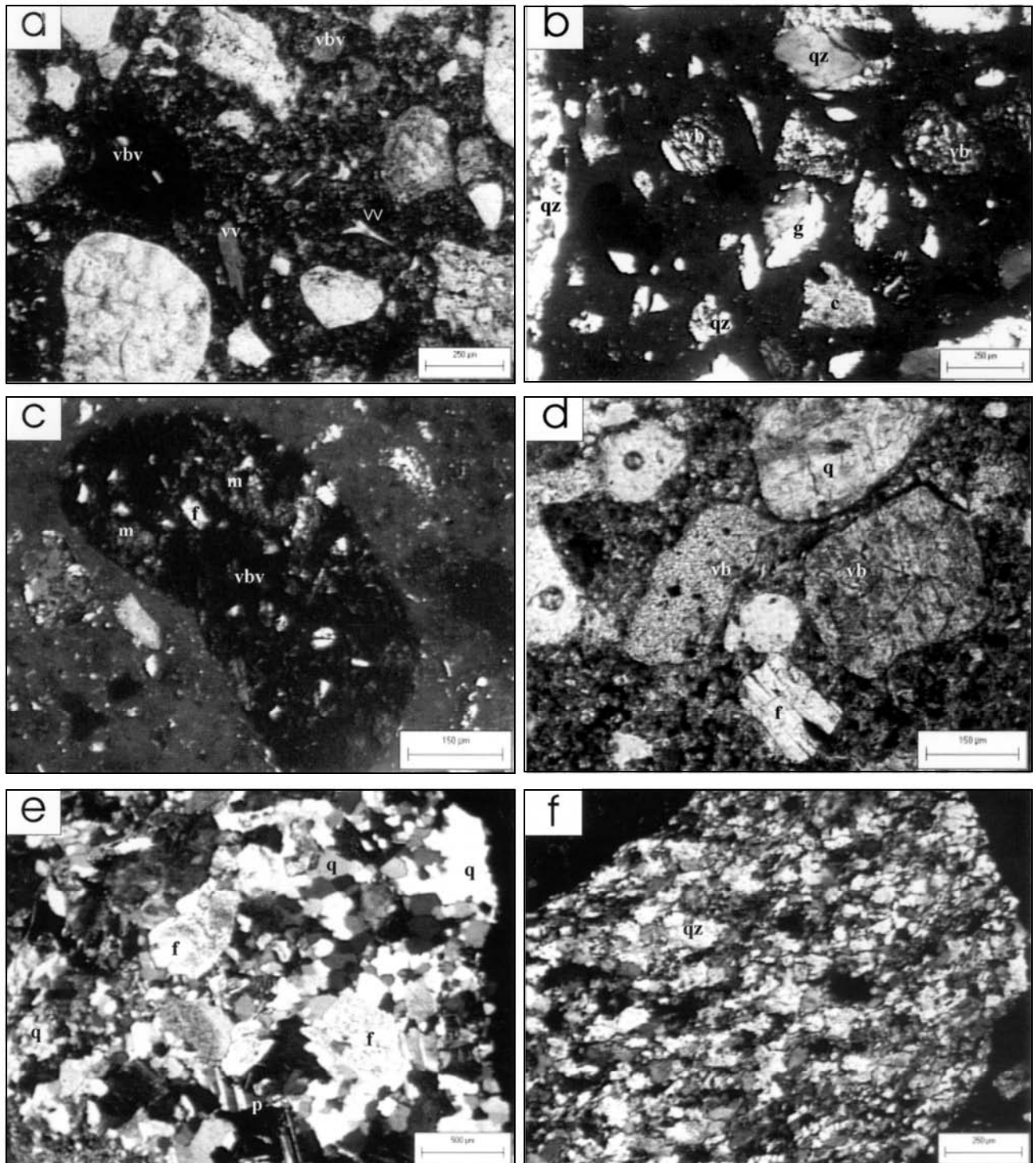
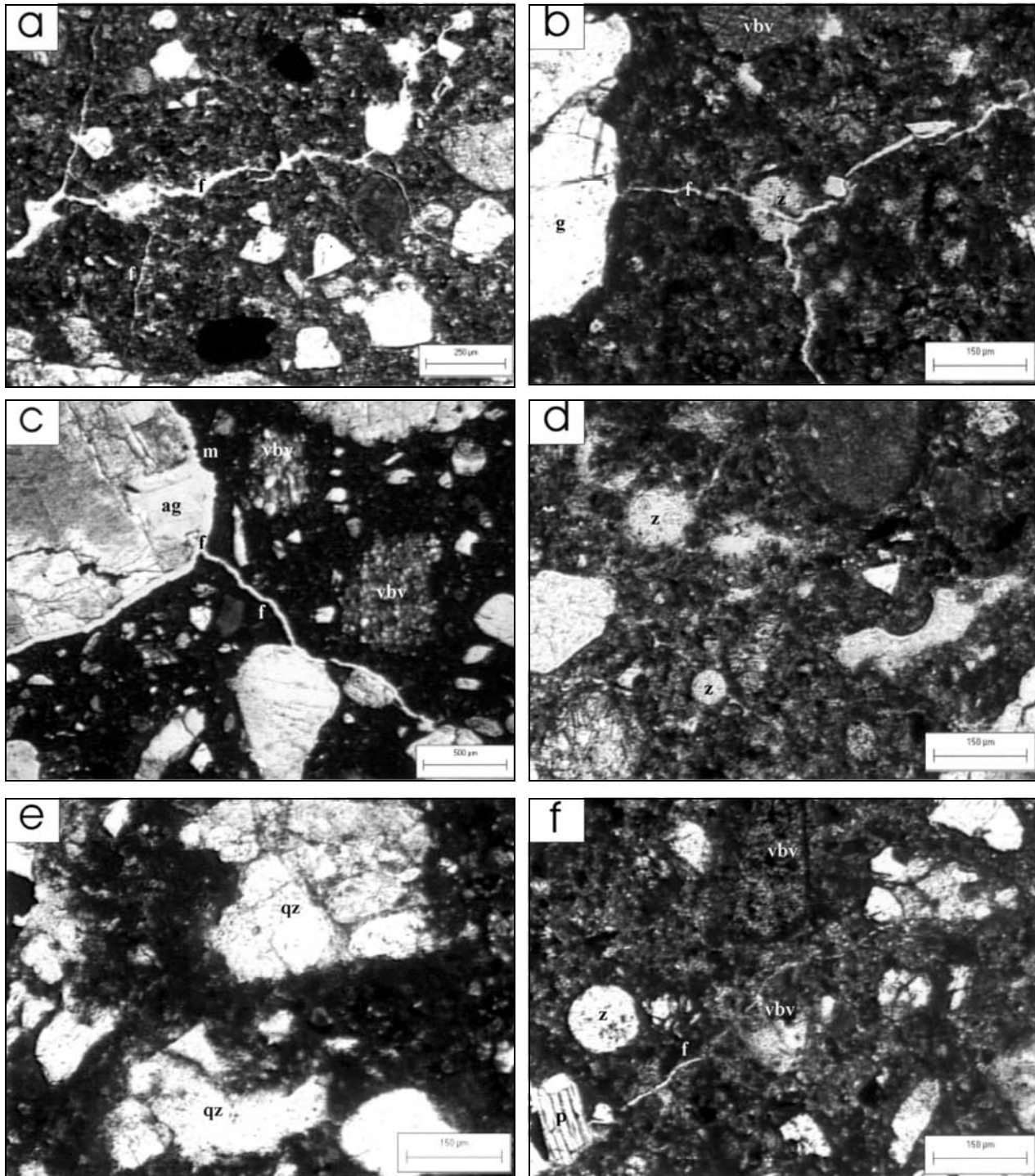


FIGURA 2: 2a. VISTA DEL HORMIGÓN CON LUZ PARALELA. Se observa importante fisuramiento (f) de la pasta. 2b. DETALLE DE UNA FISURA EN FORMA DE MAPA, desarrollada a partir de una cavidad de aire colmatada con ceolita (z); g: roca granítica; vbv: vulcanita básica vítrea. 2c. MICROFISURAS (f) en los contactos agregado grueso (ag) - mortero (m) con continuidad en la pasta; vbv: vulcanita básica vítrea. 2d. CEOLITAS (z) en el interior de cavidades de aire accidental. Los contactos agregado - pasta son difusos. 2e. BORDES DE REACCIÓN Y SENOS DE CORROSIÓN EN AGREGADOS REACTIVOS; qz: cuarcita. 2f. EL FISURAMIENTO (f) afecta la pasta y los agregados reactivos; vbv: vulcanita básica vítrea; f: feldespato; z: ceolita



5. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

IRAM 1531.

Aridos gruesos para hormigones de cemento portland. 1-21.

IRAM 1649.

Aridos para hormigones.

Examen petrográfico. 1-10.

MARFIL S. A. Y P. J. MAIZA, 1993.

Los agregados gruesos utilizados en la zona de Bahía Blanca (Prov. de Bs. As.), en relación con la reacción álcali agregado.

Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Tecnología del Hormigón. Córdoba. Memorias. I: 1-10.

MAIZA P. J. Y S. A. MARFIL, 1997.

Principales yacimientos de arena, canto rodado y piedra partida, utilizados en la construcción en la zona de Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires.

Primer Seminario de Tecnología del Hormigón en la Vivienda del Mercosur. Memorias. Santa Fe. 253-264.

MARFIL S. A. Y P. J. MAIZA (EN PRENSA).

Pavimento de hormigón deteriorado por la reacción álcali-sílice en un complejo edilicio de la ciudad de Bahía Blanca.

Congreso de Ingeniería 2000. Buenos Aires. Setiembre 2000.



Diseño del proyecto didáctico “Geomorfología aplicada”

Mansilla, Lilyán del Valle - Peme Aranega, Carmen - Karlsson, Alicia

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar el diseño un proyecto didáctico innovador, planificado en una estructura racional flexible para facilitar las tareas prácticas de campaña y el aprendizaje de los estudiantes de segundo año de la carrera de Geología en la Cátedra de Geomorfología. El proyecto se desarrolló en el marco del XXII Seminario Taller de Posgrado de Didáctica para docentes universitarios de Ciencia y Tecnología, en la Universidad Nacional de Córdoba. Para alcanzar los objetivos propuestos se planificaron una serie de estrategias didácticas de enseñanza/aprendizaje. Se confeccionaron guías individuales y grupales, de estudio y de trabajo. Las de trabajo organizadas en Actividades de Gabinete y en Actividades de Campaña.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se llevó a cabo el diseño de un proyecto didáctico correspondiente a la unidad temática “Geomorfología aplicada”. En primera instancia se trabajaron los fundamentos teóricos que enmarcan el diseño del proyecto. En segundo término se diseñaron los distintos aspectos del proyecto: contenidos semánticos y sintácticos, objetivos, actividades, estrategias y formas de evaluar aprendizajes. Peme - Aranega (1999).

2. METODOLOGÍA

2.a. Selección de contenidos

Se seleccionaron los contenidos según criterios lógicos, o epistemológicos (CL), psicológicos (CP) y socioculturales (CS).

Criterios lógicos o epistemológicos: se seleccionaron aquellos contenidos que presentasen *fertilidad lógica, conexiones múltiples, estabilidad y permanencia, extensibilidad, simplicidad y causalidad*. Fernández Uría (1979).

Criterios psicológicos: se priorizaron los contenidos susceptibles de ser relacionados con los conocimientos previos de los alumnos. Colaborando así en la creación de hipervínculos sustantivos para que se produjesen *aprendizajes significativos*, Ausubel (1968). Los contenidos debían cumplir con las

condiciones de *significatividad lógica y significatividad psicológica*. Basándonos en la experiencia docente también se consideraron las *motivaciones* de los alumnos. Se seleccionaron contenidos *funcionales*, aquellos que les permitiesen realizar relaciones entre lo ya aprendido con los nuevos contenidos y las futuras situaciones problemáticas. Esto genera la *funcionalidad* de los mismos, es decir que los conocimientos puedan ser efectivamente utilizados.

Criterios socioinstitucionales: se realizaron en un marco de apoyo e integración de la asignatura Geomorfología con otras presentes en el proyecto educativo institucional (PEI), pretendiendo propiciar en el estudiante una mejor comprensión de su medio natural y social a través del conocimiento científico - tecnológico del objeto de estudio para producir una respuesta eficaz a los requerimientos de la comunidad.

2.b. Secuenciación de contenidos

Esta tarea se efectuó también, mediante la utilización de CL, CP y CS,

Criterios lógicos: en el presente proyecto se utilizó la estructura de modelo bidimensional debido a la relación existente entre las dimensiones sintáctica y semántica, expresando las relaciones entre éstas y semantizándolas en un todo coherente lógico y significativo. (Aranega - De Longhi, 1987).

Criterios psicológicos: se empleó el modelo Ausubeliano de secuenciación en el que los conceptos fundamentales poseen una estructura jerárquica y relacional de acuerdo a las leyes del aprendizaje significativo.

Entregado: 27 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 03 de Diciembre de 2001

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales. Escuela de Geología. Cátedra de Geomorfología
Av. Vélez Sarsfield 299. 5000 Córdoba
e-mail: lmansilla@onenet.com.ar

Criterios socioculturales: la secuencia tuvo en cuenta el perfil institucional en concordancia con el mapa curricular de la carrera de Geología.

3. SELECCIÓN Y FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

En el diseño de este proyecto didáctico los objetivos se planificaron estructuralmente estableciendo un orden de prioridades, desde lo fundamental a lo accesorio. Se establecieron *objetivos generales y específicos*.

Entre los primeros podemos citar los siguientes: a) Analizar geomorfología del área a visitar, b) Identificar en gabinete las diferentes geoformas, c) Aplicar los conocimientos geomorfológicos en proyectos de planeamiento, d) Identificar áreas con amenazas, vulnerabilidad o riesgo. Entre los segundos mencionamos a modo de ejemplo: a) Observar en campaña la geomorfología b) Interpretar y establecer comparaciones entre las observaciones e interpretaciones de gabinete y las de campaña, c) Identificar áreas geomorfológicas según su aplicabilidad en proyectos, d) Zonificar áreas según su potencial planificación: urbanización, agricultura, planificación ambiental, recursos

minerales, recuperación de áreas degradadas, planeamiento regional, obras de ingeniería, hidroeléctricas, viales entre otras, e) Elaborar un proyecto de "Geomorfología aplicada".

4. ACTIVIDADES

La planificación de las actividades implicó también la consideración de CL, CP y CS de selección y secuenciación,

Las mismas se organizaron en *guías* individuales y grupales; *de trabajo y de estudio*. Las *guías de estudio* incluirán la lectura de textos previamente seleccionados. Éstos se pueden agrupar en bibliografía de contenidos básicos, -entre los que mencionamos a *Gómez Orea, 1993, Díaz de Terán (1988) y Sayago (1982)-; antecedentes del área de estudio* -compilación de material del área, seleccionado por la cátedra de Geomorfología-, y *bibliografía de contenidos específicos* de "Geomorfología aplicada", -entre la que citamos a *Bejerman (1995), Dietta et al, (2000), Marcuzzi et al, (1998)*. Las *guías de trabajo* se organizaron en dos etapas. La primera denominada *Actividades de Gabinete*, cuya finalidad es agilizar las tareas de campo. La segunda denominada *Actividades de Campaña*.

TABLA 1: EJEMPLO DE LISTA DE COMPROBACIÓN DE HÁBITOS DE ESTUDIO Y TRABAJO INTELECTUAL

Alumno				
Hábitos de estudio y trabajo intelectual	Fecha	Afirmativo	Negativo	Duda
Conocimiento del vocabulario específico	05/IX	Sí	-	-
Reconocimiento de geoformas en gabinete	05/IX	Sí	-	-
Interpretación de la dinámica del paisaje	12/IX	-	-	No se evidencia
Afirmaciones debidamente justificadas	...	...	...	...
Aplicación de conocimientos en campaña	...	...	...	...
Utilización del material auxiliar	...	...	...	...
...

5. PROCESO DE EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

Con la finalidad de realizar una interpretación de las condiciones que afectarían al proceso de aprendizaje individual y grupal se planificaron tres tipos de *Evaluaciones: Inicial, Formativa y Final o Sumativa, Col (1987)*. Las mismas permitirán ajustar progresivamente las prácticas pedagógicas a las características y necesidades de los alumnos y cumplir con las intenciones educativas del proyecto didáctico. La *evaluación inicial* otorga especial importancia al esquema de conocimientos previos que poseen los alumnos al comienzo de la nueva fase de aprendizaje. Se planificó una exposición dialogada sobre los procedimientos conocidos por los alumnos antes del práctico de campaña. Durante el desarrollo del proyecto se realizará una *evaluación formativa* mediante una lista de comprobación de hábitos de estudio y trabajo intelectual, donde los datos se registrarán mediante afirmación, negación o duda, *Lafourcade (1970)*.

Durante el proceso de aprendizaje se evaluarán los progresos, las dificultades, los procesos cognoscitivos y las técnicas de trabajo de campo abordadas por los alumnos. Se realizarán observaciones sistemáticas que serán registradas en hojas de

seguimiento y posteriormente interpretadas, *Rodríguez Diéguez (1980)*. Al finalizar el proyecto se solicitará como actividad la entrega de un informe con carácter de *evaluación final o sumativa*, al cual se le otorgará acreditación para cumplir con las normativas institucionales.

6. CONCLUSIONES

El diseño de este proyecto didáctico ha surgido como resultado de plantear la actividad docente como una tarea reflexiva que intenta visualizar y dar respuesta a problemas específicos que surgen del proceso de enseñanza -aprendizaje del objeto de conocimiento, la unidad temática: "Geomorfología aplicada". En tal sentido se diseñó un proyecto didáctico donde se organizaron y ordenaron contenidos, se especificaron objetivos, se planificaron actividades y se programaron formas de evaluación. El desarrollo de esta estructura da racionalidad al saber, posibilitando el aprendizaje significativo y enmarca el sentido de la intencionalidad didáctica del diseño de este proyecto. Una comparación entre esta guía de estudio y de trabajo planteadas en el diseño del presente proyecto didáctico y la guía de actividades utilizada anteriormente en la Cátedra permite inferir las siguientes

mejoras. En cuanto a los contenidos, se estructuraron y organizaron según las leyes del aprendizaje significativo y se orientaron hacia el aspecto socioeconómico. Se establecieron nuevos objetivos específicos. Se confeccionaron dos guías de trabajo, una de Actividades de Gabinete, que permite agilizar las tareas de campo y otra guía de Actividades de Campaña. Se elaboraron distintos procedimientos de evaluación anteriormente no considerados. Se implementan las evaluaciones inicial, formativa y se reestructuró la evaluación sumativa.

Quedará para una etapa posterior realizar un análisis crítico y reflexivo de la puesta en marcha del mismo con el fin de evaluar las decisiones adoptadas en las fases de diseño y ejecución, así como de los fundamentos teóricos en que se basaron dichas fases, considerando la secuencia del aprendizaje significativo y la aplicabilidad (funcionalidad) a las problemáticas socioeconómicas.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ARANEGA, C. Y DE LONGHI, A. (1987).
Selección y organización de contenidos en la enseñanza - aprendizaje de la Ciencia y la Tecnología.
Trabajos de Educación en Ciencias. 3.
- AUSUBEL, P. (1968).
Psicología Educativa.
Ed. Trillas. México.
- BEJERMAN, N. J. (1995).
Mapa de peligro de deslizamiento del tramo La Calera -Dique San Roque en la ruta provincial E-55, provincia de Córdoba. Argentina.
Publicación Especial III. ASAGAI.
- COLL, C. (1987).
Psicología y currículum.
Ed. Laia. Barcelona.
- DIETTA, P.M., MANSILLA, L. DEL V. Y OROSCO, O. (2000).
Aspectos hidrogeomorfológicos de la cuenca del Río Pircas, Jujuy. Argentina.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 14. ASAGAI.
- FERNÁNDEZ URÍA, E. (1979).
Estructura y didáctica de las Ciencias.
Breviarios de Educación. Ministerio de Educación. Madrid.
- LAFOURCADE, P. (1969).
Evaluación de los aprendizajes.
Ed. Kapelusz. Buenos Aires.
- MARCUZZI, J.J., TORREJON, D., PERALTA, C. Y BEJERMAN, N.J. (1998).
Caracterización geotécnica de las Unidades Geoambientales del Espacio Geográfico Urbano (EGU) del gran Salta, Salta, Argentina.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 12. ASAGAI.
- PEME-ARANEGA, C. (1999).
Diseño, práctica y evaluación de un proyecto didáctico de Ciencia y Tecnología.
Universitas, Córdoba.
- RODRÍGUEZ DIÉGUEZ, J. L., 1980.
Didáctica general 1.
Colecciones de Didáctica. Cincel Kapelusz. Buenos Aires.
- SAYAGO, J. M., 1982.
Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural.
Acta Geológica Lilloana XVI-1. Tucumán, Argentina.



Ordenación territorial del humedal Bajo Giuliani y su entorno Provincia de La Pampa

Marani, Jorge - Carballo, Olga - Calmels, Augusto - Sotorres, Elsa - Sbrocco, José ¹

Resumen

El humedal Bajo Giuliani, objeto de esta investigación, se encuentra situado a una distancia de 8 kilómetros al sur de la ciudad de Santa Rosa, capital de la provincia de La Pampa (Figura 1), a los 36° 42' de latitud S y 64° 16' de longitud O. Se trata de una cubeta elongada en sentido ENE-OSO, circundada por una suave pendiente septentrional, de 1,6 % de gradiente, y una ladera meridional de inclinación mayor (5%), ambas de configuración convexa hacia arriba. La ruta nacional N° 35, de dirección norte-sur, es la que divide a la laguna, conformando dos cuerpos: uno principal y otro secundario; por su parte, la ruta provincial N° 14, de orientación este-oeste, separa los cuerpos secundario y terciario respectivamente.

En cuanto a la génesis de la depresión, cabe señalar que forma parte de una serie de depresiones alargadas (conocidas como "valles transversales"), de rumbo aproximado ENE-OSO, probablemente de origen tectónico, retrabajadas por acción fluvial y con un modo de acción eólico sobreimpuesto.

Hidrográficamente corresponde a una depresión endorreica que actúa como nivel de base local y es colectora del escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo, por aportes desde la capa freática.

Además, y desde el punto de vista antrópico, es receptora de los líquidos resultantes del tratamiento integrado de piletas facultativas ubicadas aguas arriba, en donde se localizan los líquidos cloacales generados en la ciudad de Santa Rosa.

El objetivo principal perseguido por esta investigación consiste en lograr una propuesta de ordenación territorial de unas 15.000 hectáreas de superficie, sugiriendo el mantenimiento de algunas actividades y proponiendo la introducción de otras nuevas, que contribuyan a lograr la optimización del uso de este importante recurso. Un propósito secundario radica en la obtención de una herramienta de trabajo (metodología) que sea expeditiva y extrapolable a otros humedales cercanos que puedan ser sometidos a urbanizaciones.

Teniendo en cuenta que el área estudiada se ha visto sujeta a sucesivas intervenciones antrópicas que han atentado contra la integridad del ecosistema involucrado, generando problemáticas emergentes, como son la contaminación, la eutrofización, pérdida de biodiversidad, etc., es primordial llegar a concebir un plan de manejo de este frágil recurso con miras a que pueda ser disfrutado a plenitud por las generaciones futuras, evitando políticas de "parches" que, en definitiva, no proporcionan una solución sostenida a los problemas del medio.

Entregado: 06 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 15 de Noviembre de 2001

¹ Instituto del Agua y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Av. Uruguay 151, 6300 Santa Rosa.
e-mail: ocalmels@cpenet.com.ar

1. INTRODUCCIÓN

La Pampa es una provincia argentina netamente continental, ubicada sobre una extensa meseta disectada por depresiones elongadas que delimitan mesetas planas, denominadas localmente "planicies" (Calmels, 1996). Es una de estas depresiones

donde se halla alojado el humedal Bajo Giuliani, ubicado al sur de Santa Rosa, ciudad que cuenta con una población de unos 90.000 habitantes. La cubeta que alberga a este humedal está distendida en sentido ENE-OSO y pertenece a las depresiones conocidas en la provincia como salitrales, salares o bajos, denominados actualmente "humedales", en el sentido de la definición propuesta por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (Cowardin et al., 1979) que, además, se ocupó de efectuar una clasificación ecológica como base para el estudio de los humedales que se desarrollan en varias partes del mundo, otorgando especial atención a la presencia de suelos hidromorfos y a la vegetación hidrofítica. Según él, los humedales son "*tierras en transición entre los sistemas acuático y terrestre, donde la capa freática está habitualmente al mismo nivel o muy cerca de la superficie, o bien el terreno está cubierto por aguas someras, que no pueden superar los dos metros de espesor, siendo el agua y no el aire el principal medio en donde los organismos dominantes deben vivir*". A partir de esa profundidad se considera que la cubeta no mantiene una vegetación acuática emergente, por lo que los humedales deben tener uno o más de los siguientes tres atributos: (i) Aunque más no sea periódicamente, el terreno ha de mantener una vegetación predominantemente de hidrófitas, (ii) el sustrato debe ser predominantemente un suelo hidromorfo, no drenado y (iii) el sustrato no puede ser un suelo, y tiene que estar saturado de agua o cubierto por aguas poco profundas alguna vez durante la estación más productiva de cada año.

Por otra parte, desde un enfoque antropógeno, actualmente, "*los humedales constituyen buenos indicadores de la salud ecológica de nuestro medio natural y unos excelentes escaparates de la viabilidad o fracaso de las medidas de conservación desarrolladas por la administración ambiental*" (Casado y Montes, 1995).

La importancia de conservarlos o proponer alternativas de manejo en los humedales, radica en el hecho de que son esenciales para la salud, el bienestar y la seguridad de las personas que viven en, o cerca de ellos. Además, se encuentran entre los ambientes más productivos del mundo y proporcionan un amplio conjunto de beneficios, siendo posible destacar las siguientes particularidades:

- a) *Funciones*: Las interacciones de los componentes físicos, químicos y biológicos del humedal, que se evidencian en los compartimentos físicos y bióticos, le permiten realizar algunas funciones considerables, entre las que se pueden apuntar: (i) almacenamiento de agua, (ii) mitigación de inundaciones, (iii) estabilización hídrica, (iv) control de la erosión, (v) carga y descarga de acuíferos subterráneos, (vi) retención de nutrientes, (vii) retención de sedimentos, (viii) retención de contaminantes, (ix) estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente las precipitaciones y la temperatura.
- b) *Valorización*: Proporciona, además, beneficios de orden económico, netamente cuantificables, a saber: (i) suministro de agua, (ii) potenciamiento de la pesquería, (iii) pastoreo, (iv) recursos de flora y fauna y (v) alternativas de recreación y turismo.
- c) *Atributos*: Entre sus atributos especiales se destacan: (i) la diversidad biológica: el humedal Giuliani mantiene grandes poblaciones de aves, especialmente acuáticas, algunos mamíferos, reptiles, anfibios, peces e invertebrados; también alberga numerosas variedades de vegetación halófila, arbustiva y arbórea en la perilaguna, además de un variado fitoplancton, (ii) el patrimonio cultural: proporcionado por los paisajes abiertos, las tradiciones locales, etc.

Estas funciones, valores y atributos sólo se podrán mantener si se logra que los procesos económicos de este humedal continúen funcionando, los cuales están basados principalmente en los recursos naturales que ellos proporcionan a la sociedad; por tal motivo, su manejo implica la necesidad de utilizarlos en forma racional y desarrollarlos en forma sustentable.

2. PLANTEO DEL PROBLEMA

Dentro de la problemática general del humedal Bajo Giuliani y su entorno natural, figura el desconocimiento del "escenario" (el humedal y su entorno), y de los "actores" (el hombre), que, al no conocer en su integridad el funcionamiento de las variables de interacción hidrológicas, hidrogeológicas y ecológicas, hacen que este ecosistema esté sujeto a cambios constantes que se han traducido a lo largo del tiempo en importantes daños económicos y ecológicos. Así, por ejemplo, en un período de observación, se pudieron cuantificar diversos cambios mediante indicadores que adoptaron una significación negativa para su entorno, tanto para los organismos de gestión, como para los productores agropecuarios del área y público en general; tales indicadores se manifestaron mediante: (i) desbordes e inundaciones, (ii) problemas de contaminación general, (iii) mortandad de peces, (iv) fenómenos de eutrofización, (v) falta de educación ambiental en los sectores involucrados, (vi) presión antrópica, debida al desarrollo del área, que tiene que contar en la actualidad con su propia ordenación territorial.

3. OBJETIVO PRINCIPAL Y SECUNDARIO

La presente investigación tuvo como objetivo principal generar una información básica destinada a un *ordenamiento territorial*, que permitiera optimizar la utilización de este significativo recurso y, como medida alternativa secundaria, proponer una *herramienta de trabajo* que sea expeditiva y extrapolable a otros humedales, especialmente a los numerosos que posee la provincia de La Pampa.

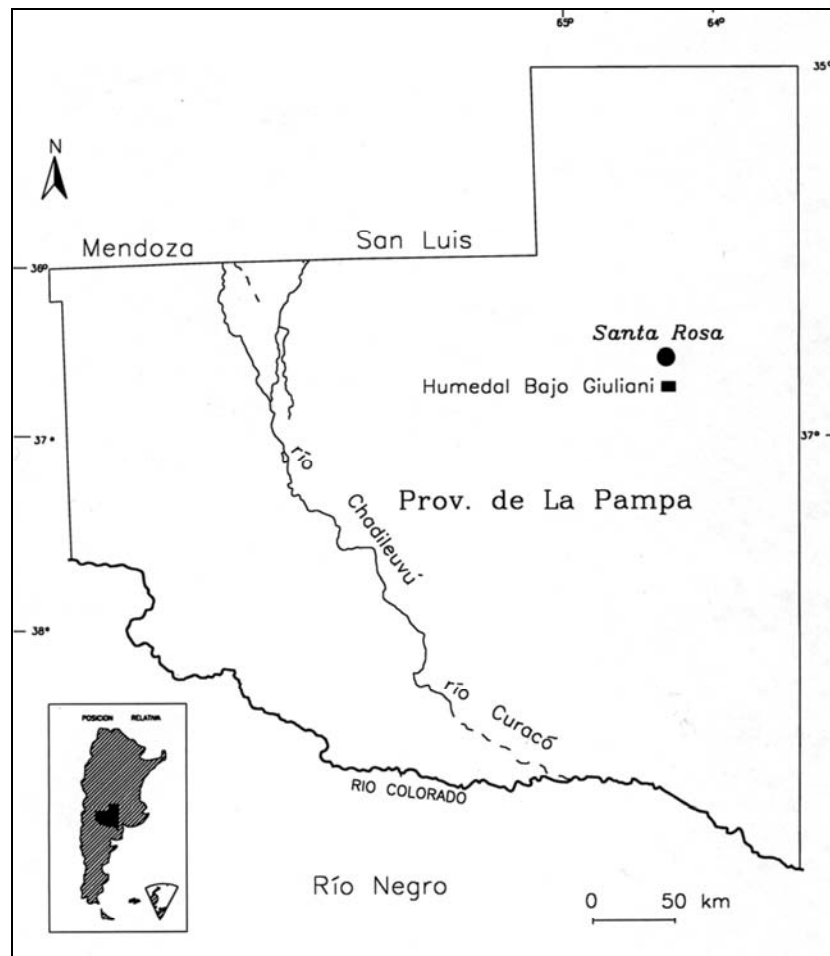
4. METODOLOGÍA

Los pasos metodológicos llevados a cabo en el desarrollo de la presente investigación comprendieron: (i) La localización espacial e identificación de la problemática, (ii) la identificación de las *debilidades, las amenazas, las fortalezas y las oportunidades* que son propias del área, (iii) la identificación de las *actividades* a mantener, eliminar o promover en el área de estudio, (iv) la determinación de las *categorías de ordenación*, y (v) la elaboración de *normativas y programa de actuaciones* (Sbrocco y Carballo, 1998).

5. DESARROLLO

- a) *Ordenación del Territorio*. La fase final y propositiva de la presente investigación consta de tres pasos fundamentales: (i) Un modelo territorial, o imagen objetiva a largo plazo, del espacio regional, expresado en términos de las denominadas Categorías de Ordenación, esto es, sectores del territorio definidos por un uso principal y otros asociados y compatibles con él, (ii) Un conjunto de directivas expuestas en forma articulada, haciendo distinción entre las que son de aplicación directa, a través de planeamiento diferido, de organismos públicos, vinculables, no vinculables, etc., y (iii) Un programa de actuaciones en orden a la protección, conservación, recuperación, rehabilitación e intensificación o puesta en valor de los recursos que permanecen ociosos en el territorio.

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL HUMEDAL BAJO GIULIANI



- b) *Ordenación territorial.* Se ha considerado a la ordenación territorial como la expresión física del estilo de desarrollo: como “la proyección en el espacio de las políticas social, cultural, ambiental y económica de una sociedad” (Gómez Orea y Valdivieso, 1994). El estilo de desarrollo, por lo tanto, ha determinado el modelo territorial, siendo éste, a su vez, la expresión visible del funcionamiento de una sociedad, de los conflictos e intereses que en ella se dan, y el reflejo del cambio en la escala de valores sociales. De forma paralela, la ordenación territorial ha procurado la consecución del marco espacial adecuado para el desarrollo funcional, eficaz y equitativo de las actividades que comporta la política económica, social, cultural y ambiental de la sociedad. En cuanto a planificación, se ha hecho responder la ordenación territorial a un intento de integrar la planificación socioeconómica con la física, procurando superar la parcialidad del enfoque temático en la planificación sectorial y la reducida escala espacial en el planeamiento municipal. Bajo la designación de “ordenación del territorio” se ha comprendido, entonces, la gestión del territorio de acuerdo con tres objetivos básicos: (i) Organización de las actividades en el espacio, de forma coherente entre sí y con el medio, de acuerdo a un criterio de eficiencia; (ii) Equilibrio en términos de calidad de vida de los distintos ámbitos territoriales, de acuerdo con un principio de equidad; y (iii) Integración de los distintos ámbitos territoriales en los de nivel superior, de acuerdo con un principio de jerarquía.
- c) *Territorio.* Se ha considerado el territorio como un sistema integrado por un conjunto de elementos y procesos, naturales y artificiales, que interaccionan entre sí, que suele suponérselo integrado por cuatro subsistemas: (i) el medio físico, los recursos naturales, el medio natural, etc., (ii) la población, conjuntamente con sus actividades de producción, consumo y relación social, (iii) el poblamiento, o modelado organizativo, constituido por los asentamientos, como son las ciudades, pueblos, aldeas, etc., y (iv) el marco legal e institucional, que administra las reglas de funcionamiento, y está constituido por las instituciones públicas o privadas.
- d) *Justificación de la ordenación territorial desde la perspectiva ambiental.* Desde su propio contenido conceptual, la ordenación territorial se justifica, como método planificado de ataque y prevención de los problemas relacionados con los desequilibrios territoriales, con la ocupación y uso desordenado del territorio y con las externalidades que provoca el crecimiento económico; aspectos, todos ellos, respecto de los cuales los mecanismos de mercado resultan insuficientes. Parte de la idea que, al igual que todo sistema, el territorial requiere elementos de control y regulación, papel que cubre el sistema de planificación y gestión, implicados en el proceso de la ordenación territorial. Para el logro de sus fines, el plan de ordenación territorial se ha valido de dos tipos de instrumentos en sus determinaciones: (i) Corregir problemas/disfunciones existentes,

es decir, un programa de actividades o acciones, y (ii) Prevenir problemas/disfunciones futuras, es decir, una normativa orientada, prioritaria aunque no exclusivamente, a mantener lo que de positivo tiene la situación actual del humedal y su entorno, por un lado, y a prevenir los problemas futuros, por otro. Para la puesta en práctica de la orientación territorial, se han tenido presente cuatro conflictos recurrentes fundamentales: (i) la aparente contradicción entre conservación y desarrollo, (ii) la existencia de sectores conflictivos entre sí, (iii) la pugna entre el interés público y el privado, y (iv) la diferencia entre la visión local y los intereses globales de los ámbitos superiores.

- e) *Los objetivos de la ordenación territorial y su vinculación ambiental.* Tres ideas directrices han guiado la ordenación del territorio: (i) Proporcionar las oportunidades mínimas que posibiliten la consecución de una adecuada calidad de vida para toda la población y en todo el territorio, (ii) Conservar y desarrollar los fundamentos naturales de la vida y (iii) Mantener el potencial de utilización del suelo a largo plazo. Se estimó que ellas podrían concretarse mediante el logro de los siguientes objetivos: (i) Un desarrollo socioeconómico equilibrado de la región, (ii) La utilización racional del territorio y la gestión responsable de los recursos naturales; (iii) Una racional coordinación administrativa, entre los diversos organismos sectoriales del mismo rango y entre los distintos niveles administrativos de decisión, y (iv) Una mejora en la calidad de vida, en términos de todos los elementos que la conforman, que puede representarse por la siguiente ecuación: nivel de rentabilidad + condiciones de vida y de trabajo + calidad ambiental = *calidad de vida*.
- f) *El papel del medio físico en la ordenación del territorio.* La expresión "medio físico" es tomada como sinónima de territorio, procesos y recursos naturales, constituyendo, por lo tanto, el soporte de las actividades, la fuente de recursos naturales, y el receptor de residuos o productos no deseados. Se lo ha definido como un sistema formado por los elementos del ambiente natural, en su situación actual, y los procesos dinámicos que los relacionan. Se trata del soporte físico del medio ambiente, o sea "el hombre, la fauna y flora, el clima, el aire, el agua y el suelo; el paisaje; las interacciones entre ellos; los bienes materiales y el patrimonio cultural". A los efectos de la ordenación territorial, el medio físico se ha entendido y analizado, entonces, en términos de relación con las actividades humanas. Todo punto del territorio cumple, o puede cumplir, en mayor o menor medida, estas funciones y debe ser enjuiciado desde esos tres puntos de vista. A ellos habría que añadir otras funciones menos relevantes desde el punto de vista de la ordenación del territorio, como son sus funciones relacionadas con la investigación científica y cultural, como indicador de cambios ambientales, regulador del equilibrio natural, etc.

En cuanto a las *fuentes de recursos*, el medio físico es veneno de materias primas que utilizan y/o transforman las actividades humanas en beneficio del hombre. Este aprovechamiento ha exigido conocer cuáles son tales recursos (elementos y procesos, renovables y no renovables) y dónde se localizan, tareas que suelen incluirse bajo la denominación de inventario; por otra parte el aprovechamiento se ha procurado hacer racional, lo que implica que se ha hecho respetando los siguientes criterios: (i) que fuera

efectuado de acuerdo con la capacidad de renovación para los recursos naturales renovables, es decir con la tasa de renovación anual o interanual, (ii) que se diera prioridad a los aprovechamientos que admitían reutilización de los recursos sobre aquellos que suponían un consumo definitivo de ellos, y (iii) que se jerarquizara aquellos aprovechamientos en los que no fuera posible la reutilización, para priorizar los más nobles y, en todo caso, que redujeran al mínimo las tasas de consumo, criterios éstos aplicables a los recursos no renovables.

Respecto de los *soportes de actividades*, se proyectó que el medio físico sea utilizado de acuerdo con su capacidad de acogida, o vocación del suelo, la cual se deduce de la interacción actividades-medio en una forma bidireccional: (i) aptitud o medida en que el medio cumple los requisitos locales de una actividad, que incluye riesgos tales como inundaciones, desbordes, desplazamientos, erosión, etc., y (ii) impacto o efecto de la actividad sobre el medio.

- g) *Funciones del medio físico y condiciones del desarrollo sostenible.* La utilización de los tres criterios mencionados precedentemente determinaron acordar con el concepto de desarrollo sostenible, es decir con la utilización de los recursos naturales por debajo de su tasa de renovación y los recursos no renovables a un ritmo moderado, distribuyendo las diversas actividades en el territorio de acuerdo con su capacidad de acogida y, practicando tales actividades de suerte que la emisión de contaminantes resultara inferior a la capacidad de asimilación.
- h) *Recursos susceptibles de aprovechamiento.* Entre los recursos naturales, culturales y ambientales, potencialmente explotables en el humedal Bajo Giuliani, se pueden consignar los siguientes: (i) plantación de pinos, con una extensión de 40 has, al N de la laguna, (ii) plantación de pinos, con una extensión de 80 has, al SE de la laguna, (iii) la laguna propiamente dicha, (iv) el bosque de caldenes, (v) una pendiente con alto potencial de vistas, (vi) como yacimiento paleontológico, (vii) una planicie con cultivos cereales y forrajeros y (viii) urbanización.
- i) *Identificación de actividades actuales y potenciales a ordenar y/o fomentar.* Desde el punto de vista cultural y paisajístico, los recursos del humedal Bajo de Giuliani tienen importancia y deben ser aprovechados sin demora, sobre todo, en el sentido de instalar un camping con pileta de natación y cabañas para el alojamiento de viajeros que pasan por Santa Rosa rumbo a lugares turísticos, como los denominados "lagos del sur", y para quienes deseen hacer un alto de descanso. De ese modo, la zona se constituiría en un lugar de interés, al existir motivos para detenerse y permanecer, aunque sea por unas horas, y poder disfrutar de la flora, la fauna y el paisaje. Asimismo, podría instalarse un asilo de ancianos en el humedal Bajo Giuliani, con un hogar-escuela para niños carentes y una huerta orgánica asociada a los emprendimientos mencionados. En otro orden de cosas, se debería estimular la práctica de ciertas actividades náuticas y el avistaje, o caza fotográfica, de especies autóctonas o introducidas, como aves, ciervos, jabalíes, pumas, zorros, etc. Todavía, teniendo en cuenta que llegan hasta él las aguas tratadas (de buena calidad) provenientes de las piletas estabilizadoras de líquidos cloacales, una alternativa digna de considerarse sería el aprovechamiento de parte de estas aguas para riego de nuevas forestaciones.

j) *Determinación de la capacidad de acogida del territorio.* La etapa posterior de la investigación consistió en determinar la "capacidad de acogida" (Tabla 1), o *vocación natural del suelo*, para los usos del mismo y las actividades a sistematizar. En ello, se aplicó el modelo empírico, es decir, integrando al principio del proceso, confeccionando una *matriz* en la que se relacionaron las actividades a las unidades de

integración, en términos de *vocacional, compatibles e incompatibles*, especificándose el código utilizado. Además se confeccionó, en forma de cuadro de doble entrada, la relación de los problemas y oportunidades en ese sector. Luego, se completó el diagnóstico expresando los problemas en forma gráfica (Tabla 2).

TABLA 1: CAPACIDAD DE ACOGIDA

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO

Actividad U.I.	camping	alojamiento en cabañas	deportes náuticos	refo- res- tación	huerta orgánica comunitaria	avistaje de fauna autóctona	senderismo	asilo de ancianos	hogar escuela	pesca	regeneración del ecosistema y/o paisaje	protección estricta	piscicultura
Laguna	0	0	5	0	0	4	0	0	0	5	5	1	5
Pinar del N	4	4	0	0	0	4	5	5	5	0	0	0	0
Pinar del SE	5	5	0	0	1	4	5	3	3	0	4	0	0
Forestación degradada	1	1	0	5	5	4	3	4	4	0	5	0	0
Secano con cult. cerealero y forrajero	1	1	0	1	5	4	4	1	1	0	1	0	0
Suelos degradados	0	0	0	3	0	4	0	0	0	0	5	0	0
Pastizales naturales	3	1	0	1	1	5	4	1	1	0	5	3	0
Arbustal de piquillín con renov. de caldén	4	4	0	0	0	5	5	1	1	0	5	1	0
Bosque de caldén	5	5	0	1	1	5	5	2	2	0	5	1	0
Country	5	5	0	6	0	1	6	1	1	0	4	0	0
Yacimiento paleontológico	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	6	0

0 = no aplicable 1 = act. incompatible 2 = act. compatible sometida a E.I.A. 3 = act. compatible con limitaciones
4 = act. compatible sin limitaciones 5 = act. vocacional a introducir 6 = act. vocacional coincidiendo con el uso actual

TABLA 2: DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS Y POSIBLES SOLUCIONES

Localización	Problema	Manifestación	Causas	Agentes implicados	Relación con otros problemas	Gravedad	Posibles soluciones
Laguna	Eutrofización	Pérdida de calidad del agua y malos olores	Líquidos cloacales y nutrientes	Municipio de Santa Rosa Agricultores	Disminución del confort	Alta	Tratamiento biológico y/o químico
Perilaguna	Presencia de insectos	Molestias por picaduras	Pastizales Agua estancada	—	Disminución del confort	Mediana	Fumigación periódica
Monte bajo Bosque de caldén Pastizales Pinares	Incendios forestales y/o Regresión vegetación nativa	Disminución de la superficie ocupada por la vegetación autóctona	Negligencia Rayos Quemas para tierras a la agricultura	Viajeros Agricultores Ganaderos Excursionistas	Disminución de calidad paisajística Pérdida de biodiversidad Aumento de erosión hídrica y eólica	Alta	Dotación de medios de lucha contra el fuego Obligar a cumplir con la legislación Medidas de protección y fomento
Sectores medanosos de la planicie	Degrada- ción de sistemas medanosos	Deflación y migración de arenas sobre cultivos	Laboreo agrícola inadecuado Sobrepastoreo	Agricultores Ganaderos	Sepultamiento de cultivos Disminución de calidad ambiental	Mediana	Manejo conservacionista del sistema
Adyacencias de la Ruta Nac. 35	Degradación de suelos	Suelo desnudo Pérdida de fertilidad	Extracción capa fértil del suelo	Ladrilleros	Deflación Disminución de calidad paisajística	Alta	Implantación de pastizales Forestación

- k) *Base de la estrategia: Matriz DAFO.* Una manera muy operativa de organizar la síntesis del diagnóstico la constituyó la conformación de la Matriz D.A.F.O (*Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades*). Se hicieron corresponder las debilidades y fortalezas con atributos intrínsecos al sistema, de carácter estático y, frecuentemente, estructural; las primeras incluyeron aquellos aspectos en los cuales el sistema resultó deficiente para atender a los objetivos de mejora, mientras que las fortalezas sirvieron para poner de relieve los aspectos en que el sistema resultó competitivo. A las amenazas y oportunidades se las asoció con el contexto externo al ámbito del plan, haciendo referencia a aspectos dinámicos de carácter coyuntural; no obstante, también pudieron detectarse amenazas y oportunidades internas al sistema. De la combinación entre filas y columnas surgen las estrategias a aplicar (Figura 2).
- l) *Árbol de objetivos para mejorar la calidad de vida del área.* A partir de la tabla de problemas y de la matriz D.A.F.O., se ha construido un árbol de objetivos, entendiéndose por objetivo la expresión explícita de la intención de resolver un problema, atendiendo a los tres elementos que lo definen: la manifestación y sus efectos, las causas y los agentes implicados; sus datos se cruzan luego en una tabla para detectar las relaciones que los vinculan (Figura 3).
- m) *Categorías de ordenación.* Como último paso de esta investigación, se encaró el diseño de un modelo de ordenación del medio físico, ambientalmente integrado. Las categorías de ordenación constituyen una zonificación del territorio en sectores, a cada uno de los cuales se le aplicó una regulación de uso específica, y tienen una doble función: (i) homogeneizar las denominaciones utilizadas en la calificación del suelo no urbanizado por el planeamiento urbanístico; y (ii) establecer ciertos criterios mínimos, a

desarrollar por el planeamiento territorial o municipal correspondiente, en el sentido de orientar la regulación de los usos y las actividades en el suelo no urbanizado, en función de las características intrínsecas de cada sector del territorio.

Las *categorías de ordenación* propuestas para superficie investigada, son las siguientes (Figura 4): (1) Áreas de regeneración y mejora; (2) Áreas forestales potencialmente productivas; (3) Áreas de bosque autóctono; (4) Áreas de arbustal autóctono; (5) Áreas de uso agrícola-ganadero; (6) Áreas de uso residencial temporario; y (7) Áreas de interés científico.

Las delimitaciones de las categorías de ordenación tienen carácter orientador; las definitivas serán establecidas por el Municipio de Santa Rosa en la correspondiente figura de planeamiento municipal, el que podrá definir una regulación más específica de usos y actividades en cada una de ellas, teniendo siempre en consideración lo regulado aquí, con carácter general, y las condiciones particulares del correspondiente ámbito territorial. La creación de nuevas infraestructuras y actuaciones edificatorias aisladas sobre suelo no urbanizado, incluidas en alguna de las categorías de ordenamiento definidas, deberá respetar las limitaciones establecidas en la Matriz de Identificación y análisis de objetivos, (Tabla 3), en la que se especifica la relación territorio-actividades actuales y potenciales. Las casillas de cruce expresan las condiciones en que se desarrollarán los usos y actividades correspondientes para cada Categoría de Ordenación.

- ñ) *Programa de actuaciones/actividades.* Finalmente, se enumera una serie de actuaciones previstas de factibilidad, en el área estudiada, para las cuales se especifican algunos datos descriptivos (Tabla 4).

FIGURA 2: MATRIZ D.A.F.O.

	FORTALEZAS	DEBILIDADES	
	<i>Calidad paisajística</i> <i>Ubicación en un lugar estratégico para el turismo</i> <i>Cercanía a una ciudad importante</i> <i>Alto potencial de vistas</i> <i>Diversidad florística y faunística</i> <i>Presencia de un espejo de agua en una zona semiárida</i> <i>Abastecimiento continuo de agua para riego</i>	<i>Deficiencia de la calidad del agua para uso de bañistas</i> <i>Falta de infraestructura de servicios</i> <i>Olores desagradables</i> <i>Presencia de insectos molestos</i> <i>Grandes amplitudes térmicas diarias y estacionales</i> <i>Períodos prolongados de sequía</i> <i>Probabilidad de incendios</i>	
ESTRATEGIAS A APLICAR	Fomentar la inversión privada Distribución de folletos explicativos a los efectos de concientizar al visitante respecto del uso racional de los recursos	Saneamiento de las aguas por tratamiento biológico y/o químico Construcción de sanitarios e instalación de energía eléctrica Cobro de cuota para mantenimiento Reforestación del área degradada	AMENAZAS
	Construcción de un asilo de ancianos y de un hogar escuela Establecimiento de una huerta comunitaria Instalación de un camping con actividades náuticas y pesca	Fumigación periódica Gestión ante la municipalidad para que provea de servicios al complejo Establecer un sistema de alerta y control de incendios Entrega de folletos al turista informándolo sobre el medio natural, su fragilidad y el riesgo de incendios	OPORTUNIDADES

FIGURA 3: ÁRBOL DE OBJETIVOS

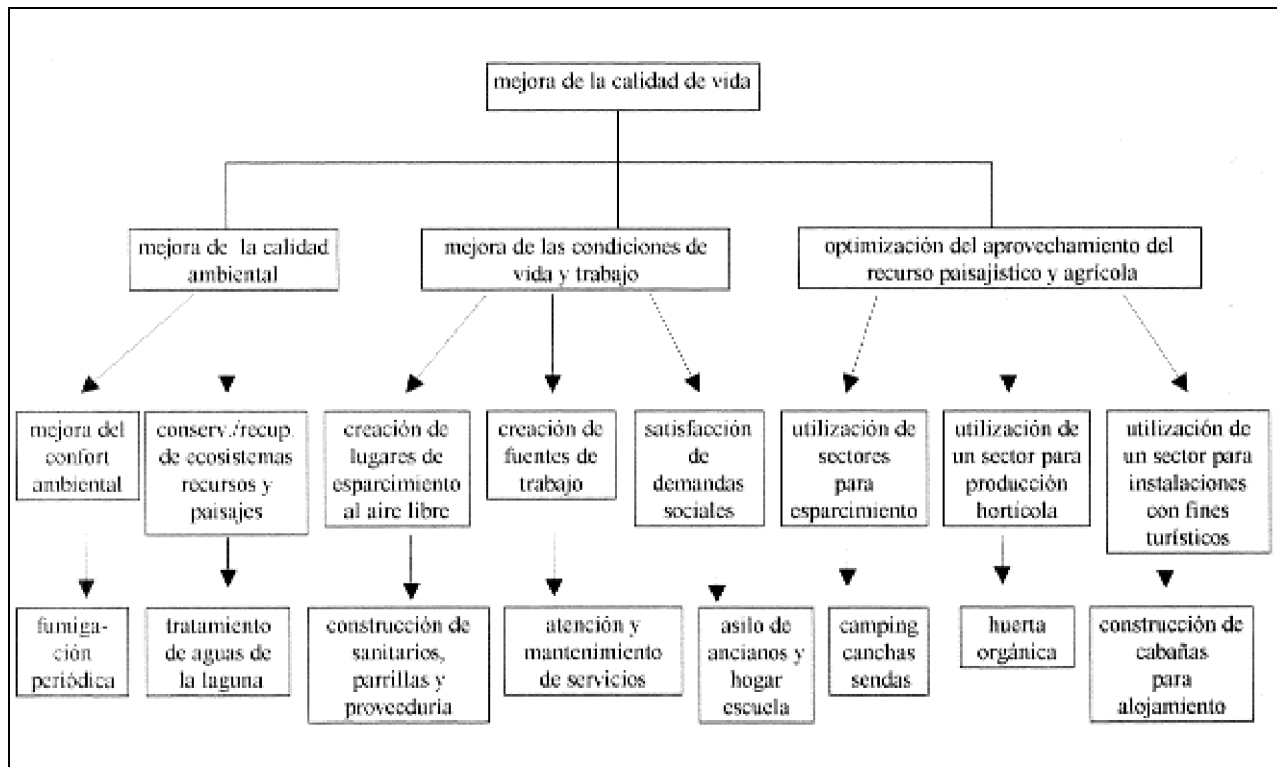


TABLA 3: IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE OBJETIVOS

	construcción de cabañas	huerta orgánica	senderismo	camping	hogar de ancianos	hogar escuela	atención infraestructura	tratamiento aguas de la laguna	fumigación periódica
construcción de cabañas	-	N	C	C	N	N	C	C	C
huerta orgánica	N	-	C	C	N	N	C	N	I
senderismo	C	C	-	C	C	C	C	N	C
camping	C	C	C	-	N	N	C	C	C
hogar ancianos	N	N	C	N	-	N	C	C	C
hogar escuela	N	N	C	N	N	-	C	C	C
atención infraestructura	C	C	C	C	C	C	-	N	N
tratamiento aguas de la laguna	C	N	N	C	C	C	N	-	C
fumigación periódica	C	I	C	C	C	C	N	C	-

Referencias: C= complementario I= incompatible N= neutro

FIGURA 4: CATEGORÍAS DE ORDENACIÓN

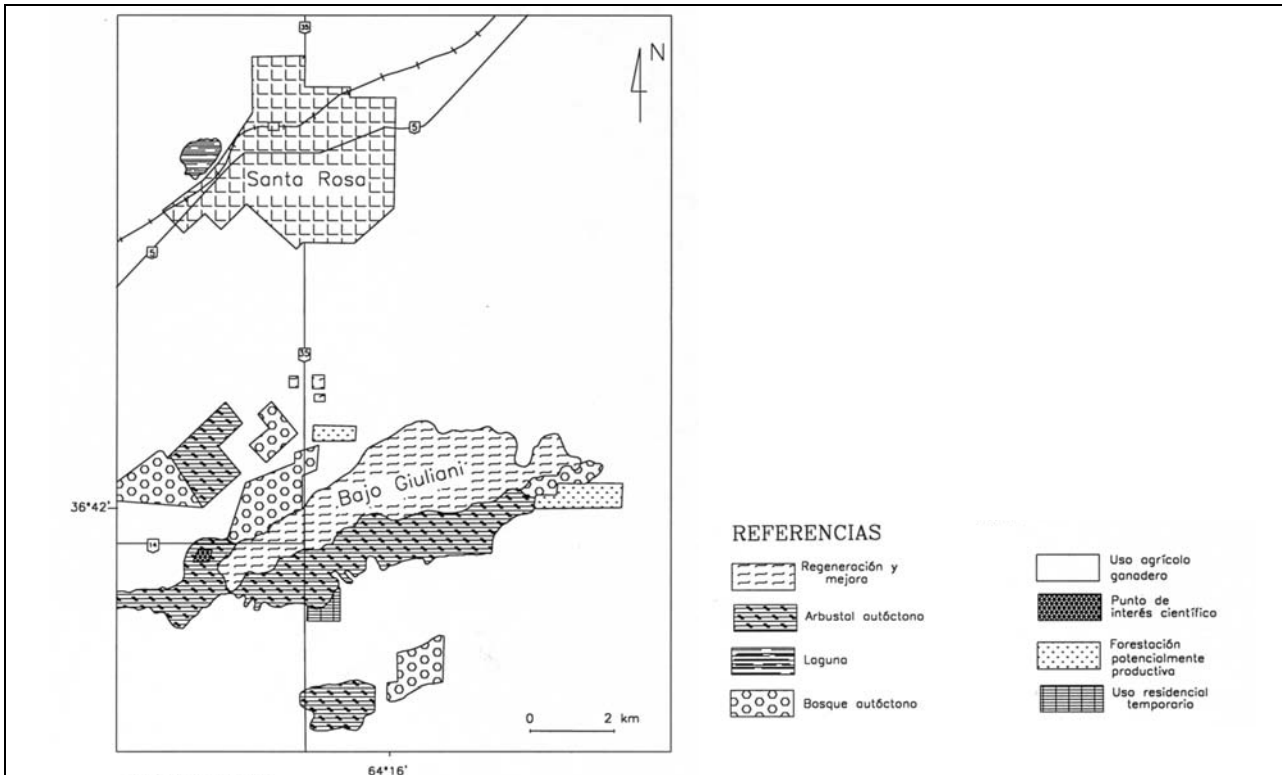


TABLA 4: PROGRAMA DE ACTUACIONES

ACTUACIONES	OBJETIVO	PRIORIDAD O URGENCIA	LOCALIZACIÓN	CARACTER PUBL./PRIV .	MANTENIMIENTO
Tratamiento del agua de la laguna	Sanear el agua y eliminar olores desagradables	1a.	Laguna	Público	Permanente
Construcción de sanitarios, parrillas y proveeduría	Instalación de un camping	1a.	Pinar del SE	Privado o Público	Permanente
Construcción de senderos para caminatas y cabalgatas	Paseo y avistaje de fauna silvestre	1a.	Perilaguna Bosque de caldén y monte bajo	Público	Ocasional
Forestación variada	Recuperación y parquización de áreas degradadas	2a.	Áreas degradadas	Público	Permanente
Construcción de hogar escuela y asilo de ancianos	Cubrir una necesidad social	3a.	Pinar del N	Público	Permanente
Instalación de huerta orgánica e invernadero	Provisión del hogar y asilo Ocupar a jóvenes del hogar escuela	2a.	Cultivos de secano lindantes al Pinar del Norte	Público	Permanente
Instalación de red de agua potable y electricidad	Proveer de servicios básicos al complejo	1a.	Pinar del SE Pinar del N	Público	Ocasional
Servicio de transporte de pasajeros	Vincular al complejo con la ciudad de Sta.Rosa	1a.	Pinar del SE - Pinar del N - Santa Rosa	Público o privado	Permanente
Construcción de cabañas	Alojamiento	2a.	Pinar del SE	Privado	Permanente
Instalación de un relleno sanitario	Disposición final de residuos sólidos	2a.	Monte bajo lindante al pinar del N	Público	Permanente
Construcción de caminos internos	Acceder a las distintas instalaciones	1a.	Pinares del SE y N	Público	Ocasional

6. CONCLUSIONES

Son numerosas y variadas las conclusiones que se han extraído de esta investigación. En primera instancia, tales conclusiones dimanaban del objetivo explícito que se le asignó, enfocado a acceder a un mejor conocimiento de los humedales, en general, en una provincia eminentemente continental, y del correspondiente al Bajo Giuliani en particular, ya sea por sus funciones, atributos, manifestación, etc., dentro de un espacio natural con incipiente carga humana, en relación directa con un centro urbano de alta densidad, donde el área de estudio, por sus conexiones hídricas, debe considerarse para la planificación municipal futura, como integrado a un área suburbana que se incluye dentro de su propia jurisdicción.

En segunda instancia, provienen de la preocupación de poder profundizar en las interacciones hidrológicas, hidrogeológicas, ecológicas, etc., del entorno, con las actividades humanas, conociendo de antemano la respuesta de la población, permanente o transitoria, del humedal, cuya manifestación general es conservar el "paisaje natural" del área con un desarrollo adecuado. De acuerdo con la actitud puesta de manifiesto por los lugareños (con referencia a las características naturales del medio), es coincidente en la necesidad de la conservación del potencial de vista paisajístico que brinda el humedal. Para ello, se ha entendido por paisaje: *la percepción del medio a partir de la expresión externa de éste; lo que significa decir, que el medio se vuelve paisaje cuando alguien lo percibe.*

Por otra parte, y sobre la base de la *Ordenación del territorio*, se ha formulado una identificación y valorización de las distintas unidades ambientales, enunciando ciertas categorías de ordenación, con una propuesta de planificación de las diversas actividades a potenciar, fomentar, o incluir en el área, propósito que se logra con un programa de actuaciones y de normativas particulares, previo conocimiento del diagnóstico de problemas, la elaboración de una matriz D.A.F.O., referente a las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del territorio, y una síntesis de la capacidad de acogida, o vocación general del suelo, para el área.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CALMELS, A. P., 1996.

Bosquejo geomorfológico de la provincia de La Pampa,
Ed. UNLPam, 110 p., Santa Rosa.

CASADO, S. Y C. MONTES, 1995.

Guía de los lagos y humedales de España.
Ed. Revero.

COWARDIN, L. M., V. CARTER, F.C. GOLET Y E.T. LAROE, 1979.

Classification of wetland and deepwater habitats of the United States.
Fish and Wildlife. Department of interior. Washington, D.C.

GÓMEZ OREA, D. Y T. VALDIVIESO, 1994.

Ordenación del territorio; una aproximación desde el Medio Físico.
Instituto Tecnológico Geominero de España y Edición Agrícola Española S.A., 238 p.- Madrid.

MONTES, C., 1995.

La explotación y gestión de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales españoles: Una perspectiva ecológica.
Las aguas subterráneas en la ley de aguas españolas.
Departamento Interuniversitario de Ecología, Universidad Autónoma. p. 305-323. Madrid.

SBROCCO, J. Y O. CARBALLO, 1998.

Propuesta de ordenamiento territorial en el Bajo Giuliani. Provincia de La Pampa.
Revista del Instituto de Geología y Minería, Vol. 12, n° 1: 51-74. Universidad Nacional de Jujuy.

Asimismo, se logró evaluar las necesidades sociales, aún no cubiertas adecuadamente como son por ejemplo, la potenciación de la urbanización de baja densidad, las actividades de los horneros, la agrícola-ganadera, etc., como así también, proponer un área destinada a un Espacio Natural Protegido (ENP), "ya que una mala gestión oficial de un territorio protegido, puede llegar a ser peor que mantenerlo desprotegido" (Montes, 1995), y otras que no están contempladas en el entorno, como es el caso de la localización de un asilo de ancianos bien ubicado, y de un hogar escuela donde los niños puedan tener la oportunidad de desarrollar otras tareas al aire libre, complementarias con la curricular, bajo conceptos de una educación ambiental orientada.

Por último, al analizar las actividades de la ciudad de Santa Rosa y su entorno, surge inmediatamente la necesidad de subsanar un déficit, que resulta de la ubicación de la ciudad, de sus características paisajísticas y del tipo de actividad laboral que predomina entre sus habitantes. Tal déficit consiste en la falta de lugares con relativa calidad ambiental como para poder ser utilizados en la recreación al aire libre por personas que durante la mayor parte de su tiempo dedicado al trabajo, permanecen en oficinas y locales comerciales.

De este análisis surgido de la presente investigación, aflora la propuesta del humedal Bajo Giuliani como el sector más adecuado para la instalación de estas diversas actividades que, por supuesto, requerirán de cierta inversión por parte del Estado y del sector privado para acondicionar el área a las finalidades deseadas. Los problemas, las amenazas y las debilidades, no son insalvables y pueden solucionarse, aun cuando al precio de alguna inversión que, por otra parte, generará al mismo tiempo puestos de trabajo.

Sin embargo, se tiene conciencia de que no está todo dicho y que algunos resultados más precisos podrán ser obtenidos mediante nuevos estudios previstos para el área, como por ejemplo: mediante un sometimiento a la evaluación de impacto ambiental (E.I.A.), o un seguimiento de los ya iniciados.

- CALMELS, A. P., 1996.
Bosquejo geomorfológico de la provincia de La Pampa,
Ed. UNLPam, 110 p., Santa Rosa.
- CASADO, S. Y C. MONTES, 1995.
Guía de los lagos y humedales de España.
Ed. Revero.
- COWARDIN, L. M., V. CARTER, F.C. GOLET Y E.T. LAROE, 1979.
Classification of wetland and deepwater habitats of the United States.
Fish and Wildlife. Department of interior. Washington, D.C.
- GÓMEZ OREA, D. Y T. VALDIVIESO, 1994.
Ordenación del territorio; una aproximación desde el Medio Físico.
Instituto Tecnológico Geominero de España y Edición Agrícola Española S.A., 238 p.- Madrid.
- MONTES, C., 1995.
La explotación y gestión de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales españoles: Una perspectiva ecológica.
Las aguas subterráneas en la ley de aguas españolas. Departamento Interuniversitario de Ecología, Universidad Autónoma. p. 305-323. Madrid.
- SBROCCO, J. Y O. CARBALLO, 1998.
Propuesta de ordenamiento territorial en el Bajo Giuliani. Provincia de La Pampa.
Revista del Instituto de Geología y Minería, Vol. 12, nº 1: 51-74. Universidad Nacional de Jujuy.



La geología urbana de la ciudad de Salta y su relación con aspectos geoambientales

Provincia de Salta, Argentina

Marcuzzi, Jorge J. ¹ - Torrejón, David E. ² - Bejerman, Norberto J. ³

Resumen

Se realiza un análisis de la unidad geoambiental que conforma el área urbana de la ciudad de Salta en base a su marco geológico. El geoambiente, según los especialistas, corresponde a la parte superior de la litosfera susceptible de ser afectada y modificada por la actividad humana. Toma en cuenta las rocas, suelos, gases y organismos de un segmento espacial del medio físico, o territorio, que son afectados en diversos grados por la acción conjunta de la atmósfera, el clima y la cubierta vegetal. En este trabajo el análisis se restringe a la geología del territorio que conforman el Espacio Geológico Urbano (EGU) de la ciudad de Salta, como un producto de un entorno macrorregional.

Se analizan las actividades antrópicas que modifican procesos geológicos y antrópicos, en relación con aspectos urbanísticos y la legislación vigente al respecto. El estudio resalta que los impactos de carácter antropogénico son lo que mayor intensidad tienen sobre el geoambiente reducido que conforma el EGU, relacionados con la actividad extractiva de recursos, industrias, agricultura, disposición final de basuras, desarrollo urbano, construcción de grandes obras de infraestructura y otros. Se determina una importante correlación entre las características geológico geotécnicas de los suelos y los problemas de riesgos resultantes, incrementados por la falta de una planificación y zonación del territorio respecto a su aptitud de uso y susceptibilidad de que se generen riesgos naturales o antrópicos.

1. INTRODUCCIÓN

El conflicto entre la urbanización de la ciudad de Salta con el geoambiente, como ocurre con la mayoría de las ciudades del mundo comienza desde su fundación. De acuerdo con revisiones históricas el espacio elegido para la fundación no fue una selección acertada, porque el área se caracterizaba por la presencia de cuerpos de agua estancos como ciénagas, pantanos, vertientes, lagunas y otros, además de arroyos y ríos, aspecto que desde el punto de vista sanitario no era acertado, pero sí como aspecto defensivo para la nueva ciudad.

El abastecimiento de agua fue otro motivo, de que primara la decisión de erigir las construcciones en los márgenes fluviales o de los cuerpos de agua, caso de los ríos Arias o Arenales y otros cursos menores que drenaban donde hoy es el casco céntrico de la ciudad. La expresión morfológica de la situación mencionada, actualmente queda reflejada en el trazo sinuoso o por los desniveles topográficos de algunas calles, que indican la presencia de los antiguos cauces. No obstante en el contexto geológico de la comarca los cauces muestran trazos más bien rectilíneos producto de un control estructural por neotectónica.

2. UBICACIÓN

La ciudad de Salta, se ubicada en el Valle de Lerma, es capital de la provincia homónima, que forma parte del NOA (Fig.1), con 550.000 habitantes. Dentro de un esquema de ordenamiento sistemático del relieve al Valle de Lerma se lo considera como una megaunidad geoambiental integrante de

Entregado: 12 de setiembre de 2001 ■ Aceptado: 02 de octubre de 2001.

1. Cátedra de Geotecnia UNSa
e-mail: jmarcuzzi@sinectis.com.ar

2. GEMA Consultora

3. Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba
Alsina 975 - A4400CHO, Salta, Argentina

Cordillera Oriental, *Marcuzzi et al. 1998*, aspecto que concuerda con la denominación de valle intermontano que emplean varios autores para esta unidad fisiográfica.

El valle es una depresión irregular elongada en sentido meridiano, con dimensiones de 120 km en sentido norte-sur y de 30 km en sentido este-oeste. Las unidades naturales del relieve que limitan el área urbana son: la Serranía de Vaqueros al norte y la planicie fluvial del río del mismo nombre; el Cordón de Lesser integra el límite oeste junto con las Lomas de Medeiros, unidad esta última que por su parcial urbanización (Fig 1) en realidad constituye parte del límite norte, la Serranía de Mojotoro al este y al sur una importante unidad de origen fluvial complejo.

Es importante destacar que la evolución urbana de la ciudad se caracteriza por su dinamismo, especialmente por la permanente conformación de los denominados asentamientos o urbanizaciones no consolidadas, que normalmente se sitúan en áreas no aptas para la edificación con sistemas de cárcavas, áreas inundables, redes de drenaje, que contribuyen a un incremento de los problemas del geoambiente.

3. METODOLOGÍA

Las unidades del relieve mencionadas en el párrafo anterior que conforman el entorno del paisaje urbano, además de otros rasgos menores como los cauces del río San Lorenzo o arroyo Grand Bourg (Fig.1) fueron clasificadas como unidades geoambientales por *Marcuzzi et al. 1996*. En el presente trabajo se realiza una revisión de las publicaciones referidas al ordenamiento ambiental de la ciudad de Salta y la identificación de riesgos geológicos asociados, según *Marcuzzi et al. 1991, 1992, 1993; 1994, 1996 y 1998*.

Se pone énfasis en el aspecto geourbano ambiental, en el que se relacionan la geología del espacio geológico urbano (EGU) de la ciudad de Salta, *Gallardo C. et al. 1994a, 1994b*; con un conjunto de fenómenos de riesgos naturales y antrópicos, agravados por el crecimiento urbano y la ausencia de una planificación sistemática con bases científicas. Se tuvieron en cuenta antecedentes normativos como el Plan Director de Desarrollo Urbano, Código de Planeamiento y Edificación Urbano del municipio capitalino, además de otras leyes provinciales vigentes, que se relacionan con la problemática urbana.

4. CRITERIOS DE IDENTIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DEL RELIEVE

En la revisión del presente se consideran las unidades del relieve o geoformas definidas por *Marcuzzi et al. 1998*; en base a distintos criterios geológicos y geomorfológicos de acuerdo con *Zinck, 1995*. La mayor categoría distinguible nivel continental es la geoestructura de Cordillera Oriental, macrounidad del relieve integrada por diferentes medios biofísicos que definen el ambiente morfogenético y un estilo de modelado propio, controlado por procesos de la geodinámica interna y externa. Esto da lugar a tipos de relieve estructurales (serranías y valles), erosivos (lomas, filos, terrazas), deposicionales (relleno de valle, terrazas, conos aluviales) y residuales como las Lomas de Medeiros.

El análisis geoambiental se realiza solo para la unidad del territorio que comprende el área urbana del paisaje geológico dominante (Landscape), en la parte norte del graben tectónico del Valle de Lerma. En este aunque presenta rasgos de un importante modelado fluvial, se distinguen diferentes unidades del relieve (Relief/molding) resultante de la combinación entre

estructuras geológicas, topografía y clima, responsables de los procesos morfogenéticos resultantes y que también definen la presencia de un conjunto de relieves secundarios.

Es importante destacar que las diferencias altimétricas de las serranías que circundan el valle, con las mayores elevaciones en la Sra. de Lesser y menores en la Sra. de Mojotoro, tienen incidencia en las variaciones físico-texturales de los sedimentos existentes de ambas laderas, consecuencia de los procesos morfogenéticos actuantes. Estos son el resultado de las condiciones morfoclimáticas que predominan en ambos flancos del valle, caso de las precipitaciones que aumentan hacia el oeste y contribuyen a una mayor degradación del relieve por erosión y de los procesos de meteorización sobre las formaciones rocosas.

Las categorías menores (Relief/Molding), están representadas por formas de acumulación y erosión, como la presencia de conos y terrazas fluviales, paleocauces, cárcavas, pequeños arroyos y coladas de barro, entre otras. Algunas de estas formas actualmente están ocultadas por los procesos de urbanización y solo pueden identificarse por rasgos topográficos, las más pequeñas son difíciles de distinguir y en muchos casos solo son reconocidos por estudios de detalle mediante perforaciones o técnicas de geofísicas.

Por otro lado se debe destacar la importancia de los cursos fluviales ríos Toro, Arias, y Arenales, San Lorenzo, Vaqueros, Mojotoro y otros menores en la génesis y modelado de la unidad geoambiental urbana de la Ciudad de Salta, que definieron el tipo de sedimentos presentes en los distintos sectores que la conforman. Según esto en el sur y sureste de la ciudad, existen de suelos limo-areno arcillosos de colores grises, con algunas facies granulares medias a gruesas, la parte norte y central de la ciudad se caracteriza por una mayor homogeneidad textural con suelos arcillosos castaños rojizos. En el suroeste los depósitos son de texturas más variables. La presencia de lagunas durante la evolución del valle de Lerma (*Malamud et al. 1996; Gallardo, E. 1997; Calvo A., 1997*) explicaría la presencia de importantes unidades de suelos arcillosos diferentes.

Son importantes las manifestaciones de relieves que obedecen a un control estructural (Relief/Molding), como los escarpes de falla asociados a la Sra. de Vaqueros, Lomas de Medeiros, C° San Bernardo, o el trazo rectilíneo de los cauces de los ríos Arias y Arenales, Vaqueros y Wierna y Mojotoro (Fig. 1).

5. MARCO GEOLÓGICO DE LAS UNIDADES GEOAMBIENTALES

Se realiza una apretada síntesis del marco geológico de las unidades geoambientales del área considerada, con el objeto de relacionar aspectos vinculados al problema de los riesgos e impactos producidos por la urbanización.

5.1. Serranía de Mojotoro y Pie de Monte

Esta unidad determina el límite oriental del Valle de Lerma (Fig. 1 y 2) corresponde a un plegamiento asimétrico, cuya geología está representada por formaciones del Precámbrico, Paleozoico (Cámbrico - Ordovícico). Las formaciones precámbricas están conformadas por pelitas y turbiditas de la Formación Puncoviscana (*Turner, 1960*), con un débil metamorfismo producto de un intenso plegamiento que produjo un denso diaclasamiento. Constituyen gran parte de los núcleos de las serranías de Mojotoro y Lesser.

El Cámbrico está conformado por ortoconglomerados medianos a finos y por cuarcitas de color rosado a morado con

estratificación gruesa, existen facies de areniscas y pelitas con estratificación mediana. Los estratos están menos fracturados y diaclasados que la unidad infrayacente. El Ordovícico está representado por la Formación Mojotoro, con una distribución espacial en sentido meridiano de bancos de cuarcitas, areniscas y lutitas. Los bancos están muy diaclasados y buzanan hacia el oeste con variabilidad en los ángulos, entre los 30° y 50°, los estratos en partes se encuentran teñidos con pátinas de hierro de color pardo rojizo.

Las laderas presentan una red de drenaje de desarrollo local que concentra las precipitaciones pluviales hacia el sector urbano. La vegetación es arbórea se asienta sobre suelos incipientes de tipo litosólico, degradado por acción antrópica. El pie de monte presenta sedimentos coluviales gravitacionales, por la acción del agua y también por sismos *Marcuzzi et al. 1998*. La presencia de conos de deyección escalonados y poco consolidados son indicadores de la juventud de este elemento orográfico. Las pendientes topográficas varían entre 25°-40°.

5.2. Serranía de Lesser y Pie de Monte

Es un anticlinal volcado hacia el este con rumbo meridiano donde se pueden distinguir dos unidades sedimentarias, una occidental con las mayores alturas del área y formaciones paleozoicas con litología similar a la Sra. de Mojotoro, otra oriental compuesta por sedimentos modernos blandos dispuestos en el piedemonte a lo largo del valle del río San Lorenzo, donde se asienta la villa homónima. El relieve de esta unidad sobresale por su vigorosidad respecto al resto de las unidades de la comarca, con pendientes muy elevadas.

Registra una alta precipitación como consecuencia de la barrera orográfica que representa para los vientos húmedos del este, la vegetación es muy densa tipo selva montana. La precipitación también da lugar a numerosos manantiales que afloran en la zona baja del valle, por las infiltraciones en los materiales permeables de la parte superior de la serranía. A pesar de las condiciones climáticas y el tipo de material original disponible el desarrollo de los suelos no pasa de ser incipiente. Los rasgos erosivos son muy evidentes y numerosos por las causas mencionadas, a las que se puede agregar la presencia de fallas activas, responsables de que el relieve sea muy quebrado, irregular e intensamente erosionado, facilitado por el accionar del hombre.

El piedemonte de la unidad está conformada por depósitos sedimentarios arcillosos y en parte conglomerádicos, erosionados por profundas cárcavas causadas por la antropización. El piedemonte está asociado con el cauce del río San Lorenzo, al que aporta sedimentos para los depósitos de cauce y lo mismo que la vertiente occidental de las Lomas de Medeiros. Predominan materiales de tipo coluvial no seleccionados de morfología angulosa y fluviales con cierta selección y mayor redondeamiento.

5.3. Sierra de Vaqueros y Pie de Monte

Son el límite norte de la ciudad de Salta. La sierra es un anticlinal cerrado con hundimiento de su eje hacia el sur y norte. En ambos flancos la inclinación de los estratos acompañan la pendiente topográfica cuyo promedio se estima entre 25°-30°. Estratigráficamente corresponde al Cenozoico (Grupo Orán), donde la Formación Piquete (Subgrupo Jujuy) es la más representativa, representada por conglomerados gruesos con matriz arenosa y areniscas con contenidos de arcilla de color pardo rojizo, de manera reducida se observa también en la Sra. de Lesser.

El relieve sufre un importante fenómeno de neotectónica, que hace variar el buzamiento de los estratos cuyo bajo grado de diagénesis favorece una alta erodabilidad y fenómenos de deslizamientos. Posee una red de drenaje dendrítica muy irregular típica de terrenos modernos poco consolidados. En la ladera oriental presenta un depósito con importante desarrollo areal y de espesores, los sedimentos son de edad cuaternaria (*Ruiz Huidobro, 1968*) y sobre estos se asienta la población de Vaqueros. En el límite sur de la unidad con el río Vaqueros, se observan escarpas de falla que evidencian un control por fallas. Los suelos tienen escaso desarrollo, con vegetación de selva montana que sufre una intensa predación.

5.4. Lomas de Medeiros y Cono Aterrizado Lomas de Medeiros

Gallardo et al. 1997, asigna a los depósitos sedimentarios de las Lomas de Medeiros a la Fm Tajamar de edad cuaternaria baja y al Cono Aterrizado como cuaternario indiferenciado (Fig.1). La Fm Tajamar está formada por materiales gruesos de tipo conglomerádico sobre los que yacen arcillas rojizas de mediana y alta plasticidad, con variaciones arenosas y limosas. La pendiente general es norte-sur, porque las mayores alturas están en el límite con el río Vaqueros, decrece hacia el sur desapareciendo como expresión del relieve en las adyacencias del río Arias.

En la unidad se distinguen otros relieves menores, posible consecuencia de la neotectónica cuaternaria, caso de las escarpas de erosión en ambos flancos y zona central. Los suelos tienen poco desarrollo, la vegetación es de tipo herbácea con pequeños bosques de madera dura en las depresiones formadas por los drenajes. Son suelos que ante la ausencia de cobertura vegetal, sus características físico-texturales y el clima con marcada estacionalidad sufren una agresiva erosión generando cárcavas de considerable magnitud. La erosión es potenciada por la urbanización y una intensa antropización, *Marcuzzi et al. 2000*.

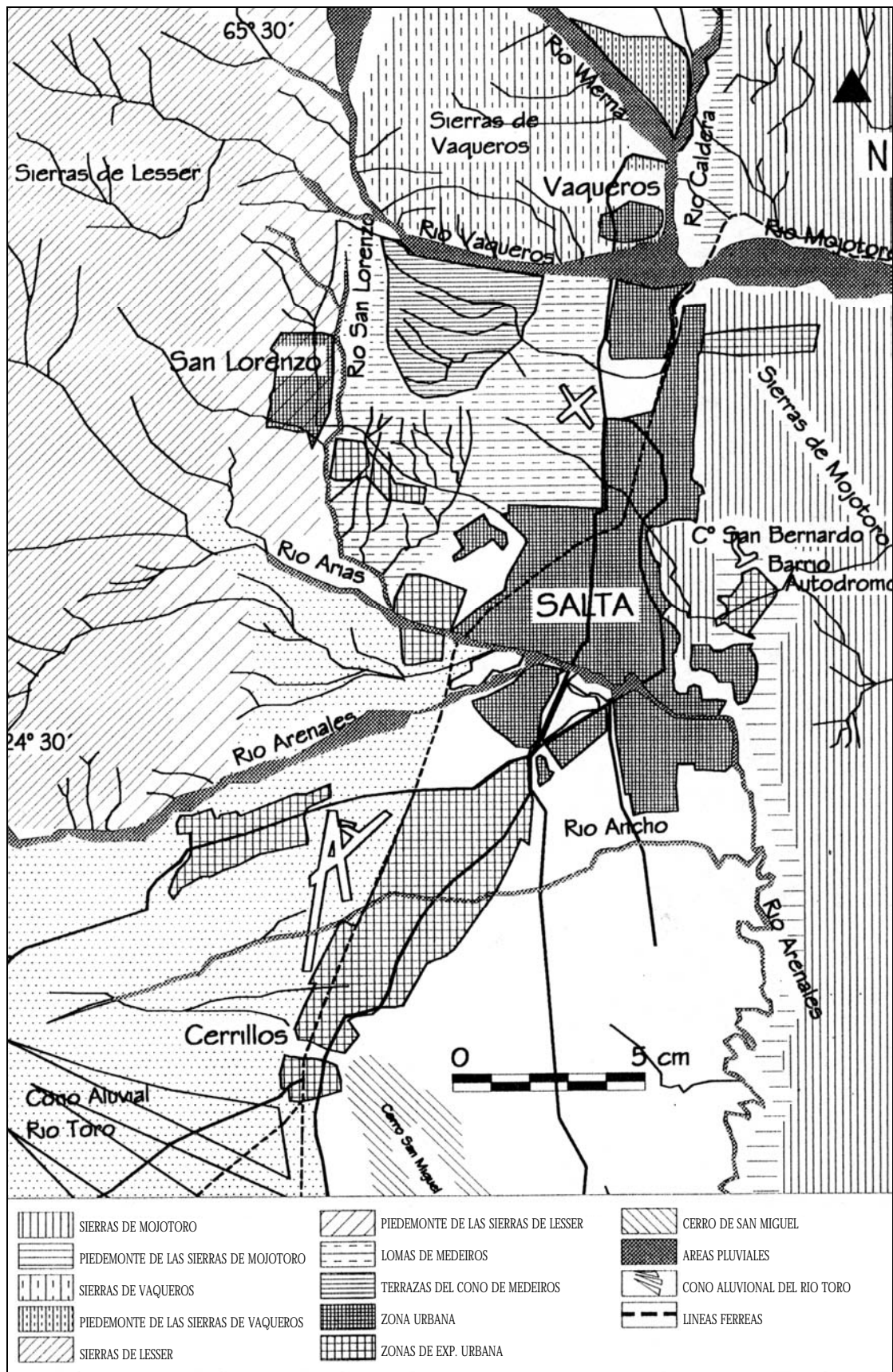
En base a evidencias morfológicas el Cono Aterrizado, se le atribuye un origen fluvial (*Ruiz Huidobro, 1968*), indicativa de una condición particular de sedimentación y evolución, según se puede observar en las imágenes satelitales donde se destacan varios niveles de terrazas por la migración del río Vaqueros hacia el norte. Predominan las texturas arcillosas y en profundidad las gravas que se asientan en discordancia sobre formaciones terciarias.

5.5. Zona Urbanizada y Zona de Expansión Urbana

En esta unidad geoambiental, de acuerdo con *Gallardo E.; et al. 1997*, existen dos formaciones de edad cuaternaria temprana, Fm Tajamar y Fm La Viña. La primera restringida a la parte sur urbanizada de las Lomas de Medeiros, en cambio la Fm la Viña tiene mayor distribución areal (Fig.1). Ambas constituidas por material clástico poco consolidado, con facies fluviales, lacustres y palustres. La Fm La Viña tiene una litología heterogénea de gravas que varían de mal a bien seleccionadas, arenas con arcillas, fangos arenosos y otras variantes. Se les atribuye un origen fluvial, de depósitos entrelazados, facies de canales, barras y planicies de inundación.

La unidad, de acuerdo con lo expresado en el párrafo anterior, está conformada por diferentes unidades de suelos con características físicas distintivas tanto en superficie como en el subsuelo (*Marcuzzi, et al. 1994*). Los suelos del borde norte y sur son de origen fluvial con materiales gruesos, en la parte intermedia se observan sedimentos de tipo arcillosos castaño rojizos en superficie y luego gravas. Los sedimentos fluviales de

FIGURA 2: UNIDADES GEOAMBIENTALES. Modificado de Marcuzzi et al., 1994



la parte sur presentan también texturas finas areno-limo-arcillosas de colores grises. También se identifican sectores con tipos de suelos variables que corresponden a sectores de interfaces con unidades adyacentes.

La heterogeneidad de los suelos es notable y los cambios se suceden en distancias muy cortas. En varios lugares de la zona sur la freática juega un papel muy importante en la saturación de arenas y limos, que potencian problemas de licuefacción.

5.6. Áreas de Ambiente Fluvial

Esta denominación agrupa a las unidades que conforman los cauces (canal + llanura de inundación) de las principales corrientes fluviales existentes en el área de estudio. Se pueden distinguir tres subcuencas con características evolutivas y sedimentarias propias, que implican distintas respuestas al impacto del avance urbano. En el norte esta la subcuenca del Río Wierna-Caldera, en el centro y al oeste la de los ríos Lesser-Vaqueros y hacia el oeste y sur-oeste la de los ríos San Lorenzo-Arias-Arenales. *Gallardo et al. 1997*; asigna estos depósitos sedimentarios al Cuaternario tardío, eocénico o reciente; además incluye en esta edad algunos depósitos de pié de monte y rellenos modernos del valle de Lerma.

6. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS GEOAMBIENTALES

Se realiza una descripción de los principales riesgos naturales y antrópicos identificados para cada unidad, relacionados con el crecimiento urbano, el cual implica costos económicos y sociales como resultado de las limitaciones del EGU. Existe una comprobada relación entre la geología de la comarca y un considerable número de riesgos, asociados con el factor clima, *Marcuzzi et al., 1998*. En el caso de la ciudad de Salta, las particularidades del EGU, con formaciones de rocas blandas desagregables o duras y muy fracturadas, variabilidad de suelos y estaciones climáticas contrastantes, conforman una buena combinación para generar riesgos, que pueden ser potenciados por la sismicidad.

Estas particularidades condicionan el uso indiscriminado del territorio, por lo que es necesario un ordenamiento según las aptitudes y restricciones resultantes del EGU, además de una regulación del accionar antrópico que influye en su estabilidad y desarrollo de riesgos.

En cuanto a riesgos geológicos de carácter regional como el volcanismo que hallan causado problemas ambientales, solo se conocen antecedentes actuales *Marcuzzi, et al. 1994*; y escasos registros de carácter histórico, en cambio la sismicidad tiene mayor recurrencia.

6.1. Riesgos Geológicos

6.1.1. Serranía de Mojotoro y Piedemonte

Los principales riesgos se relacionan con la estabilidad de laderas dadas las características geológicas y pendientes topográficas, asociados con el desequilibrio de la red de drenaje natural y el incremento de la erosión de suelos por efectos de la deforestación y explotación de los horizontes orgánicos.

6.1.2. Lomas de Medeiros y Cono Aterrazado

Ambas unidades parcialmente forman parte del área urbana y los riesgos en estas son similares a la anterior, pero con una mayor potencialidad de erosión de suelos; *Marcuzzi et al. 2000*; mediante cárcavas, deslizamientos, además de efectos de neotectónica y la existencia de suelos expansivos. Es conveniente

limitar urbanización de este sector y mantenerlo como área de reserva o espacio verde del medio paisajístico.

6.1.3. Sra. de Vaqueros y Piedemonte

Tienen lugar la mayoría de los riesgos antrópicos y naturales mencionados en 7.1.1., provocados por la constante urbanización de la unidad y que afectan la ciudad de Salta, como el fenómeno de aluvionamiento del cauce del río Vaqueros, del que todavía no se tiene una real dimensión de los impactos que pueden provocar. Es crítico el grado de inestabilidad de la unidad, que se complementa con deslizamientos de laderas, erosión retrocedente en arroyos, alteración de los drenajes. Gran incidencia tienen los incendios y la deforestación.

6.1.4. Serranía de Lesser y Piedemonte

Si bien aun sus efectos no inciden directamente sobre la ciudad de Salta, la unidad por el crecimiento urbano de Villa San Lorenzo se la toma como parte del entorno del Gran Salta. Los fenómenos de paleodeslizamientos son indicadores de la inestabilidad de la misma. Existen fenómenos similares a los mencionados para otras unidades con un fuerte componente antrópico. En la alteración del medio natural se destaca la incidencia del sobrepastoreo. Otro factor importante son los cambios en el drenaje superficial y subterráneo, situación que se advierte en el comportamiento de los manantiales existentes y el ascenso del nivel freático en ciertos lugares.

6.1.5. Area Urbana y de Expansión Urbana

Esta unidad es la que concentra la mayor diversidad de riesgos e impactos producto de la convergencia de factores naturales y antrópicos.

6.1.5.1. Riesgos Naturales

Se dan casos de subsidencia por sismos, asociados con de suelos limo-arenosos o arcillo-arenosos. Es posible que algunos casos puedan estar relacionados con la sobreexplotación de acuíferos o la magnitud de estructuras y el tipo de fundaciones proyectado. El fenómeno ha causado problemas de agrietamiento de construcciones además del deterioro de pavimentos, donde también interviene la actividad de la neotectónica (*Gallardo et al. 1994*).

El problema de las inundaciones tiene doble origen natural y antrópico, se origina por precipitaciones pluviales intensas que desbordan los ríos y en el área urbana por la falta de redes de drenaje eficientes. También son consecuencia de que los desniveles topográficos de la ciudad convergen hacia los puntos más bajos, normalmente en la zona del microcentro. Otras áreas inundables son antiguos cauces fluviales, caso del sector sur de la ciudad de zonas urbanas marginales o asentamientos, adyacentes a la línea de rivera. Comparativamente cusan mayores problemas las inundaciones por el drenaje urbano que la generadas por los ríos.

Con relación a los riesgos de la geodinámica interna el fenómeno de mayor impacto son los sismos y las fallas activas, aunque sobre esta temática no existen trabajos metódicos. Con relación al volcanismo se tienen registros de caída de cenizas en 1986 y 1993, en suelos de los Barrios San Carlos y Limache, ubicados en el sur de la ciudad, donde se han registrado depósitos de cenizas a dos metros de profundidad, posiblemente sean bastante modernos. Los sismos pueden disparar otros riesgos de efecto destructivo sobre urbanizaciones poco consolidadas o edificadas en laderas, como deslizamientos, obstaculización de drenajes naturales, licuefacción de suelos y otros.

La presencia de suelos compresibles, saturados o no, en parte están relacionados con la evolución del Valle de Lerma, porque a nivel regional existieron lagunas que dieron lugar depósitos lacustres (*Malamud et al. 1996; Gallardo, E. 1997*) y palustres (*Calvo A., 1997*), algunos yacen actualmente en el sector urbano con presencia de suelos orgánicos, turbas, además de suelos saturados por procesos hidrogeológicos recientes.

La presencia de estos suelos se comprobó mediante sondeos destinados a estudios geotécnicos realizados por los autores de este trabajo, en los que se observaron perfiles de suelos de tonalidades oscuras por la presencia de materia orgánica o de precipitados de hierro de colores rojizos amarillentos que atestiguan una génesis en medios saturados y que luego al variar el nivel freático se produjo una oxidación de los mismos tomando esta coloración. Estos suelos (*Marcuzzi et al. 1995*), han sido la causa de graves problemas geomecánicos.

Un punto especial es la presencia de suelos colapsables, conformados por texturas limosas, presentes en la parte sur de la ciudad en ambientes fluviales de baja energía o derrames, tanto del río Toro, como de los ríos Arias y Arenales. No se descarta la posibilidad de la presencia de ambientes de playa con acumulaciones eólicas en las adyacencias de las antiguas lagunas, que dieron origen a estos depósitos con características similares a los loess. Esto implica la necesidad de realizar una zonación territorial según los tipos de suelos, por el riesgo que implica su variabilidad ante la respuesta a los sismos. El riesgo aumenta en función de la planificación de obras de mayor envergadura, caso de autopistas elevadas, edificios en altura, torres de alta tensión y comunicaciones, estadios y otras.

Un fenómeno destacable es el aumento del aluvionamiento en los cauces de los ríos, si bien no se han establecido las causas reales, por el momento el fenómeno se atribuye al cambio de nivel de base de los cursos fluviales por la Presa General Belgrano, que provoca un recomodamiento del perfil longitudinal mediante erosión retrocedente y otros factores asociados. Esto aumenta el potencial de peligrosidad de inundaciones y erosión de las márgenes con urbanizaciones o campos de cultivo.

6.1.5.2. Riesgos Antrópicos

Una situación de extremo riesgo es la constante urbanización de áreas de pie de monte y laderas de las unidades geoambientales de la Sra. de Mojotoro, en particular los asentamientos en el sector que se conoce como Barrio Autódromo, Villa Mitre y áreas similares. Estas áreas de relieves irregulares están sujetas a una intensa erosión, por el tipo de suelos, alteración de la cobertura vegetal y drenajes naturales y la explotación irracional del medio circundante para subsistencia, entre otros.

Consecuencia de lo antes expuesto es el carcavamiento de gran magnitud que se registra, en las laderas y banquetas del acceso a Salta, el mismo fenómeno se produce en otras obras de infraestructura como en la ruta provincial N°28 (*Marcuzzi et al. 2000*). Junto con los incendios este factor contribuye a incrementar efectos de desertificación, favorecida por el clima con estaciones contrastantes. Este es uno de los factores por el cual la ciudad desde mayo a noviembre está permanentemente cubierta por una nube de polvo, que también contribuye el tránsito automotor de los nuevos asentamientos con calles no pavimentadas (*Marcuzzi et al. 1998*).

En la parte central del piedemonte de la Sra. de Mojotoro existe una urbanización caótica consecuencia con la explotación de canteras de arcillas para fabricar ladrillos mediante emprendimientos artesanales, con el peligro de derrumbes por el abandono de estas áreas durante el periodo de lluvias.

En estas depresiones y otras resultantes de drenajes naturales infuncionales, se acumula agua donde proliferan mosquitos transmisores del dengue y paludismo.

La urbanización en varios sectores ha sobrepasado los límites del ejido capitalino, por esto es que *Marcuzzi et al. 1992*; denominaron al territorio sujeto a estos procesos como "Gran Salta", que presenta problemas geoambientales similares a los descriptos, especialmente el caso de la Sra. de Vaqueros, Lomas de Medeiros, de las cuales *Marcuzzi et al. 1992*; ya advirtieron sobre su intangibilidad.

La disposición final de basuras es uno de los temas más difíciles de solucionar, históricamente desde la fundación de la ciudad el método empleado son los rellenos sanitarios dispersos en cualquier tipo de terreno. Actualmente las basuras se tratan con métodos modernos en un basural controlado por el municipio, aunque se continúa arrojando residuos en las riberas de los cauces que ponen en peligro la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Mediante perforaciones se han detectado rellenos sanitarios antiguos, relacionados con antiguos sectores de faenamiento de animales distribuidos en forma errática que actualmente son parte del área urbana y causan problemas en las fundaciones.

El posible agotamiento de los recursos hídricos no está evaluado, aunque existe una sobreexplotación y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La contaminación de acuíferos y pozos de agua potable por efluentes industriales de boro, pozos sanitarios absorbentes y drenes provenientes de establecimientos avícolas no está correctamente evaluada.

Los gases tóxicos producidos por la congestión del tráfico en el microcentro contamina la atmósfera sin que se tenga una evaluación de este impacto, ni de la influencia que los edificios de altura ejercen sobre la dinámica de la circulación del aire sobre la depresión topográfica en que se encuentra la ciudad, ya restringida en parte por las serranías circundantes. No obstante el problema se siguen construyendo edificios, de alturas mayores a las convenientes que pueden aumentar los problemas de impacto a la atmósfera.

El impacto antes mencionado implica también problemas de salud relacionados, caso de enfermedades de tipo alérgicas: rinitis, conjuntivitis, alergias, asma y neumoconiosis. Son consecuencia de la concentración de partículas de polvo en suspensión por el incremento del tráfico automotor en calles sin pavimentación, potenciadas por el clima semiárido con estación seca marcada, además de procesos de desertificación. Las estadísticas de este problema muestran un constante incremento (*Loutayf, J.J., 2001*).

La explotación y agotamiento de recursos mineros como las arcillas para ladrillos y cerámicas causa un doble impacto, por un lado las canteras están en vías de agotamiento produciendo un impacto social y por otro la apertura de nuevos yacimientos implica la destrucción de suelos agrícolas. La explotación de áridos es otro aspecto delicado a tener en cuenta, porque normalmente se realiza sin tener en cuenta las normas legales, técnicas y fundamentalmente se desconoce el comportamiento de los diferentes ríos, aspecto básico para definir una explotación sistemática de este recurso.

Los espacios verdes fundamentales para mantener la calidad de vida de la población es uno de los aspectos más críticos por ser escasos, además de no contar con los requisitos básicos para cumplir con sus objetivos. Esta deficiencia provoca una afluencia antrópica masiva durante el verano hacia los ríos provocando una considerable presión antrópica y correspondiente degradación ambiental. Los lugares de recreación como parques

y plazas están totalmente colapsadas para cumplir con el objetivo de brindar esparcimiento a la población. Es necesario destacar la falta de una política de planificación municipal coherente para generar y mantener espacios verdes acordes a las necesidades de una urbanización con crecimiento constante.

6.1.6. Áreas Fluviales

Los principales riesgos para esta unidad geoambiental, son de origen antrópico asociados con el crecimiento urbano. Los de mayor impacto corresponden a la contaminación de ríos por el vertido de líquidos cloacales, drenes de canales pluviales y basuras provenientes de asentamientos marginales situados las márgenes. No obstante, una situación especial de peligrosidad es el riesgo que se manifiesta en la confluencia de los ríos Vaqueros y Caldera, porque el cauce está sobreelevado respecto a la cota de asentamiento de la ciudad e implica la potencialidad de una inundación catastrófica. Este problema consecuencia del aluvionamiento de los cauces se manifiesta en la mayoría de los ríos que conforman esta unidad geoambiental.

También las inundaciones causadas por los ríos incrementan su magnitud como consecuencia del mayor aporte de caudales de agua por el drenaje proveniente del aumento de las superficies de escurrimiento por urbanización y disminución de la capacidad de retención del medio. Es evidente que el origen de gran parte del incremento de este riesgo son los negocios inmobiliarios que priman sobre la conservación del medio.

7. ASPECTOS LEGALES Y DE PLANIFICACIÓN

El problema de la mayoría de los riesgos antrópicos descritos se consideran que son consecuencia de la ausencia de un poder de policía eficiente en el cumplimiento de normas vigentes, caso del Plan Director y los Códigos de Planeamiento Urbano y de Edificación Municipal. A esta normativa existente se considera imprescindible la inclusión de un estudio de zonificación geotécnica, ambiental y de riesgos que muestre las aptitudes y restricciones del territorio que conforma el EGU, para minimizar los riesgos naturales. También se estima conveniente incorporar un diagnóstico o línea de base ambiental de la comarca, sin cuya disponibilidad es difícil evaluar el avance de la degradación ambiental

Marcuzzi, J.J.; 1994, realizó para el municipio capitalino una investigación sobre los problemas de riesgos geológico relacionados con la Serranía de Mojotoro, que comprende los cerros San Bernardo, 20 de Febrero, Tres Cerritos y Barrio Autódromo, uno de los puntos especialmente contemplados está relacionado con la cota máxima permitida para edificar en las laderas, de acuerdo a lo que reglamenta la Ordenanza Municipal N° 88/94, pero su aplicación no resistió los intereses inmobiliarios por lo que la norma resultó ineficaz para ordenar este aspecto.

La demanda de aridos es de gran envergadura e implican impactos ambientales sobre los cursos fluviales, difíciles de sistematizar porque cada río posee características propias y no se posee un estudio base de los mismos. Esta situación no permite una aplicación eficaz de la legislación vigente, caso de la Ley Nacional de Impactos Ambientales Mineros N° 24.585, la Ley Provincial de Medio Ambiente N° 7070 y su reglamentación, el Código de Aguas Provincial y el Código Provincial de Procedimientos Mineros. No obstante se considera que esta legislación define aspectos básicos que debe ser sustentadas por disposiciones complementarias basadas en la sistematización y caracterización de los ríos y otros aspectos geoambientales.

Esta información permitirá conocer su comportamiento, especialmente planificar su aprovechamiento.

8. CONCLUSIONES

La reseña realizada muestra que los conflictos geoambientales de la ciudad de Salta, se deben a factores naturales y antrópicos, basados en las características geológicas del EGU, que deben ser evaluados en detalle y sistematizadas. A su vez debe realizarse un monitoreo continuo porque la urbanización debe estar sujeta a las restricciones que imponen los factores geológicos del territorio y definen el grado de vulnerabilidad del escenario natural.

Las condiciones geoambientales del EGU son propicias para la generación de riesgos naturales, antrópicos y mixtos, por la variedad de interfaces conflictivas que presenta el medio natural, asociados con la potencialidad de liberación de grandes concentraciones de energía por sismos. El volcanismo, aunque con menor incidencia, forma parte de los riesgos del entorno geoambiental.

El diagnóstico realizado del EGU del Gran Salta muestra que en el futuro de continuar con los patrones actuales de ocupación territorial, aumentarán básicamente la degradación del paisaje y los impactos ambientales. Aunque existen potencialidades para contrarrestarlos, si los actores responsables involucrados actúan con eficiencia y coordinación.

La primera potencialidad manifiesta es que las interfaces conflictivas del EGU, representan problemas cuya escala es manejable si se desarrollan programas de investigación que respalden el cuerpo de legal vigente, con un poder de policía eficaz. Para este fin se considera que las instituciones públicas deben cumplir un papel protagónico junto a las universidades locales. La educación se considera un pilar del proyecto.

El cuerpo legal debe contemplar estudios multidisciplinarios para los nuevos proyectos urbanísticos, sobre la base de caracterización de las unidades geoambientales. También fijar las normas para un equilibrio urbanístico entre patrones arquitectónicos y el paisaje. Este aspecto dio en su momento identidad propia a la ciudad de Salta, que la destacó turísticamente a nivel nacional e internacional.

Los estudios realizados indican que la intervención antrópica y los riesgos naturales tiene casi la misma incidencia del valor riesgo lo que indica que el medio posee alta vulnerabilidad a ambos tipos de riesgos. La excepción son los impactos que pueden causar los terremotos con mayor peligrosidad por la alta energía que liberan.

Las conclusiones destacan la importancia de implementar un estudio sistemático de detalle sobre la aptitud de las unidades geoambientales según sus características físicas, geológicas, geotécnicas y otros. El análisis de la problemática incluso debe realizarse a escala de subunidades morfológicas del paisaje o territorio como unidades de suelos, terrazas fluviales, conos aluviales, drenajes y otros. El objeto de obtener un diagnóstico claro y preciso sobre las potencialidades, restricciones y tipos de riesgos de cada una de las unidades geoambientales, a los efectos de un ordenamiento del territorio que permita un aprovechamiento racional.

9. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución del Grupo Consultor GEMA comprometido con el estudio de problemas de Geología Urbana de la ciudad de Salta, de la que participan investigadores de la Cátedra de Geotecnia de la UNSa y consultores privados.

10. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AYALA CARCEDO, F. Y J. JORDI PARDO, 1988.
Geología Ambiental.
Inst. Tecnológico Geominero de España, pp 257, Madrid.
- BIANCHI, A.R. Y C.E. YAÑEZ, 1992.
Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino.
INTA, SAGyP, Estación Experimental Agrop. Salta, 383 pp., Salta.
- CALVO, A. N.; 1997.
Reconocimiento y Caracterización Preliminar de los Principales Depósitos de Arcillas en el Valle de Lerma.
Universidad Nacional de Salta. Tesis Profesional. Inédita.
- CHAFATINOS, T. Y R.A. NADIR, 1973.
Problemas de Erosión e Inundación en la Ciudad de Salta.
Sec. de la Producción, Depto. Suelos. Inédito, pp 35, Salta..
- FERRARY, M., MARCUZZI, J.J. Y O. BARROS, 1994.
Ordenamiento y Sistematización Geoambiental del Tramo Urbano del Río Arenales, Ciudad de Salta, R. Argentina.
7º Congr. Geol. Chileno, Vol.1:623-62, Concepción.
- GALLARDO, A., MARCUZZI, J.J. Y R. ARGANARAZ, 1994.
Neotectónica del Espacio Geológico Urbano (EGU) de Salta, Argentina, I: Entorno Subregional del Valle de Lerma.
7º Cong. Geol. Chileno, Vol. 1:294-298, Concepción.
- GALLARDO, A., MARCUZZI, J.J. Y R. ARGANARAZ, 1994.
Neotectónica del Espacio Geológico Urbano (EGU) de Salta, Argentina II: Evidencia de Fallamiento Reciente en el Ejido de la Ciudad de Salta.
7º Cong. Geol. Chileno, Vol. I:628-632, Concepción.
- GALLARDO, E.; AGUILERA, N.; DAVIES D. Y R. ALONSO; 1997.
Estratigrafía del Valle de Lerma, Provincia de salta, Argentina.
Memorias del XII Cong. Geol. de Bolivia, Tarija pags. 483-493.
- GARZÓN HEYDT, G., 1988.
Geología y Zonificación de Unidades Territoriales.
En Ayala Carcedo, J.F. y J.F. Jordi Pardo (Ed.) Geología Ambiental. Inst. Tecnol. Geominero de España, pp 231-238, Madrid.
- LOUTAYE, JUAN J; 2001.
El incremento de las afecciones como consecuencia del geoambietne y la Expanmsión Urbana.
GEMA Informe Inédito, pp 33. Salta.
- MALAMUD, B.; JORDAN, T.; ALONSO, R.; GALLARDO, E.; GONZÁLES, R. Y S. KELLY; 1996.
Pleistocene Lake Lerma, Salta Province, NW Argentina.
XIII Cong. Geol. Arg. y III Cong. de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: 103-114. Buenos Aires.
- MARCUZZI J.J.; 1991.
Bases de Riesgos Geológicos para el Ordenamiento Urbano del Gran Salta.
Gob. de la Provincia de Salta ISEIS-FACLAM-FUNDADES. Inédito.
- MARCUZZI J.J. Y R.A. ARGANARAZ; 1991.
Génesis y Características Geotécnicas del Subsuelo de la Ciudad de Salta, Argentina.
VI Congreso Geológico Chileno. Actas p464-467. Viña del Mar, Chile.
- MARCUZZI, J.J., ARGANARAZ, R. Y V. MARCÓN, 1992.
Riesgos Naturales y Aspectos Geotécnicos del Subsuelo de la Ciudad de Salta. R. Argentina.
III Cong. Geol. de España y VIII Cong. Latinoamericano de Geología, Simposio T-2: 650-659, Salamanca.
- MARCUZZI, J.J., ARGANARAZ, R., BEJERMAN, J. Y R. BATTAGLIA; 1993.
El Empleo de Mapas Temáticos Geológicos-Geotécnicos para la Planificación Urbanística de la Ciudad de Salta.
Asoc. Arg.. de Geol. Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI). Publicación Especial N°1, pp151-165, Córdoba.
- MARCUZZI, JORGE J; 1994.
Análisis de los Riesgos Geológicos en el Sector Urbano de la Serranía de Mojotoro. Municipalidad de la Ciudad de Salta.
Informe Inédito.
- MARCUZZI, J.J., WAYNE, W.J. Y R.N. ALONSO, 1994.
Geologic Hazards of Salta Province, Argentina.
7th International IAEG Congress, Balkema, ISBN 9054105038, pp 2039-2048, Rotterdam.
- MARCUZZI, J.J., ARGANARAZ, R. Y J. BEJERMAN, 1994.
Bases para el Ordenamiento Urbano del Gran Salta. Salta, R. Argentina.
7º Cong. Geol. Chileno, Vol. I:648-652, Concepción.

- MARCUZZI, J.J.; NADIR, R.; ALONSO, R.N.; PERALTA, C. Y R. ARAGAÑARAZ, 1996.
Riesgos Geoambientales y Ordenamiento Territorial del Gran Salta.
XIII Cong. Geol. Argentino y III Cong. de Exp. de Hidrocarburos, Actas IV: 463-479. Buenos Aires.
- MARCUZZI, J.J.; TORREJÓN, D.; BEJERMAN, J. Y M. COSTILLA; 1998.
Geotechnical Characterization of the Geoenvironmental Units of the Great Salta, Argentina.
Poster Section. Congress of IAEG Vancouver, Canada.
- MARCUZZI, J.J.; TORREJÓN D.; PERALTA M. Y N.J. BEJERMAN; 1998.
Caracterización Geotécnica de la Unidades Geoambientales del Espacio Geológico Urbano (EGU) del Gran Salta, Salta Argentina.
Revista ASAGAI. N°12:69-84.
- MARCUZZI, J.J.; ROJAS L.; VERA SÁNCHEZ H. Y M. GUTIERREZ; 2000.
Aspectos Geotécnicos de los suelos de la Ruta Provincial N°28 y sus implicancia geoambientales, Prv. De Salta, Parte I: Aspectos Geoambientales del Entorno Físico.
XIV Cong. Geol. Boliviano, Memorias pags.542-547. La Paz, Bolivia.
- MEIJERINK, A.M., 1988.
Data Acquisition and Data Capture Through Terrain Mapping Units.
ITC Journal 1988-1, pp 23-44.



Procesos geoquímicos que determinan la hidroquímica de las lagunas pampásicas: Importancia del intercambio catiónico

Miretzky, Patricia Silvina¹ - Conzonno, Víctor Hugo² - Fernández Cirelli, Alicia¹

Resumen

Las lagunas pampásicas constituyen un elemento de singular importancia, en especial en la Provincia de Buenos Aires, por las variadas y diversas funciones que cumplen en el ecosistema. La desproporción entre la abundancia de cuerpos lénticos (1429 lagunas con longitud mayor a 500 m) y la baja densidad de la red fluvial puede atribuirse al relieve dominante de llanura. Se analizó la composición química de las aguas en función de factores climáticos y geomorfológicos y se determinaron los principales procesos geoquímicos intervinientes: meteorización de sedimentos loésicos, disolución de sedimentos marinos antiguos, evaporación-cristalización e intercambio catiónico. El proceso de precipitación atmosférica no es importante en la determinación de la composición química de las aguas superficiales, aún cuando el balance precipitación- evaporación es positivo en gran parte de la Provincia de Buenos Aires. Se observaron desviaciones al patrón básico de Gibbs que no pudieron ser atribuidas a la disolución de sedimentos marinos antiguos. El estudio de las relaciones en miliequivalentes por litro entre el sodio y el calcio permitieron establecer que dichas desviaciones se debían al proceso de intercambio catiónico.

1. INTRODUCCIÓN

Las lagunas pampásicas de la Provincia de Buenos Aires cumplen diversas y variadas funciones en el ecosistema, por lo que constituyen elementos de singular importancia. Se han contabilizado 1429 lagunas con longitud mayor a 500 m, muchas de ellas permanentes o semipermanentes (Gomez y Toresani 1998).

La llanura pampeana presenta clima templado pampeano, con temperatura media anual oscilando entre 13 y 17° C en la mayor parte del territorio. Las precipitaciones decrecen de norte a sur y de este a oeste con valores promedio entre 1000 y 700 mm anuales, siendo más abundantes en primavera y verano.

Frenguelli (1956) llama la atención sobre la desproporción entre la abundancia de cuerpos lénticos y la pobre densidad de la red fluvial, lo puede explicarse por el relieve preponderante de llanura con una pendiente de 0,3 m / km (Sala 1975) que dificulta el flujo horizontal de las aguas, siendo más importantes los movimientos de agua en sentido vertical que en el horizontal. Los aportes hídricos que reciben las lagunas provienen de las precipitaciones atmosféricas, del escurrimiento superficial encauzado a través de arroyos, del escurrimiento no encauzado, en manto, y del agua subterránea, llegando al punto que muchas de ellas son superficies freáticas al descubierto. La presencia frecuente de la capa freática a escasa profundidad, hacen que el agua subterránea y el agua superficial se encuentren fuertemente interrelacionadas.

El origen de las lagunas pampásicas es diverso y en general responde a varios procesos que actuaron en forma conjunta, la acción fluvial, la tectónica pero el proceso dominante es el deflacionario por acción eólica (Tabla 1). La edad geológica de las mismas se ubica desde el Pleistoceno medio a la actualidad (Dangavs y Blasi 1994).

Entregado: 01 de Febrero de 2002 ■ Aceptado: 15 de Marzo de 2002

1. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA). Facultad de Ciencias Veterinarias. UBA. Chorroarín 280 (1427). Buenos Aires. Tel.: (11) 4524 8484; e-mail: patovior@fvvet.uba.ar
2. Instituto Tecnológico de Chascomús (INTECH). Camino Circunvalación Laguna Km 6. CC 164. 7130 Chascomús. Provincia de Buenos Aires

TABLA 1: ORIGEN DE ALGUNAS LAGUNAS PAMPÁSICAS (Dangavs 1998)

Laguna	Origen
Chasicó	tectónico
Gómez	fluvial
La Adela	fluvial
La Tablilla	fluvial
Mar Chiquita	asociada a línea de costa
Sauce Grande	asociada a línea de costa
Hinojo	eólica
Las Tunas	eólica
Guamini	"tectónico, fluvial y eólico"

Las lagunas pampásicas tienen salinidad variable, se encuentran en general dentro del rango de oligohalinas (residuo sólido salino 0,5-5,0 g/L) a mesohalinas (residuo sólido salino 5,0-16,0 g/L), aunque hay ejemplos de hiperhalinas (residuo sólido salino >40 g/L) (Ringuélet *et al.* 1967, Ringuélet 1968). La composición iónica de las mismas varía entre bicarbonatadas sódicas y cloruradas sódicas, hemi a hipo sulfatadas e hipomagnésicas. Las que se alojan en zonas de influencia marina poseen relaciones en equivalentes $Mg^{2+} / Ca^{2+} / Cl^{-} / (Cl^{-} + HCO_3^{-})$ elevadas.

Gibbs (1970) estudiando la salinidad de las aguas superficiales mundiales concluyó que los principales procesos que determinan la misma son: 1) la meteorización de las rocas de la cuenca de drenaje, 2) la precipitación atmosférica y 3) el equilibrio entre precipitación- evaporación. Gibbs obtuvo una figura tipo boomerang al representar la variación de la relación en peso de $Na^{+} / (Na^{+} + Ca^{2+})$ en función del contenido de sólidos totales disueltos (STD). Análogamente se representa para los aniones, la variación de STD con respecto a la relación en peso $Cl^{-} / (Cl^{-} + HCO_3^{-})$. Cualquier cuerpo de agua superficial cuya química esté influenciada por las precipitaciones, se ubicará en la zona inferior derecha del gráfico de Gibbs presentando valores bajos de STD y alta relación $Na^{+} / (Na^{+} + Ca^{2+})$. Cuando el proceso que predomina es la meteorización, en general las aguas resultan bicarbonatadas cálcicas, presentan valores medios de STD y ocupan aproximadamente la primera mitad del eje $Na^{+} / (Na^{+} + Ca^{2+})$ en la zona central del gráfico de Gibbs. El proceso de evaporación- cristalización es más significativo en zonas áridas y tórridas donde la evaporación supera a la precipitación atmosférica. Las aguas que responden a este proceso se ubican en la zona superior derecha del gráfico de Gibbs, siendo el punto más extremo el que representa la composición del agua de mar.

En un trabajo anterior (Miretzky *et al.* 2000) se observó que las aguas de las lagunas Encadenadas de Chascomús y de algunas de los alrededores, no respondían al diagrama de Gibbs, lo que significaba que los procesos de precipitación atmosférica, meteorización y de cristalización- evaporación no podían explicar por sí solos la composición química del agua de las lagunas. Se determinó que el proceso responsable de las desviaciones al modelo de Gibbs era el proceso de intercambio catiónico en los sedimentos loésicos, de origen volcánico piroclástico y transportados por el viento a su actual lugar de depositación, y que este proceso no producía desviaciones en el diagrama aniónico.

Drago y Quiros (1996) encontraron desviaciones al esquema básico de Gibbs al tratar la hidroquímica de las lagunas chaco- pampeanas y concluyeron que la composición química era controlada por los procesos de meteorización y de concentración por evaporación- cristalización y que las desviaciones se debían a la disolución de sedimentos marinos antiguos.

El objetivo de este trabajo es determinar cuáles son los procesos responsables de la composición química de las aguas de cuerpos lénticos de la Provincia de Buenos Aires, en particular, determinar si las desviaciones observadas al diagrama de Gibbs se deben al proceso de intercambio catiónico y no a la disolución de sedimentos marinos.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Hidrología

Para el estudio de los procesos que determinan la hidroquímica de las lagunas pampásicas, se agruparon los sistemas lénticos de acuerdo con las características geomorfológicas según el esquema propuesto por Gómez y Torresani (1998) (Fig. 1), quien define las siguientes áreas:

- I) Cuenca Parano-Platense
- II) Cuenca del río Salado y arroyo Vallimanca
- III) Cuenca Noroccidentales
- IV) Cuenca de pendiente Atlántica
- V) Cuenca endorreicas del suroeste
- VI) Litoral marítimo bonaerense

Hemos obviado la descripción de la Cuenca Parano-Platense debido a que la cantidad de cuerpos lénticos es poco representativa.

En la cuenca del Salado-Vallimanca se registran 339 lagunas, de las cuales 125 son temporarias y como la mayoría de las lagunas pampásicas, son de salinidad variable. El sistema de las Encadenadas de Chascomús, el más estudiado, comprende las lagunas de Vitel (13 km²), Chascomús (30 km²), Adela (21 km²), Manantiales, del Burro (10,7 km²), Chis Chis (14,8 km²), Tablilla (16,7 km²) y Las Barrancas (8,85 km²). Todas ellas se comunican entre sí por medio de arroyos y con el río Salado a través del arroyo La Horqueta.

La cuenca noroccidental se caracteriza por la ausencia total de red hidrográfica. Esta zona arreica que se extiende desde el sur de Trenque Lauquen hasta el norte de General Pinto, no obstante, posee numerosos cuerpos lagunares y bañados ubicados entre médanos. Se encuentran en la zona 270 lagunas, de las cuales 241 son temporarias. El grupo más importante corresponde al complejo lagunar Las Tunas-El Hinojo (Trenque Lauquen) conformado por 5 lagunas principales, El Hinojo, Las Tunas Grandes, La Gaviota, Las Tunas del Medio y las Tunas Chicas, siendo la laguna El Hinojo la más grande (Fig.1). Este complejo representa el ambiente más deprimido de la zona.

Excluidos los dos caudalosos ríos alóctonos de régimen pluvionival, el río Colorado y el río Negro, los demás cursos de vertiente atlántica son todos autóctonos y de régimen pluvial, constituyendo pequeñas redes hidrográficas, regidas por los dos cordones serranos de la Provincia. Unos drenan el flanco norte de Tandilia y desaguan a través de la albúfera de Mar Chiquita, presentando esta subcuenca características similares a la Pampa Deprimida. Otros ríos nacen en el flanco sur de la sierra de Tandil y en la meseta de Juárez y desaguan la pampa interserrana, cruzando la zona en forma perpendicular a la actual línea de

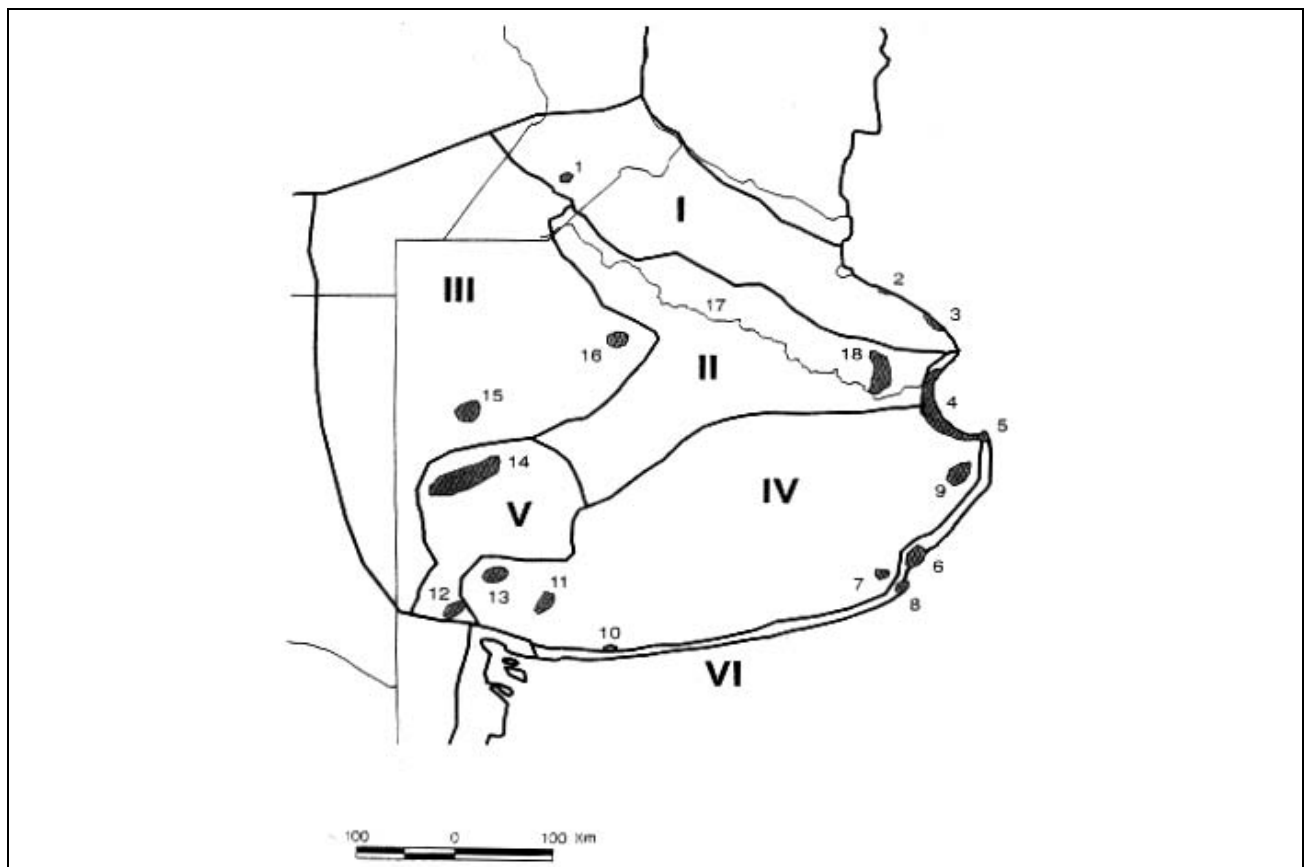
costa Atlántica. Solamente los de mayor caudal logran salvar la ancha faja de médanos costeros. Estos cursos de agua en general son oligohalinos. En esta cuenca existen 695 lagunas, de las cuales 477 son temporarias, algunas de las cuales se deben a endicamiento por médanos en la región costera. Entre las más importantes se encuentran: Laguna Sauce Grande (22,9 km²), en Monte Hermoso, la Laguna de los Padres, de origen tectónico, el complejo lagunar Salada Grande (60.78 km²) (Partidos de General Madariaga-General Lavalle). En General Lavalle se encuentran ubicadas las lagunas Salada Grande, Las Chilcas, La Limpia y la Barrancosa, en General Madariaga, las lagunas La Larga, El Carbón y El Tigre, y en ambos partidos, la laguna Salada Chica. El único ambiente léntico artificial de magnitud en toda la región es el dique de Paso de las Piedras (33 km², cuenca del río Sauce Grande).

La cuenca endorreica del suroeste con 61 lagunas, de las cuales 37 son temporarias, comprende 2 subcuencas: a) la de la laguna Epecuén que drena hacia el norte y desagua en el sistema lagunar de las Encadenadas del Oeste (580 km²), situadas en una faja deprimida de más de 100 km de longitud, con eje noreste-sudoeste y cuya pendiente sigue la misma dirección,

conformando el conjunto un rosario lagunar formado por la laguna Inchauspe o La Larga Chica, Alsina (cota 106,8 m, superficie 42 km²), Cochicó, del Monte o Guaminí, La Dulce, Del Venado, La Paraguaya, Alpataco y Epecuén. Las de mayor importancia son la laguna Alsina, Cochicó (cota 104,5 m) con 50,1 km², Del Monte, con 100 km² y Epecuén con 120 km² (Dangavs, 1983); b) la subcuenca de la laguna Chasicó que drena hacia el sudoeste y desagua en la depresión de Chasicó.

El litoral marítimo bonaerense se extiende desde Punta Rasa hasta Punta Redonda, límite norte de la desembocadura del río Negro (Fig. 1). El tramo Punta Piedras-Punta Rasa (Punta Norte del Cabo San Antonio) comprende toda la Bahía de Samborombón. El tramo que se extiende entre Punta Rasa y Punta Médanos (extremo sur del cabo San Antonio) presenta gran cantidad de canales de marea, pero el rasgo distintivo lo constituye el cordón de dunas de hasta 20 m de alto que corre paralelo a la línea litoral y cuyo origen se debe a la acción del viento sobre las arenas de las playas costeras. Los acantilados rocosos, escasos en la zona, corresponden a la prolongación de la sierra de La Tinta en Mar del Plata. En esta zona se encuentra la única albufera activa de la Argentina, la laguna Mar Chiquita.

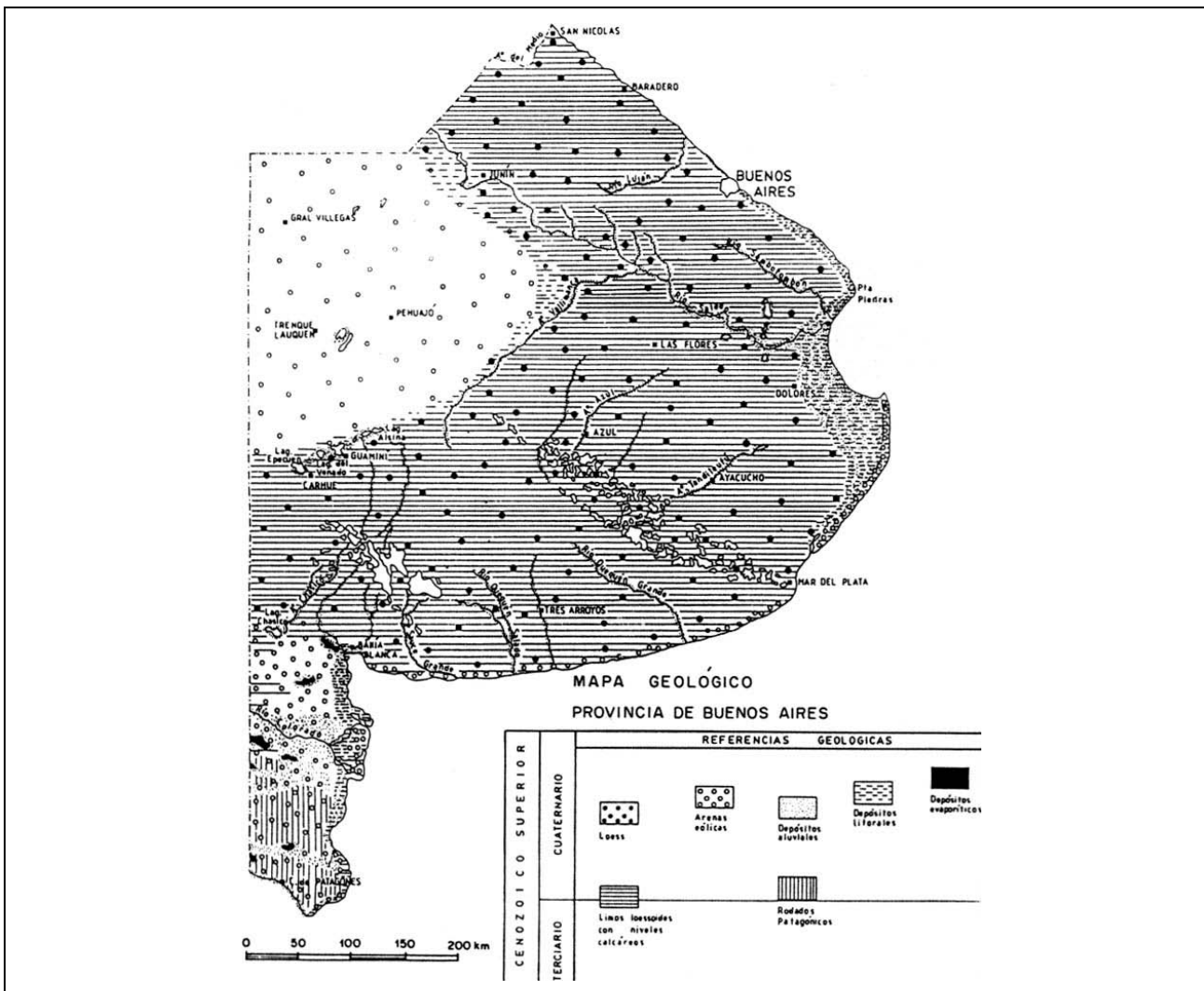
FIGURA 1: REPÚBLICA ARGENTINA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES. REGIONES GEOMORFOLÓGICAS
(Gómez y Toresani, 1994)



I) Cuenca Parano-Platense; II) Cuenca del río Salado y arroyo Vallimanca; III) Cuenca Noroccidentales; IV) Cuenca de pendiente Atlántica; V) Cuenca endorreicas del suroeste; VI) Litoral marítimo bonaerense.

(1:Laguna Melincué, 2: Selva marginal de Punta Lara; 3: Arroyos y bañados de Magdalena; 4: Cangrejales de Samborombón; 5: Punta Rasa; 6:albufera de Mar Chiquita; 7: Laguna de Los Padres; 8: Cabo Corrientes; 9: complejo Laguna Salada Grande; 10: Laguna Sauce Grande; 11: Dique Paso de Las Piedras; 12: Cuenca de Chasicó; 13: Sierra de la Ventana; 14: Sistema Encadenadas del Oeste; 15: complejo lagunar Las Tunas-Hinojo; 16: humedales del partido 9 de Julio; 17: cauce del Río Salado; 18: Sistema de Lagunas Encadenadas de Chascomús).

FIGURA 2: MAPA GEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (de Geología Argentina, editor R. Caminos, 1999)



2.2 Geología regional

La llanura pampeana está recubierta por un espeso manto de sedimentos loessoides o arenosos, siendo una inmensa cuenca tectónica de hundimiento paulatinamente rellenada y nivelada por sedimentos en su mayoría de carácter continental. (Gómez y Toresani 1998). Entre estos sedimentos se encuentran, según la descripción de Fidalgo (1999) (Fig. 2):

- a) Limos Loessoides: limolitas y limos de color castaño rojizo, macizos, con niveles calcáreos (3-4 %) en espesores variables de 1 a 2 m y distribuidos en la mayor parte de la provincia de Buenos Aires. Su edad abarca desde el Mioceno medio al Pleistoceno superior e incluyen entre otros los Sedimentos Pampeanos (Fidalgo et al. 1975; Fidalgo 1983) y la Formación Pampeano (Fidalgo et al. 1986a; Zárate 1989).
- b) Loess: limos con arenas y arcillas subordinadas de color gris amarillento a amarillo castaño, sin estratificación, con carbonato de calcio en general pulverulento. Yacen en discordancia sobre los Limos Loessoides, sobre parte de los Sedimentos Aluviales y de los Depósitos Litorales. La edad de los mismos es desde el Pleistoceno superior al reciente y comprende los sedimentos denominados Platense (Frenquelli 1934), Médano Invasor (Tapia 1935), Formación La Postrera (Fidalgo et al. 1973).
- c) Sedimentos aluviales: representados por limos arenosos a arcillosos, arenas limosas y arcillas, de color castaño claro, amarillento, verdoso, con cierto contenido de materia orgánica, macizos o estratificados o laminados y con carbonato de calcio en forma de concreciones o diseminado en la masa, correspondientes al Lujanense (Ameghino 1889 y Frenquelli 1950), Aluvio Actual (Fidalgo et al. 1991) y otras.
- d) Arenas eólicas: depósitos integrados por arenas medianas a finas con fracción limosa subordinada de color castaño grisáceo a gris, adoptando la forma de mantos o cuerpos medianosos. Yacen en discordancia sobre los Limos Loessoides, los Depósitos Litorales y localmente pueden encontrarse sobre los Depósitos aluviales. Incluyen entre otras, la Fm. Punta Médanos (Parker 1979), Fm. Faro Querandí (Schmack et al. 1982), Fm. Estancia La Aurora (Fidalgo et al. 1987), Fm. Matadero Saldungaray (Rabassa 1989).
- e) Depósitos Litorales: están representados por dos grupos de depósitos, uno de ellos constituido por sedimentos arenosos a limoarcillosos, de color gris verdoso, con restos de conchillas de agua salobre. El otro grupo de matriz arenosa con sedimentos conchiles generalmente estratificados, conforma cordones litorales en el ámbito de la Bahía de Samborombón, mientras que en la región de San Blas están compuestos por gravas. Estos depósitos litorales yacen

TABLA 2: UBICACIÓN Y DATOS MORFOMÉTRICOS DE ALGUNAS LAGUNAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (Ringuelet et al. 1967, 1968 ; Dangavs, 1976 , Dangavs y Merlo 1997, Dangavs y Dallasalla 1977, López et al. 1993 y Toresani et al. 1994).

Laguna	Lat	Long	altura msnm	Superf. km ²	vol hm ³	prof media m	línea de costa km
Alsina	36° 53'	62° 10'	105	132.9	374	2.8	61.9
Cochico	36° 55'	62° 20'	102	66.7	342	5.1	46.1
del Monte	37° 00'	62° 30'	100	174.5	830	4.8	100
del Venado	37° 01'	62° 40'	100	100.2	498	5	22
Epecuén	37° 10'	62° 50'	90	160.3	1127	7	
La Tablilla	35° 48'	58° 02'	7	16.1	15.9	1.1	49.6
Manantiales	35° 35'	58° 00'	7	20.8	25.9	1.2	37.8
Chascomus	35° 36'	58° 00'	8	30.1	47	1.5	28.1
ChisChis	35° 46'	57° 58'	7	14.7	15.9	1.1	24
Salada Grande	36° 55'	58° 50'	2	61	38.5	0.6	77.5
Sauce Grande	38° 57'	61° 24'	8	22.9	23.7	1.1	37
Vitel	35° 31'	58° 07'	7	14.6	17.2	1.2	18.4
Yalca	35° 35'	57° 55'	7	10.6	7.2	0.7	16.2
del Burro	35° 42'	57° 55'		10.2	18.19	1.78	1.58
Las Barrancas	35° 53'	58° 03'		8.98	10.63	1.18	1.36
El Carpincho	34° 35'	60° 54'		4.59	3.4	0.68	1.63

en discordancia erosiva sobre los Limos Loessoides en el sector este y noreste de la Provincia de Buenos Aires. La edad de los mismos abarca desde el Pleistoceno superior al Holoceno. Incluyen entre otras, al Querandinense y Platenense (Ameghino 1908, Frenguelli 1950), Fm. Destacamento Río Salado y Fm. Las Escobas (Fidalgo et al. 1973 a , b), Fm. Salada Grande, Los Zorzales y Las Chilcas (Dangavs 1977), Fm. Mar Chiquita (Schnack et al. 1982).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos de aguas superficiales de las lagunas pampásicas se realizaron durante el año 1998. La temperatura y el pH fueron medidos en el momento de muestreo con un equipo Hanna HI 9025. La posición geográfica se registró satelitalmente con un GPS (Garmin 38). Las muestras almacenadas en botellas de polietileno fueron filtradas en el laboratorio a través de filtros de membrana de acetato de celulosa (Micro Separations Inc.) de 0,45 µm de diámetro de poro. Los carbonatos y bicarbonatos se determinaron por titulación ácido-base, los cloruros por titulación con AgNO₃ y los sulfatos por titulación con BaCl₂ en medio acuoso-acetónico y rodizonato de sodio como indicador. Sodio y potasio se determinaron por espectrofotometría de emisión atómica y calcio y magnesio por absorción atómica (Varian Techtron AA275). Los sólidos totales disueltos (STD) fueron calculados como suma de las concentraciones de los iones recién mencionados.

4. RESULTADOS

En la Tabla 2 se observan las características morfométricas de algunas lagunas pampásicas y en la Tabla 3, la composición química de las mismas. Para aquellas lagunas de las cuales

no se disponía de datos propios, se consideraron los datos más recientes de la bibliografía. Cabe aclarar que los datos bibliográficos sobre características químicas del agua provienen de trabajos realizados en distintos períodos, por distintos autores y con distintos objetivos, lo que dificulta la tarea de comparación, ya que la dinámica de las lagunas pampásicas está muy influenciada por los fenómenos de precipitación y evaporación atmosférica. La mayor información disponible se refiere a aniones y cationes mayoritarios, nutrientes y datos parciales sobre materia orgánica soluble.

Cuando se representan (Fig. 3a) los valores de STD con respecto a la relación en mg/L $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ para las aguas de las lagunas pampásicas listadas en la Tabla 3, se observa, que los datos caen fuera del boomerang de Gibbs, en una franja que va desde 0,9 hasta 1,0 de la relación $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ y STD variando entre 750 y 28000 ppm. Debe notarse que las lagunas pertenecientes a la cuenca de drenaje del río Salado, presentan un valor de STD relativamente constante, entre 750 y 2000 ppm, a excepción de la laguna de Mar Chiquita (Tabla 3). Así mismo, ningún dato cae en la zona donde la composición química de las aguas es dominada por la precipitación atmosférica, aún cuando en la mayor parte de la Prov. de Buenos Aires, el balance hídrico es positivo.

De los datos de Tabla 3 se observa que para todas las lagunas, $(\text{meq/L}) \text{Na}^+ > \text{Cl}^-$ y $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < (\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$, relaciones que deberían ser equivalentes si en una primera instancia se supone que el sodio proviene de la disolución de la halita y el calcio y el magnesio de la disolución de los carbonatos y el yeso. No se tiene en cuenta el aporte de la meteorización de los aluminosilicatos debido a que poseen una cinética muy lenta. Para comprobar que las desviaciones al patrón

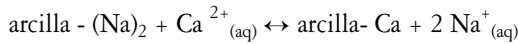
TABLA 3: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALGUNAS LAGUNAS PAMPÁSICAS

laguna	zona	pH	TDS ppm	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	HCO ₃ meq/L	CO ₃ meq/L	SO ₄ meq/L	Ref.
Chascomús	2	9.47	1572.4	19.9	0.39	1.00	1.97	10.23	5.72	1.77	5.82	1
El Burro	2	9.49	1342.1	17.2	0.42	1.01	2.08	9.92	4.84	3.97	2.15	1
ChisChis	2	7.30	1033.1	10.6	0.46	1.75	1.80	6.81	6.20		1.60	1
Las Barrancas	2	8.24	2388.4	28.4	0.82	2.71	4.64	20.50	7.50	0.87	7.80	1
La Salada	2	10.33	999.8	13.7	0.64	0.35	0.96	7.33	3.52	4.84	0.40	1
La Segunda	2	8.74	1104.7	13.0	0.87	0.90	1.28	8.14	6.93	0.44	0.20	1
Yalca	2	8.85	762.5	8.4	0.28	0.85	0.80	2.10	5.89	1.81	0.40	1
Las Mulas	2	7.30	839.0	7.1	0.00	0.90	0.67	1.50	7.90	0.00	0.10	2
La Limpia	2	7.00	1340.0	11.7	0.72	0.40	0.58	4.40	8.90	0.00	2.10	2
San Jorge	2	9.00	1002.0	14.8	0.82	0.60	1.63	8.50	3.54	0.52	0.20	2
Vitel	2	8.10	1007.0	10.7	0.32	1.36	1.10	5.04	6.80		2.40	1
La Viuda	2	9.50	1228.0	15.2	0.72	0.72	1.73	8.70	6.34	3.62	0.20	1
Adela	2	8.12	1679.5	19.8	0.51	1.93	2.88	13.20	8.00		3.60	1
Quinteros	2	8.40	1106.0	2.7	0.50	1.40	1.07	3.40	14.30		3.20	3
Lobos	2	8.46	1408.1	17.1	0.52	1.64	2.98	9.14	4.82	0.90	6.39	4
Monte	2	9.40	1274.0	17.6	0.33	0.35	0.96	8.38	4.10	1.40	5.60	5
las Perdices	2		898.8	13.1	0.00	0.00	1.14	5.10	0.82	0.00	4.61	6
Mar Chiquita	2		28157.0	377.0	2.56	11.77	13.37	299.20	3.98	0.32	63.48	7
Gomez	2		5510.0	69.6	1.28	0.75	3.04	32.39	16.26	5.50	18.73	7
Gomez	2	8.75	61.8	25.1	0.72	1.36	2.86	14.13	10.29	1.77	5.60	13
El Carpincho	2	8.77	58.3	24.4	0.58	1.19	2.43	13.86	9.24	1.77	4.80	13
Hinojo-Las Tunas	3		10430.0	133.0	1.28	6.50	13.60	109.17	6.23	1.33	36.04	8
de Los Padres	4		560.0	5.2	0.13	0.50	0.80	1.52	2.05	2.83	0.19	7
Salada Grande	4	8.90	6566.0	79.5	4.06	1.60	20.17	89.39	11.45	5.08	7.38	9
Las Chilchas	4	7.00	1341.0	19.1	1.23	1.57	3.39	17.52	4.66	0.00	0.47	9
La Limpia	4	8.20	1374.0	15.5	1.13	2.61	4.62	16.57	7.65	0.00	4.00	9
La Barrancosa	4	7.70	1032.0	12.3	0.41	2.99	2.61	10.20	7.75	0.00	0.39	9
La Larga	4	7.60	2823.0	39.3	1.43	2.19	9.76	37.90	10.71	0.00	1.54	9
El Carbón	4	9.4	16360.0	0.0	0.00	4.94	47.52	227.00	1.52	5.68	30.79	9
El Tigre	4	8.7	11424.0	0.0	0.00	3.78	34.04	160.70	9.53	0.00	23.25	9
Salada Chica	4	7.3	2652.0	26.1	1.74	2.57	7.05	36.13	6.65	0.00	2.36	9
Sauce Grande	4		675.0	5.4	0.13	1.45	1.19	2.59	4.77	0.37	0.77	7
Alsina	5		909.0	10.9	0.36	0.85	1.44	3.07	7.38	0.50	2.77	7
Cochicó	5		1346.0	17.4	0.38	0.70	1.92	5.13	9.30	0.77	5.10	7
Guamini	5		7368.0	95.7	1.00	0.45	4.00	65.66	15.54	2.20	18.73	7
La Dulce	5		13777.0	208.5	1.99	0.45	5.35	139.13	20.52	4.57	52.01	7
Del Venado	5		15813.0	232.1	2.09	0.06	5.60	150.00	20.31	6.77	67.64	7
Epecuen	5			550.5	5.52	0.00	4.96	452.24	0.00	0.00	101.63	10
Chasicó	5		48000.0									11

Referencias

1: Miretzky et al. 2000; 2: Dangavs y Dallasalda 1977; 3: Dangavs y Merlo 1997; 4: Mariñelarena y Conzonno 1997; 5: Fazio et al. 1998; 6: Ringuelet et al. 1967, 1968; 7: Drago y Quiros 1996; 8: Kruse y Rojo 1991; 9: Dangavs 1988; 10: Morduchowicz 1989; 11: Dangavs et al. 1983; 12: datos propios 2000.

básico de Gibbs no se deben a disolución de sedimentos marinos antiguos, sino al proceso de intercambio iónico representamos (Fig. 4) $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ en función de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - (\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$. En efecto, si los meq/L en exceso de Na^+ se compensan con los meq/L en defecto de Ca^{2+} , podemos aseverar que tuvo lugar un proceso de intercambio catiónico entre el Na^+ de las arcillas y el Ca^{2+} del agua, esquematizado en la siguiente ecuación

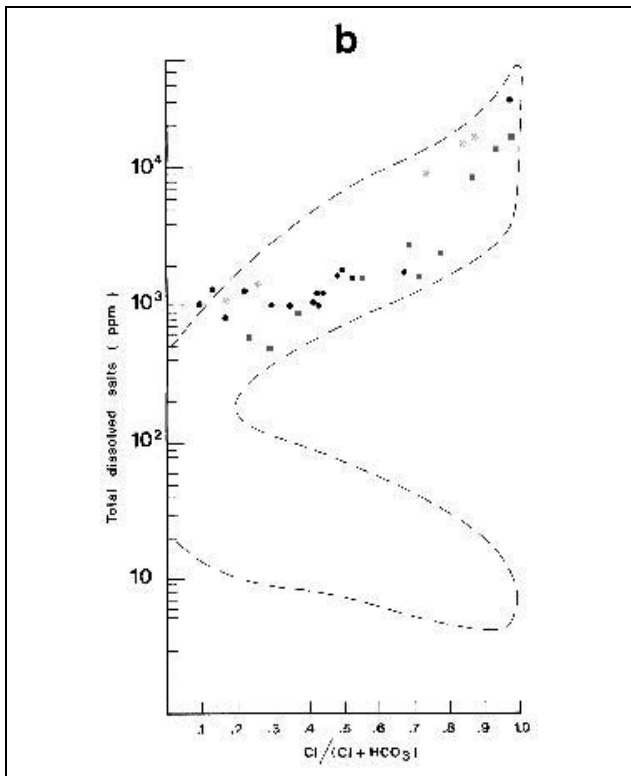


La recta obtenida indica una buena correlación lineal ($r = 0,93$) y pendiente $-0,90$ cercana al valor de $-1,0$ esperado. Si se elimina el aparentemente anómalo dato de la laguna de Mar Chiquita (77.80, -42.26) de la cuenca del Salado, el coeficiente de correlación lineal resulta $r = 0,98$ y el valor de la pendiente de la recta $-0,99$. Cabe destacar que para la laguna de Mar Chiquita, según los datos presentados en Tabla 3 no se cumple con el balance de electroneutralidad.

Cuando se representan los datos de la relación en $\text{mg/L Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ en función del STD en el diagrama de Gibbs (Fig. 3 b), se observa que todos los valores caen en la zona del boomerang donde predominan los procesos de meteorización y de cristalización- evaporación. Ningún dato cae en la zona inferior del diagrama de Gibbs, donde la composición química del agua es determinada por el proceso de precipitación atmosférica. El proceso de cristalización- evaporación lleva al incremento de STD y a la precipitación del carbonato de calcio. Dicha precipitación está favorecida en el verano, cuando ocurre un desplazamiento de bicarbonato a carbonato debido a la menor concentración en agua del dióxido de carbono como consecuencia del aumento de la temperatura y la mayor actividad biológica.

FIGURA 3 b: DIAGRAMA DE GIBBS ANIÓNICO

• lagunas área II; ◦ lagunas área IV; ◻ lagunas área V



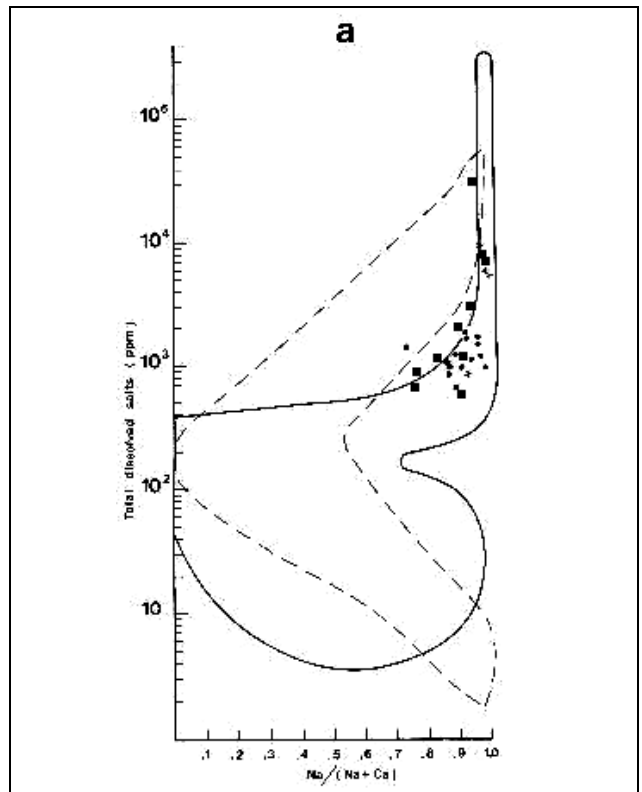
Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con los cationes, en donde todas las lagunas son fuertemente sódicas, se observan grandes variaciones en la composición aniónica. Todas las lagunas pertenecientes a la cuenca de drenaje del Salado presentan un STD poco variable, entre 1 y 2 g/L y son de tipo cloruradas bicarbonatadas hasta bicarbonatadas-cloruradas. En el caso de las lagunas ubicadas en el litoral atlántico y también en las lagunas que constituyen el Sistema de las Encadenadas del Oeste se observa que a mayor STD, es mayor la relación $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$.

5. DISCUSIÓN

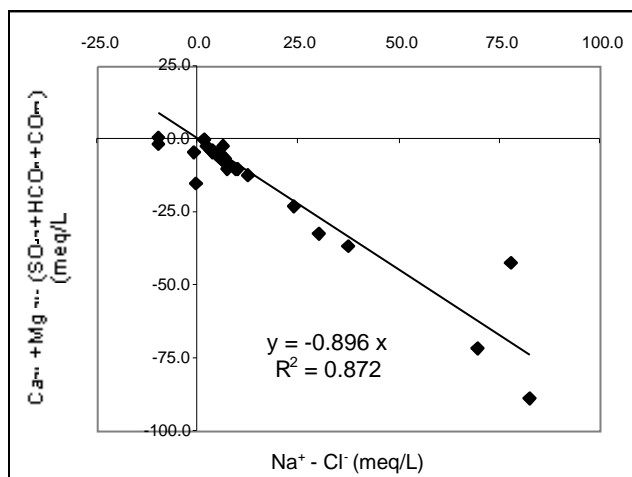
El hecho de que los datos representados caigan fuera del diagrama catiónico de Gibbs como se observa en la Fig. 3 a implica que los procesos de precipitación atmosférica, meteorización y de cristalización- evaporación no pueden explicar por sí solos la composición química del agua de las lagunas. Por otra parte, las precipitaciones atmosféricas no parecen ser importantes en la determinación de las características químicas de las lagunas, ya que no se observan aguas con bajo STD y alta relación en $\text{mg/L Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$.

FIGURA 3 a: DIAGRAMA DE GIBBS CATIÓNICO

• lagunas área II; ◦ lagunas área IV; ◻ lagunas área V



Un aumento de la salinidad por disolución de sales marinas producirá un corrimiento de los datos hacia el extremo superior derecho del diagrama, es decir hacia la composición del agua de mar ($\text{STD} = 35 \text{ g/L}$; $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}) = 1$), y dicho corrimiento se deberá observar tanto en el diagrama aniónico como en el catiónico. Por consiguiente, la disolución de sedimentos marinos antiguos hasta valores de $\text{STD} < 35 \text{ g/L}$ no produce desviaciones al esquema de Gibbs tanto aniónico como catiónico.

FIGURA 4: BALANCE DE ELECTRONEUTRALIDAD PARA ALGUNAS LAGUNAS PAMPÁSICAS

Wetzel (1983) modificó la forma del diagrama de Gibbs y le dio forma de retorta química en vez de boomerang. Las aguas de las lagunas pampásicas responden mejor a la retorta de alquimista de Wetzel.

De acuerdo a los resultados presentados, se puede aseverar que el proceso responsable de las desviaciones al diagrama catiónico de Gibbs es el intercambio catiónico entre el sodio adsorbido por las arcillas, en especial montmorillonita e illita, y el calcio del agua, en la evolución del agua subterránea que constituye el caudal de base de las lagunas. La montmorillonita e illita son los principales minerales de arcilla en la fracción arcilla del loess (Teruggi 1957), que como se observa en la Fig. 1 cubren la mayor parte de la Provincia de Buenos Aires. Las sustituciones isomórficas que tienen lugar en la montmorillonita e illita, producen deficiencia de cargas positivas o lo que es lo mismo, exceso de cargas negativa, aumentando la capacidad de intercambio catiónico (capacidad de intercambio catiónico de la montmorillonita = 80 meq / 100 g). Como resultado de dicho proceso, el agua se enriquece en sodio, cambiando de un tipo bicarbonatado-cálcico a uno bicarbonatado-sódico.

En el caso del diagrama aniónico, en aquellos cuerpos de agua con alta salinidad, especialmente de la cuenca litoral atlántica, de la cuenca del noreste y de las lagunas del Sudoeste se observa una clara evolución hacia la composición del agua de mar, ya sea por disolución de sedimentos marinos en las primeras, o por el proceso de evaporación-cristalización que provoca el aumento de STD, la precipitación del carbonato de calcio y aumento de la relación $Cl^- / (Cl^- + HCO_3^-)$ en las últimas.

7. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AMEGHINO, F., 1889.

Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Acad. Nac. Ciencias. Act.*, VI (Córdoba): 1-1027.

AMEGHINO, F., 1908.

Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal. *Anales Museo Nac. Buenos Aires*, 10, 3ª sección: 343-428.

DANGAVS, N., 1976.

Descripción sistemática de los parámetros morfométricos considerados en las lagunas pampásicas. *Limnobiós* 1(2): 35-59.

DANGAVS, N. Y DALLASALDA, L., 1977.

Geología, sedimentología y limnología de la Laguna Yalca. Partido de Chascomús, Provincia de Buenos Aires. República Argentina. *Comisión de Investigaciones Científicas. La Plata. Informe* 24.

Se debe destacar que el proceso de intercambio catiónico no modifica las relaciones aniónicas, y por lo tanto no produce desviaciones al esquema aniónico de Gibbs.

6. CONCLUSIONES

Las características químicas de las lagunas pampásicas están determinadas por los siguientes procesos geoquímicos:

- 1 meteorización de minerales presentes en los sedimentos loésicos de la cuenca de drenaje
- 2 disolución de sedimentos de origen marino provenientes de las intrusiones marinas del Holoceno
- 3 intercambio catiónico entre el sodio de las arcillas y el calcio del agua
- 4 evaporación-cristalización fraccionada que lleva a la precipitación del carbonato de calcio y al aumento de sólidos totales disueltos.

El proceso de precipitación atmosférica no es importante en la determinación de la composición química de las aguas superficiales, aún cuando el balance precipitación- evaporación es positivo en gran parte de la zona.

La conjunción de estos procesos, cuya importancia relativa depende de la zona en estudio, determina que las lagunas pampásicas sean cuerpos de agua predominantemente sódicos. En cuanto a su composición aniónica, se observan diferencias en la composición iónica y en el contenido salino en función de las regiones geomorfológicas.

Este trabajo extiende los resultados encontrados para las Encadenadas de Chascomús y confirma las desviaciones al esquema básico de Gibbs encontradas por Drago y Quiros (1996) al tratar la hidroquímica de las lagunas chaco-pampeanas. A diferencia de ellos concluimos, que si bien la composición química de las mismas es controlada por los procesos de meteorización y de concentración por evaporación-cristalización, las desviaciones se deben al proceso de intercambio catiónico entre el sodio de las arcillas de los sedimentos loésicos y el calcio del agua subterránea, parte del caudal de base de las lagunas. La existencia de este proceso modifica la hidroquímica del agua subterránea y por consiguiente la del agua superficial.

Debe destacarse que en el análisis de estos datos se han utilizado datos propios y datos de bibliografía (citados en la Tabla 3), que corresponden a muestreos realizados en distintas épocas del año y en distintos años, donde las precipitaciones y la evaporación no son coincidentes. Este hecho no permite comparar valores absolutos de sólidos totales disueltos o la composición de iones mayoritarios, pero sí nos permite afirmar la existencia del proceso de intercambio catiónico a través de las relaciones de equivalentes de sodio y de calcio.

- DANGAVS, N., BOZZO, A. Y STRELZIK, A., 1983.
 Conocimiento y manejo agrohidrológico de las llanuras bonaerenses de baja pendiente.
Coloquio Intern. De Grandes Llanuras. Unesco. V III: 1141-1161. Olavarría. Prov. de Buenos Aires.
- DANGAVS, N., 1988.
 Geología, sedimentología y limnología del Complejo Lagunar Salada Grande.
Partidos de General Madariaga y General Lavalle. Provincia de Buenos Aires. Argentina.
- DANGAVS, N. Y BLASI, A., 1994.
 Quaternary ontogeny of a pampean "laguna", Sedimentological and biological characteristics of Lobos Lake Sediments, Argentina,
J. Paleolimnology 10 (1): 59-66
- DANGAVS, N. Y MERLO, O., 1997.
 Geología ambiental de la Laguna de Quinteros y su cuenca.
Partidos de Chascomús y General Paz, Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas. La Plata. Año VI. N° 30.
- DANGAVS, N., 1998.
 Los ambientes lénticos de la Pampasia Bonaerense, República Argentina.
En Agua. Problemática Regional. Eudeba. 256 pp
- DRAGO, E. Y QUIROS, R., 1996.
 The hydrochemistry of the inland waters of Argentina: a review.
Int J of Salt Lake Res 4: 315-325.
- FAZIO, A. M., GALINDO, G. Y FERNÁNDEZ CIRELLI, A., 1998.
 Hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas en las vecindades de San Miguel del Monte.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 12. 29-40.
- FIDALGO, F., DE FRANCESCO, F. Y COLADO, U., 1973 a.
 Geología superficial en las hojas Castelli, J.M.Cobo y Monasterio (Provincia de Buenos Aires).
Actas V Congr Geol Arg. IV, p. 27-39.
- FIDALGO, F., COLADO, U. Y DE FRANCESCO, F., 1973 b.
 Sobre intrusiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires).
Actas V Congr Geol Arg. III, p. 227-240.
- FIDALGO, F., DE FRANCESCO, F. Y PASCUAL, R., 1975.
 Geología superficial de la llanura bonaerense.
Relatorio VI Cong. Geol. Arg. :103-138. Buenos Aires.
- FIDALGO, F., 1983.
 Algunas características de los sedimentos superficiales de la cuenca del Río Salado y en la Pampa Ondulada.
Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comité Nacional Programa Hidrológico Internacional, 2. Olavarría, Argentina: 1043-1067.
- FIDALGO, F., CORREA, H. Y GENTILE, R., 1986.
 Geología y Geomorfología de la cuneca del arroyo Tapalqué.
Informe 30. CIC. Provincia de Buenos Aires.
- FIDALGO, F., RIGGI, J., GENTILE, R., CORREA, H. Y PORRO, N., 1991.
 Los sedimentos Postpampeanos continentales en el ámbito sur bonaerense.
Asociación Geológica Arg. 42 (3-4): 239-257
- FIDALGO, F., 1999.
 Provincia de Buenos Aires. Continental.
En Ed. Martín Iriondo. El Holoceno en la Argentina. Edición Cadinqua. 1: 23-39.
- FRENGUELLI, J., 1934.
 El problema de la antigüedad del hombre en la Argentina.
Actas 25º Congreso Int. Americanistas, 1932, 1: 1-23.
- FRENGUELLI, J., 1950.
 Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires.
Publ. LEMIT. Serie 2. (33): 1-18.
- FRENGUELLI, J., 1956.
 Rasgos generales de la hidrografía de la Provincia de Buenos Aires.
Lemit, Serie II, 62, 18 p.
- GIBBS, R., 1970.
 Mechanisms controlling world water chemistry.
Science 170: 1088-1090

- GÓMEZ, S. Y TORESANI, N., 1998.
Region 3. Pampas. En Canevari P, Blanco D, Bucher E, Castro, Davidson I (eds) Los Humedales en la Argentina. Clasificación, Situación actual, Conservación y Legislación.
Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Wetlands International 46, 166 pp.
- LOS HUMEDALES EN LA ARGENTINA.
Clasificación, Situación actual, Conservación y Legislación.
Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Wetlands International 46, 166 pp.
- KRUSE, E. Y ROJO, A., 1991.
Aspectos hidrológicos preliminares del Complejo Lagunar Hinojo-Las Tunas (Buenos Aires). Pautas de Investigación. Situación ambiental de la Provincia de Buenos Aires.
Comisión de Investigaciones Científicas. La Plata. Año I. N° 1.
- LÓPEZ, H., PADÍN, O. Y IWASZKIW, J., 1993.
Biología Pesquera de las Lagunas Encadenadas del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires.
Dep. Cientif. Zool. Vertebrados. Fac. Ciencias Nat. y Museo. UNLP.
- MARIÑELARENA, A. Y CONZONNO, V., 1997.
Chemical characteristics and trophic status of Lobos Pond (Buenos Aires., Argentina).
Natura Neotropicalis 28 (1): 7-13
- MIRETZKY, P., CONZONNO, V. Y FERNANDEZ CIRELLI, A., 2000.
Hydrochemistry of pampasic ponds in the lower stream bed of Salado River drainage basin, Argentina.
Env. Geol 39: 951-956.
- MORDUCHOWICZ, N., 1989.
Laguna Epecuen. Partido de Adolfo Alsina. (Provincia de Buenos Aires).
Estudio de medicina hidrológica. Consejo Federal de Inversiones. Informe Final.
- PARKER, G., 1979.
Geología de la Planicie Costera entre Pinamar y Mar de Ajó, Provincia de Buenos Aires.
Asoc. Geol. Arg. Revista 34 (3): 167-183.
- RABASSA, J., 1989.
Geología de los depósitos del Pleistoceno superior y Holoceno en las cabeceras del río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires.
Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses: 765-790.
- RINGUELET, R., SALIBIÁN, A, CLAVERIE, E. Y ILHERO, S., 1967.
Limnología química de las lagunas pampásicas de la Provincia de Buenos Aires.
Physis. Tomo 27 (4):201-221
- RINGUELET, R., 1968.
Tipología de las lagunas de la Provincia de Buenos Aires. La limnología regional y los tipos lagunares.
Physis. Tomo 28 (16): 65-76.
- SALA, J., 1975.
Geología de la Provincia de Buenos Aires. Recursos hídricos.
VI Congreso Geol. Argentino. Relatorio. Buenos Aires, 169-251
- SCHNACK, E., FASANO, J. E ISLA, F., 1982.
The evolution of the Mar Chiquita lagoon coast, Buenos Aires Province, Argentina.
Proceedings International symposium on Sea level Change in the last 15000 years, magnitude and causes: 143-155.
- TAPIA, A., 1935.
Pilcomayo. Contribución al conocimiento de las llanuras Argentinas.
Dirección Nacional de Minería. Boletín 40, 124 pp.
- TERUGGI, M., 1957.
The nature and origin of Argentine Loess.
Journal of Sedimentary Petrology, 27 (3):.322-332.
- TORESANI, N., IRIART, N. Y GOMEZ, S., 1994.
Lagunas de la Provincia de Buenos Aires.
Dirección de Intereses Marítimos, Dirección Provincial de Pesca e Intereses Marítimos, Subsecretaría de Pesca, Ministerio de la Producción de la Provincia de Buenos Aires, 108 pp.
- WETZEL, R., 1983.
Limnology.
2nd ed. Saunders, Philadelphia.
- ZÁRATE, M., 1989.
Estratigrafía y Geología del Cenozoico Tardío aflorante en los acantilados marinos comprendidos entre playa San Carlos y el arroyo Chapadmalal, Partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires.
Tesis N° 546, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. La Plata.



Condicionamientos geológico-geotécnicos para el desarrollo urbano de Tucumán

Mon, Ricardo ¹ - Eremchuk, Jorge E. ²

Resumen

El área urbana de Tucumán con cerca de un millón de habitantes, está en una planicie situada contra el borde oriental andino. Las precipitaciones alcanzan 1000-1200 mm anuales, concentradas en los cuatro meses del verano. La mayor parte de la ciudad está fundada sobre capas de limos loésicos y arenas finas, parcialmente cubiertas e interstratificadas con sedimentos granulares gruesos que pertenecen a la planicie de inundación del río Salí. El área urbana ocupa ambas márgenes del río. Los avances de la urbanización sobre las laderas montañosas no son todavía significativos, sin embargo éstas ya han mostrado signos de inestabilidad en las excavaciones para las rutas que se desarrollan en ellas.

Por otra parte, durante las lluvias intensas, el agua que desciende por las laderas orientales de la sierra de San Javier produce inundaciones que provocan socavación y carcavamiento en los sedimentos blandos de la llanura y, además, transporta grandes cantidades de sedimentos y escombros que se depositan sobre las calles, caminos de la zona oeste de la ciudad.

Ciertos sectores de las márgenes del río Salí han sido ocupados por urbanizaciones precarias que sufren serios daños durante las crecientes estivales. Los edificios de altura del centro de Tucumán están fundados sobre espesos depósitos de limos inconsolidados y arenas finas. Hasta ahora se han producido asentamientos que sólo en casos aislados han revestido gravedad, pero el crecimiento futuro de las cargas puede incrementar excesivamente los asentamientos. La autorización de urbanizaciones en áreas donde la napa freática está muy elevada ha generado serios inconvenientes para los habitantes de esos barrios. La urbanización de Tucumán está avanzando sobre áreas problemáticas, que hasta hace poco menos de 15 años eran consideradas inconvenientes para la construcción. Este desarrollo está acompañado de serios daños ambientales y significativos riesgos para la población. Hasta que se implementen las obras de protección y mitigación necesarias, es necesario establecer zonas de exclusión para el avance de la urbanización.

1. INTRODUCCIÓN

Tucumán y las municipalidades que la rodean, el "Gran Tucumán" con cerca de un millón de habitantes, está en el borde de una llanura situada contra el frente andino. Las lluvias significativas se concentran en los cuatro meses del verano, en el resto del año las precipitaciones son muy escasas. La ciudad está construida sobre capas de sedimentos inconsolidados del

Cuaternario. La combinación de las empinadas laderas montañosas, situadas al oeste de la ciudad, con las intensas lluvias de la temporada estival, representa una amenaza que está condicionando el desarrollo de la ciudad. En este artículo se muestran las características de la geología de superficie, se reseñan los riesgos geológicos e hidrogeológicos mayores y se hacen breves consideraciones sobre las zonas de riesgo que deben ser consideradas en los trabajos de planeamiento urbano.

2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

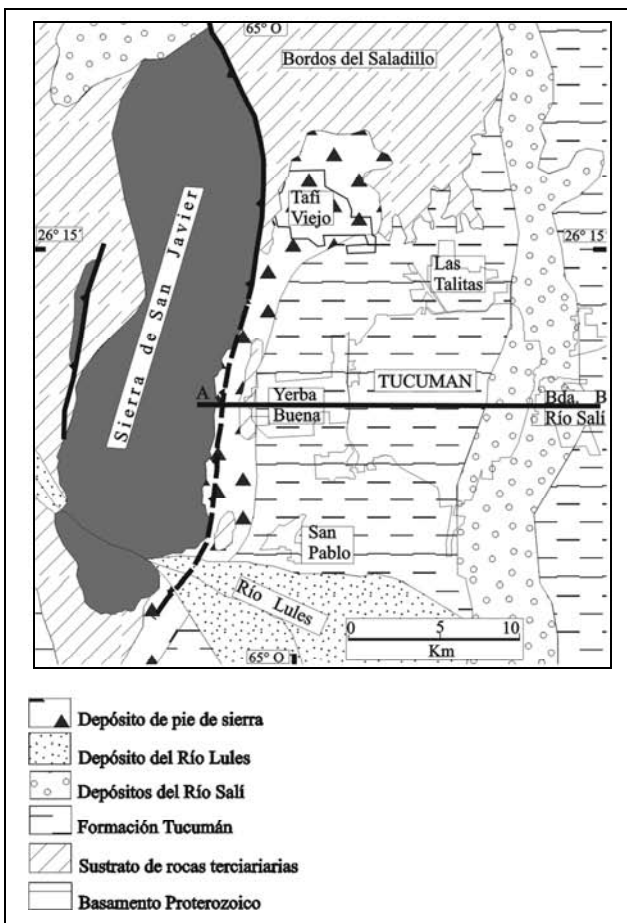
La llanura sobre la cual se ubica el área urbana de Tucumán tiene una leve pendiente hacia el sudeste a partir del frente montañoso, está ubicada a una altitud próxima a los 450 m. La ciudad se desarrolla sobre ambas márgenes del río Salí (Figura 1).

Entregado: 12 de Setiembre de 2001 ■ Aceptado: 27 de Setiembre de 2001

1. Facultad Ciencias Naturales - Universidad de Tucumán
Miguel Lillo 205 - 4000 Tucumán - Argentina
e-mail: monr@satlink.com

2. Departamento de Geología - Universidad de Catamarca
Maximio Victoria 55 - 4700 Catamarca - Argentina
e-mail: eremchuk@tecno.unca.edu.ar

FIGURA 1



La principal concentración urbana se encuentra entre el frente andino, representado por la sierra de San Javier, y la margen occidental del río Salí. La sierra de San Javier alcanza 1800 m de altitud, su empinada ladera oriental está marcada por un escalón en el relieve de 800 m de altura. Ésta está cubierta por densa vegetación subtropical. En las lomas que componen su pedemonte ya ha comenzado la expansión urbana. La llanura que se extiende desde el pie de la sierra de San Javier hasta la margen occidental del río Salí no tiene ondulaciones significativas. La planicie de inundación del río Salí tiene 1-2 km de ancho en el tramo situado frente a la ciudad de Tucumán, hacia el sur de la confluencia con el río Lules ésta se hace mucho más ancha. Se encuentra entre 6 y 10 m por debajo del nivel medio del terreno. El área urbana de Tucumán recibe precipitaciones del orden de los 1.000-1.200 mm, concentradas en el verano, entre los meses de Diciembre y Marzo.

3. SITUACIÓN GEOLÓGICA

Geología del sustrato rocoso

La mayor parte de la sierra de San Javier está formada por esquistos proterozoicos de bajo grado. Sobre ellos se apoyan capas rojas miocenas (Figura 1). La sierra coincide con un anticlinal mayor, con un núcleo de basamento proterozoico, su flanco oriental, muy empinado, se encuentra fracturado por una falla inversa que inclina hacia el oeste. Los sedimentos terciarios están expuestos en el pie de sierra (Mon, 1998). Hacia el este están cubiertos por depósitos cuaternarios. (Figura 2).

El sustrato rocoso en el subsuelo de Tucumán está compuesto por dos unidades miocenas: la Formación Río Salí y la

Formación India Muerta que se superpone a la anterior. Las capas terciarias se apoyan sobre un basamento proterozoico que representa la continuación de los afloramientos de la sierra de San Javier. La Formación Río Salí está formada por limolitas rojas con intercalaciones de capas de yeso y de calizas oolíticas. La Formación India Muerta es una sucesión de areniscas rojas y conglomerados pobremente consolidados. El espesor total de la sucesión terciaria es del orden de 2 km.

Por debajo de la ciudad de Tucumán, se desconoce la profundidad del sustrato rocoso. Éste no fue alcanzado por sondeos geotécnicos del orden de 30-40 m de profundidad, ni tampoco está involucrado en las fundaciones de las construcciones de la ciudad.

Depósitos superficiales

Los depósitos cuaternarios superficiales que cubren el sustrato rocoso están formados por capas rojas de limos loésicos y de areniscas finas. Éstos están parcialmente cubiertos e interestratificados con sedimentos granulares gruesos que pertenecen a la planicie de inundación del río Salí y a depósitos de pie de sierra, en las proximidades de la sierra de San Javier.

Los limos arcillosos rojos cubren gran parte de la superficie del área urbana de Tucumán y soportan la mayor parte de las construcciones (Figura 2). Estos fueron designados como Formación Tucumán (Bonaparte y Bobovnikov, 1974). El espesor de estos sedimentos varía entre 20 y 30 m por debajo de Tucumán. Tienen una sucesión basal de areniscas gruesas y conglomerados que alcanza los 5 - 6 m de espesor. La Formación Tucumán yace sobre una potente secuencia de limos loésicos con concreciones carbonáticas. El espesor de este cuerpo de sedimentos limosos es desconocido. Los sondeos geotécnicos de hasta 40 m de profundidad no alcanzaron su base. Los depósitos fluviales cuaternarios de gravas y arenas que acompañan el cauce del río Salí forman una angosta franja que cubre el borde este del centro de Tucumán y gran parte del subsuelo del municipio de la Banda del Río Salí. Hacia el sur del centro de Tucumán esta franja se ensancha formando una amplia llanura fluvial, por donde ha divagado el río Salí en tiempos geológicos recientes. El espesor de estos depósitos es próximo a los 25 m y yacen sobre los limos rojos descritos más arriba.

4. RIESGOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS EN TUCUMÁN

El agua que corre por la empinada ladera oriental de la sierra de San Javier, durante las tormentas de verano, representa un alto riesgo para la ciudad, especialmente para su sector más occidental. Además las elevadas pendientes y la presencia de materiales propensos al deslizamiento hace que durante las tormentas se desencadenen movimientos de ladera gravitacionales, responsables de la destrucción parcial de los caminos que ascienden a esta montaña.

Parte de la planicie de inundación del río Salí está ocupada por urbanizaciones precarias que durante las crecientes del verano sufren considerables daños, con el consiguiente riesgo para sus habitantes. Los edificios de altura del centro de Tucumán están fundados sobre las capas de limos y arenas finas, en ciertos casos se han producido asentamientos inaceptables para las estructuras, lo que ha ocasionado serios inconvenientes a sus habitantes. Es probable que, si no se toman ciertas precauciones, la futura expansión urbana aumente las cargas dando lugar a asentamientos generalizados excesivos.

FIGURA 2

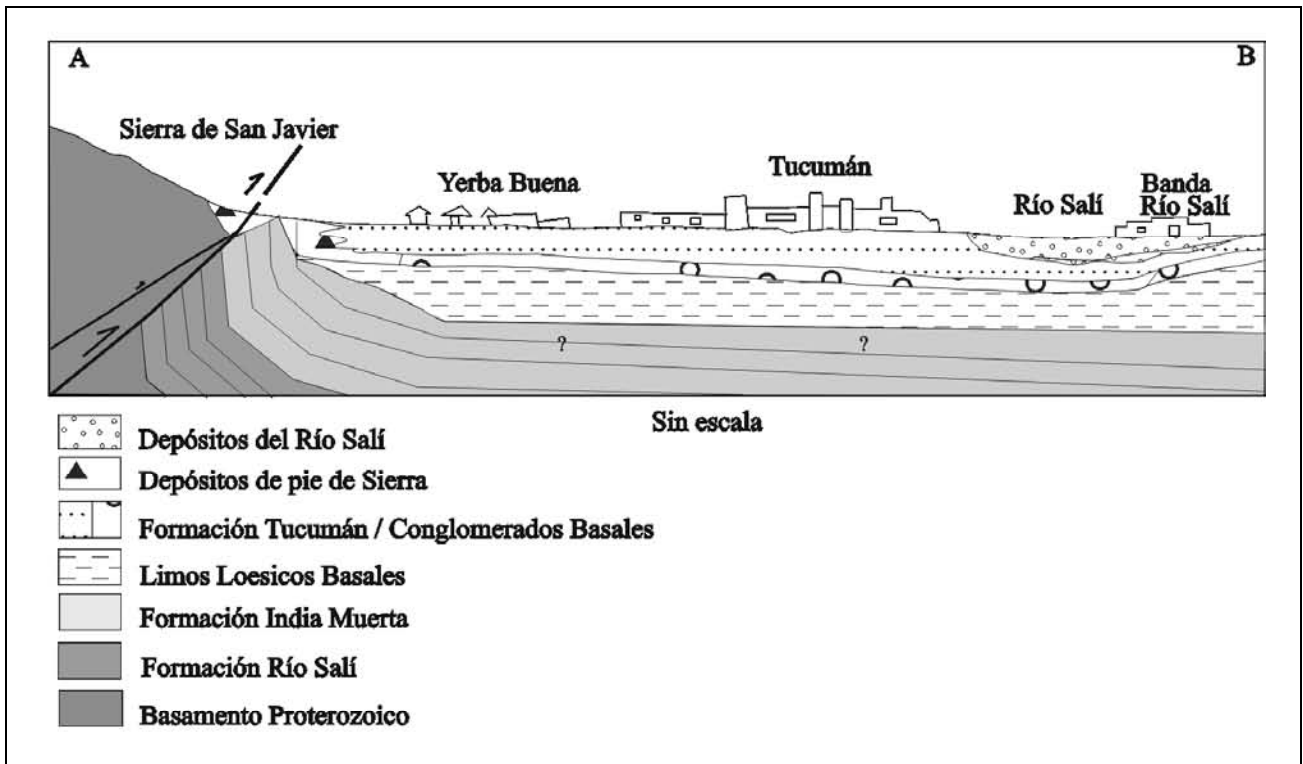
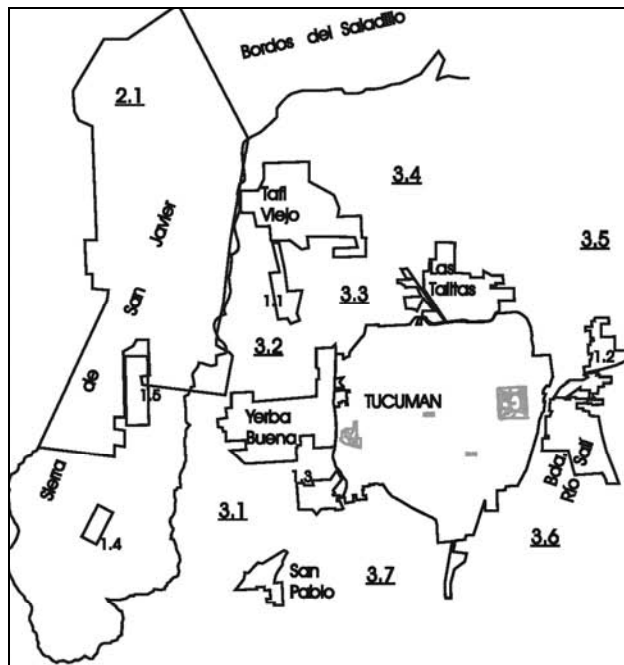


FIGURA 3

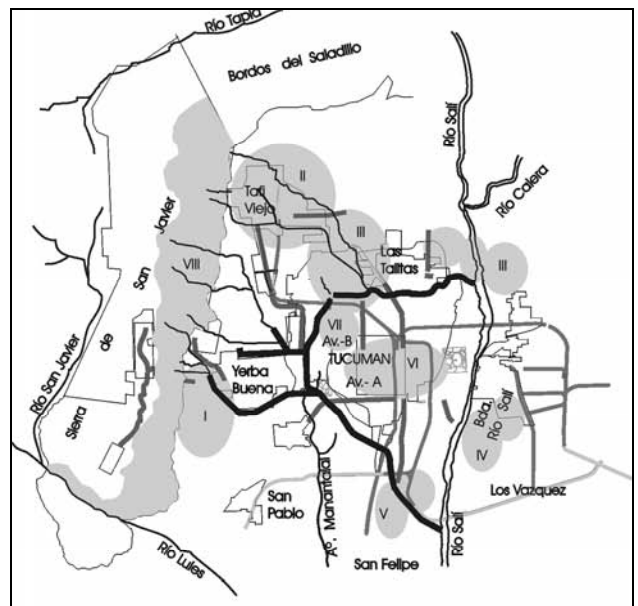


SISTEMAS URBANOS
 Tucumán - Las Tallitas
 Bda. Río Salí - San Pablo
 Yerba Buena
 1.1 Cevill Redondo
 1.2 Alderetes
 1.3 Manantial
 1.4 Villa Nougues
 1.5 San Javier

SISTEMAS NATURALES
 Sierra de San Javier
 2.1.- Reserva Biológica Universitaria
 Bordos del Saladillo

SISTEMAS AGRICOLAS
 3.1 La Rinconada
 3.2 Cevill Redondo
 3.3 Los Pocitos
 3.4 Los Nogales
 3.5 Las Tallitas - Alderetes
 3.6 Los Vazquez
 3.7 San Felipe

FIGURA 4

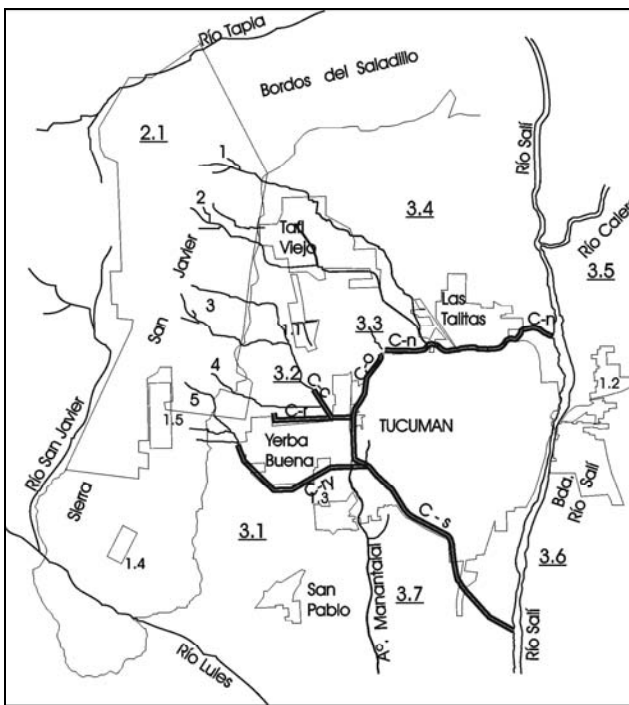


AREAS PROBLEMATICAS

I Piedemonte
 II Tafí Viejo
 III Las Tallitas - Alderetes
 IV Los Vazquez
 V San Felipe

VI Centro de Tucumán
 VII Villa del Parque
 VIII Ladera Oriental Sa.S.Javier y Valle Río Lules
 IX Canales de desagüe y Protección (Ver Fig.5)

FIGURA 5



Drenaje Natural

- 1. Cuenca A° Nueva Esperanza
- 2. Cuenca A° Taficillo
- 3. Cuenca A° Calizo - Piedras
- 4. Cuenca A° Anta Yacu
- 5. Río Muerto

Drenaje Artificial

- C-n.- Canal Norte
- C-o.- Canal Oeste
- C-c.- Canal Calizo-Piedras
- C-r.- Canal Horco Molle
- C-ry.- Canal Yerba Buena
- C-s.- Canal Sur

A continuación se describen los problemas geotécnicos y los riesgos geológicos para diferentes zonas del Gran Tucumán (Ver figuras 3, 4 y 5). Los números romanos indican su ubicación en el mapa de la Figura 4.

Piedemonte de la sierra de San Javier (I)

Esta zona correspondía, y aún en parte lo hace, a tierras agrícolas cubiertas por cultivos de caña de azúcar y de limón, pero su clima benigno y atractivo paisaje han atraído un rápido desarrollo urbano. Se encuentra sobre los municipios de Yerba Buena y Tafi Viejo (Figura 3). La expansión urbana incontrolada ha sido la causa de un drástico cambio ambiental. El aumento de la escorrentía y la erosión están dañando las áreas más bajas (Eremchuk y Martensen, 1998). La ausencia de desagües pluviales y de canales colectores está provocando cada vez mayores riesgos en las partes más bajas de Yerba Buena y en el sector oeste del área metropolitana de Tucumán. Un problema significativo en esta área es el generado por el río Muerto (Figura 5), durante las crecientes del verano su carga sólida de arenas y gravas que proviene de la cuenca alta del río, (área natural protegida Parque Sierra de San Javier y Parque Aconquija, Figura 3) produce un taponamiento en la embocadura del canal Yerba Buena y de sus tramos situados inmediatamente aguas abajo, en la zona pedemontana. El taponamiento del canal hace que las crecientes que vienen con posterioridad desborden provocando grandes daños en las zonas aledañas. En este lugar, por ser un área protegida, se prohíbe o se restringe la explotación de áridos, cuando en realidad esta última, hecha racionalmente, ejercería un efecto beneficioso, extrayendo los materiales que taponan

el Canal. Yerba Buena (Eremchuk et al. 1994), construido específicamente para evacuar ordenadamente el agua de las crecientes del río Muerto. En la última temporada de lluvias (febrero - marzo del 2001) el desborde del colector Yerba Buena (Figura 4) arrasó viviendas y significativas superficies de tierras cultivadas. Incluso se corre el riesgo que ante una precipitación muy intensa el material sólido pueda fluir como una "corriente de barro" lo que podría tener consecuencias catastróficas para los habitantes del área.

Asimismo otros cauces incontrolados situados al sur del río Muerto descendieron sobre los cultivos e instalaciones rurales dañando grandes superficies de cultivos de limón. De acuerdo a esta situación la expansión urbana no puede continuar sin un adecuado planeamiento y desarrollo de obras de protección. Hasta que éstas últimas se proyecten y se construyan es necesario que las municipalidades impongan, en base a estudios adecuados, ciertas restricciones en los loteos y en los permisos de construcción.

Área de Tafi Viejo (II)

La ciudad de Tafi Viejo está situada directamente en el piedemonte de la sierra de San Javier, en un área con fuerte pendiente y rápido flujo superficial, durante las tormentas de verano. Las calles orientadas en dirección este-oeste son algunas veces profundamente erodadas y cubiertas por depósitos aluviales. El carcavamiento profundo en los limos inconsolidados del Cuaternario, Formación Tucumán, que se encuentran en la superficie, representa una grave amenaza para las construcciones fundadas sobre ellos. Algunas viviendas ya fueron destruidas y otras tuvieron que ser abandonadas. Los problemas de carcavamiento son especialmente intensos a lo largo del arroyo Nueva Esperanza (Figuras 4 y 5).

La explotación de canteras de materiales para la fabricación de ladrillos y otros materiales cerámicos, es la causa de una significativa degradación ambiental en el sector este de Tafi Viejo. En estos materiales de baja permeabilidad se generan pequeñas lagunas y charcos que están dañando el ambiente de los barrios residenciales contiguos.

Área de Las Talitas-Alderetes (III)

Esta área que se extiende sobre ambas márgenes del río Salí, esta afectada por la explotación incontrolada de arcillas y limos de la Formación Tucumán para la fabricación de ladrillos. La expansión de barrios de viviendas sobre esta superficie degradada, no recuperada adecuadamente produce inundaciones y condiciones inadecuadas para la urbanización (Figuras 4 y 5)

Área de Los Vazquez (IV)

En los últimos diez años esta área, originalmente agrícola, situada hacia el sur de la Banda del Río Salí, fue transformada en una zona de servicios. Allí se establecieron plantas de agua potable y repositorios de residuos sólidos. A causa de esta situación, suelos de baja permeabilidad y de napa freática alta, esta zona es inadecuada para la urbanización (Figura 4).

Área de San Felipe (V)

Situada sobre el borde sur de la municipalidad de Tucumán (Figura 4), es un área baja con napas freáticas altas. En el subsuelo se encuentran sedimentos granulares gruesos que pertenecen a la antigua llanura de inundación del río Salí. A pesar de estas condiciones desfavorables, la urbanización se ha expandido allí considerablemente.

Área del centro de Tucumán (VI)

El subsuelo de esta área está formado por limos inconsolidados y arenas finas de la Formación Tucumán (Figuras 2, 3 y 4). La capacidad portante de estos materiales fue frecuentemente sobrestimada (Valoy 2000) lo que llevó a asentamientos diferenciales inaceptables y daños en las estructuras de algunos edificios de altura fundados sobre ellos. La expansión de la construcción de altura, imponiendo altas presiones sobre las capas subyacentes, puede llevar a asentamientos generalizados en las áreas donde las presiones se están haciendo demasiado altas. En muchos casos será necesario llevar las fundaciones hacia capas más competentes que se encuentran en profundidad. En estos casos habrá que contemplar la transmisión de las cargas a capas más resistentes mediante pilotes, después de cuidadosas investigaciones geotécnicas.

Villa del Parque (VII)

La zona del municipio de Tucumán que coincide con el arroyo Bajo Hondo (Figura 4), cubierto parcialmente por la urbanización, tiene la napa freática muy alta e incluso aflorando en ciertos lugares. Si bien el arroyo, que corre de norte a sur, casi no se manifiesta en superficie, su zona de influencia se extiende en una franja de 600 -700 m de ancho y a lo largo de 10 a 12 cuadras, en una zona densamente poblada de la ciudad, ocupada por residencias familiares. En esta zona sólo una parte de las viviendas tiene cloacas, dentro de un sistema que funciona deficientemente. Aparentemente las cloacas son usadas también como drenajes y se estarían inyectando en el sector líquidos cloacales de áreas próximas. El resultado de estas deficiencias y condiciones naturales desfavorables, es que frecuentemente las calles se encuentran inundadas por aguas contaminadas y con afloramientos de líquidos cloacales, lo que representa un serio peligro para la población. Hasta que se implementen medidas de saneamiento y protección, habría que restringir drásticamente la posibilidad de que en este sector se sigan construyendo viviendas.

Ladera oriental de la sierra de San Javier y valle de Lules (VIII)

Los esquistos de bajo grado proterozoicos que forman la mayor parte de la sierra de San Javier están cubiertos por una delgada capa coluvial que es propensa a los deslizamientos durante las lluvias intensas. Los deslizamientos han causado serios daños en las rutas que suben a la montaña y en la que sigue el valle del río Lules (Figura 4). El material coluvial saturado puede producir ocasionalmente flujos sólidos ("corrientes de barro"). Uno de ellos destruyó completamente una usina situada en la boca de la quebrada de Lules en el verano de 1973, después de intensas lluvias. El desarrollo futuro de los proyectos hidráulicos para el aprovechamiento del río Lules debe contemplar este tipo de problemas.

Canales de desagüe y de protección del área metropolitana (IX)

En los últimos años estos canales frecuentemente son superados por los grandes caudales que provienen desde el oeste y se han convertido en una amenaza para los habitantes de las áreas ribereñas (Figura 5).

Canal Oeste

La cuenca baja del río Muerto es canalizada por el Canal Yerba Buena que se une al Canal Oeste, construido para proteger a la ciudad de Tucumán del agua que viene desde esa dirección.

Al Canal Oeste llega también el agua de un canal situado más al norte, Canal Cainzo-Las Piedras que también recoge el agua del área pedemontana. En los últimos diez años el Canal Oeste experimenta desbordes durante las grandes tormentas estivales que provocan crecientes en las cuencas altas de los ríos Cainzo y Piedras, con momentos de precipitaciones tan intensas como 30 mm en media hora (Martensen y Eremchuk, 1997). Los desbordes del Canal Oeste afectan gravemente al sector oeste del Municipio de Tucumán, han cobrado vidas humanas y han destruido viviendas. A lo largo de prolongados tramos de estos canales (Yerba Buena, Cainzo-Las Piedras y Oeste) el revestimiento de hormigón ha sido arrancado, con el agravante de que ocasionalmente las acumulaciones de sus losas taponan el canal y provocando desbordes locales, uno de ellos destruyó viviendas en la última temporada estival (2001).

El desborde de los canales se debe en parte a que en zona pedemontana se ha cambiado el uso del suelo, ha dejado de ser agrícola (cultivos de caña de azúcar) y ha pasado a ser urbano, lo que implica que ha aumentado la velocidad del escurrimiento superficial, favoreciendo la concentración de grandes caudales en lapsos cortos. Además el diámetro hidráulico de los canales se ha reducido y se han modificado las características de su superficie disminuyendo la velocidad del flujo. Esta situación permite concluir que hechos que ocurren en otros municipios, como Yerba Buena, repercuten intensamente en el área metropolitana.

Canal Sur

Este representa la continuación del Canal Oeste, a partir de la confluencia con el Canal Yerba Buena. Este también experimenta desbordes, en ciertos sectores donde se estrecha al pasar por debajo de puentes o donde se taponan con las losas arrancadas de su revestimiento. Este canal colecta los desagües pluviales de los barrios del sur de la ciudad de Tucumán. Durante las grandes lluvias su nivel aumenta de manera tal que impide la salida de los desagües lo que produce un rápido anegamiento en considerables áreas del sector sur de la ciudad.

5. CONCLUSIONES

Como la mayor parte de las grandes ciudades, Tucumán tiene una gran proyección de crecimiento para los próximos años. En el Gran Tucumán existe la necesidad de expandir la infraestructura urbana de acuerdo a su desarrollo. Las decisiones acerca de la implementación de los desagües pluviales y del sistema de cloacas necesitan de un sólido conocimiento geológico geotécnico. Las áreas propensas a inundaciones y al ascenso de la napa freática deben ser consideradas en el planeamiento urbano y en los proyectos de obras civiles. Por otra parte el depósito de la basura se está convirtiendo en una situación crítica que necesita pronta consideración. El desarrollo incontrolado de canteras de áridos y de arcillas para la fabricación de ladrillos es también una causa de grave degradación ambiental. Esta actividad necesita límites y reglamentaciones que contemplen los aspectos ambientales. La expansión del Gran Tucumán sobre áreas desfavorables está creando condiciones que se vuelven en contra de la propia población. Ésta no puede continuar sin considerar y tomar medidas con respecto a los problemas señalados más arriba, éstas tienen que ser implementadas de acuerdo a estudios y proyectos que involucren a la totalidad del área urbana, por todas las municipalidades que la componen. Dada la extensión y la magnitud de los problemas, las acciones que pueda emprender aisladamente un municipio pueden no ser suficientes e incluso pueden resultar desfavorables para otros vecinos.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BONAPARTE, J.F. Y BOBOVNIKOV, J. 1974.
Algunos fósiles pleistocénicos de la provincia de Tucumán y su significado estratigráfico.
Acta Geológica Lilloana, 12: 171-183.
- EREMCHUK, J.E. Y MARTENSEN, J. 1998.
Directrices geoambientales del Municipio de Yerba Buena - Tucumán.
Actas del X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, Buenos Aires, 1: 412-418.
- EREMCHUK J.E., MARTENSEN J., CORRAL J. Y ZUCCARDI R. 1994.
Propuesta de Ordenamiento de la Cuenca del Río Muerto y su área de influencia. Area Protegida, Parque Biológico Sierra de San Javier, Municipio de Yerba Buena, Tucumán.
Actas del 3er Simposio Argentino de Teledetección: 361:369
- MARTENSEN J. Y EREMCHUK J.E. 1997.
Metodologías paramétricas y su relación con mediciones en parcelas aplicables a la estimación de la erosión en cuencas hidrográficas.
VII Cong. Geol. Chileno Actas-Vol I - Sesión Temática 4 pp:755:759.
- MON, R. 1998.
Características geológicas y geotécnicas del área urbana de Tucumán y poblaciones vecinas.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 12: 101-112.
- VALOY, J.C. 2000.
Problemas de asentamientos en las construcciones de la ciudad de Tucumán.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 14: 149-160.



Utilización de fotografías aéreas y SIG para el mapeo geomorfológico detallado

Ojeda, Guillermo E.

Resumen

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos de aplicar técnicas digitales mediante un SIG, para la realización de mapeos temáticos detallados, a partir de fotografías aéreas convencionales. La técnica fue utilizada en la cuenca del A° del Durazno, Pcia. de San Luis, con el fin de generar un mapa geomorfológico de detalle. Se describen las características generales de la técnica, sus principales ventajas y desventajas, y se presentan los resultados y conclusiones alcanzadas.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de la disponibilidad actual en el mercado de imágenes satelitales con alta resolución espacial (< 5 metros), las fotografías aéreas (FA) convencionales constituyen aún una muy buena opción a la hora de producir cartografía temática de detalle (1:2.500-1:25.000). En particular, interesantes alternativas se presentan con el uso de nuevas tecnologías que permiten transformar las FA a un formato digital y su manipulación dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El problema tradicional asociado al uso de las FA convencionales es que estas no son geoméricamente correctas, y consecuentemente tampoco lo son los segmentos que se obtienen a partir de su fotointerpretación (Rossiter 1999). Esto dificulta la transferencia a un mapa, de una manera geoméricamente correcta y precisa, de los rasgos trazados sobre las fotografías aéreas (Lopez-Blanco et al. 1995). En las disciplinas geológicas, la solución más frecuente ha sido la transferencia "visual" de los rasgos fotointerpretados a mapas bases planiméricamente correctos. En la actualidad, los SIG presentan nuevas soluciones en base a procesos fotogramétricos digitales, que tienen como ventaja principal la posibilidad de ser aplicadas por usuarios no especializados en un ambiente de computadora personal.

El SIG ILWIS 3.0 (ITC-ILWIS 2001) permite obtener en formato digital, segmentos geoméricamente correctos, a partir

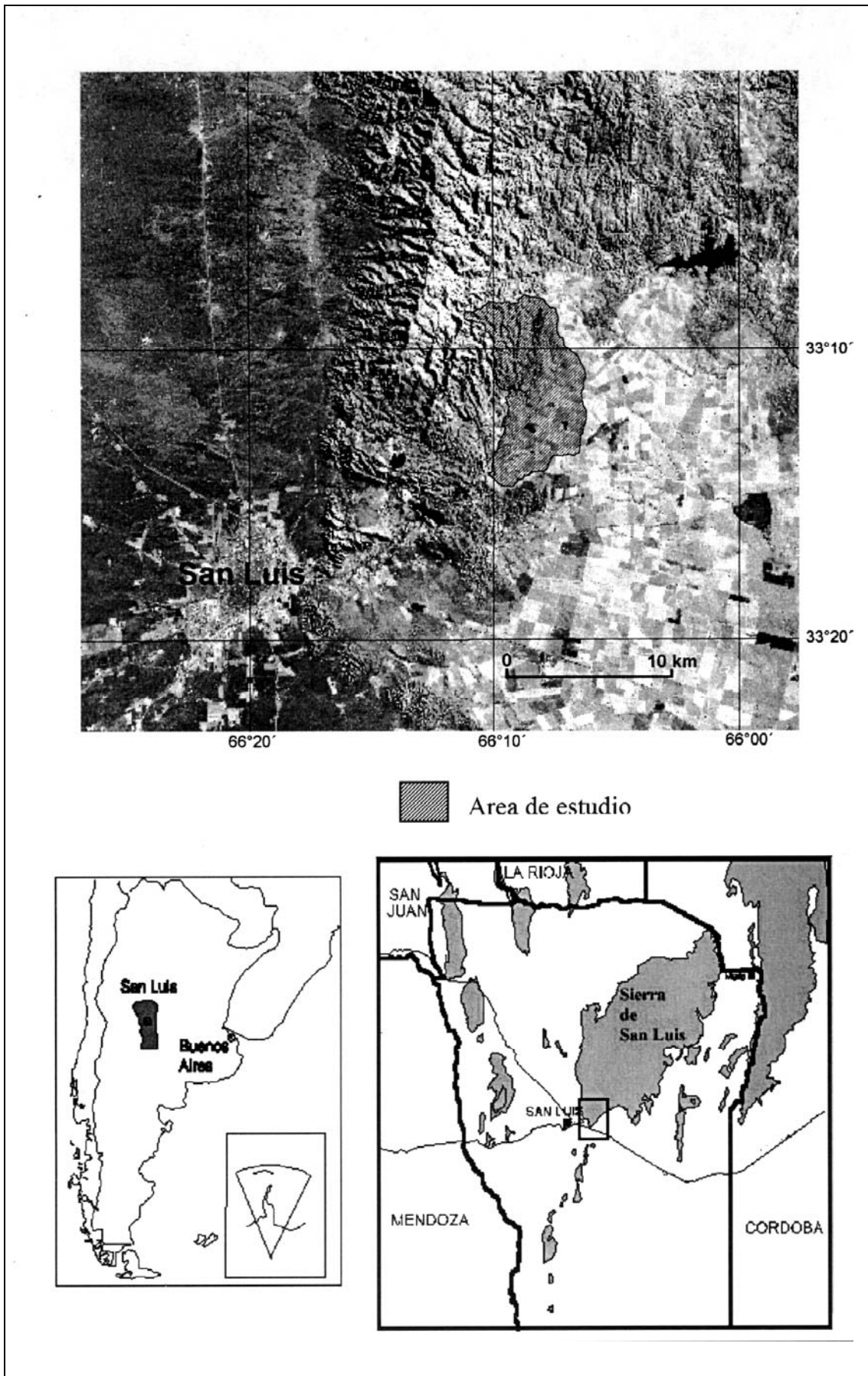
de una FA. Esta técnica, denominada en inglés digital mono-plotting, presenta dos variantes: la primera consiste en digitalizar los rasgos fotointerpretados mediante una tableta digitalizadora, mientras que, una segunda opción es la digitalización directa en pantalla utilizando una FA escaneada de fondo. Ambos métodos, utilizan puntos de control sobre el terreno y un modelo digital de elevaciones (MDE) para corregir las deformaciones presentes en las FA, que están relacionadas al movimiento de la plataforma aérea y las variaciones del relieve.

La segunda técnica, ha sido aplicada para delimitar unidades geomorfológicas en un sector del piedemonte sur-oriental de la sierra de San Luis, con el propósito de utilizarlas como unidades de análisis para la evaluación del riesgo erosivo. El presente trabajo tiene como objetivo la divulgación de las características generales de dicha técnica y mostrar los resultados obtenidos de su aplicación.

2. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sector bajo estudio se ubica en el sur de la Sierra de San Luis, a unos 25 km al NE de la ciudad de San Luis (Fig. 1). El área corresponde a la cuenca hídrica del arroyo del Durazno, pequeño curso fluvial que integra la cuenca del Bebedero. La cuenca del A° del Durazno cubre una superficie de 55 km², extendiéndose en sentido meridiano sobre el piedemonte oriental serrano. Sus cursos son de carácter temporario y presentan un fuerte condicionamiento litológico y estructural. La parte alta de la cuenca, esta dominada por rocas ígneas y metamórficas pertenecientes al basamento cristalino de la sierra de

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN



San Luis. Las alturas pueden aquí superar los 1600 m s.n.m., decreciendo hacia el sur hasta valores cercanos a los 1.000 m s.n.m., en cercanías de la unión con el A° Ea. Grande. La parte media y baja de la cuenca está dominada por la presencia de una cubierta cuaternaria loessoides, que cubren a las rocas del basamento cristalino o bien a sedimentitas areniscosas rojizas, asignadas por *Pastore y Ruiz Huidobro (1952)* al Terciario. La depositación mantiforme de los sedimentos loessicos han suavizado la topografía preexistente, dando lugar a un relieve ondulado denominado

por *Gonzalez Díaz (1981)* "Planicie Loessoides". Sobre esta planicie ondulada, la escorrentía superficial, retomando antiguos valles sepultados, ha excavado grandes cárcavas y barrancos que conforman los cursos principales de la red hídrica actual. Debido a la calidad de los suelos, el área presenta una intensa actividad agrícola y ganadera que, sumada a la alta susceptibilidad natural del terreno, favorecen el desarrollo de los procesos erosivos.

3. MATERIALES Y EQUIPAMIENTOS

TABLA 1: MATERIALES Y EQUIPAMIENTOS

Materiales	Escala	Fuente	Año
Fotografías aéreas pancromáticas N° de línea: 47-175, 47-177,47-179,48-20	1:20.000 (aprox.)	Dirección Provincial de Catastro, Provincia de San Luis.	1968
Restituciones planialtimétricas: IX-10-00 y IX-05-00	1:20.000 (aprox.)	Dirección Provincial de Catastro, Provincia de San Luis.	1968
Equipamiento	Características		
SIG ILWIS 3.0 Academic	Sistema raster-vector		
Escáner comercial	Resolución 600x1200 dpi .Tamaño máximo 8.5"x11.7" (A4).		
Tableta digitalizadora	Precisión 0.25 mm.		
Computadora personal	Procesador tipo Pentium II a 500 Mhz , 64 MB Ram.		

3. METODOLOGÍA

El procedimiento utilizado se encuentra sintetizado en el diagrama de la Fig.2. La primera actividad consistió en la transformación de las FA a un formato digital, utilizando un escáner a una resolución de 600 dpi. Las FA digitales fueron luego ingresadas en la base de datos del SIG y para cada una de ellas, se generó un tipo particular de georeferencia denominada en ILWIS "georeferencia ortofoto".

Cuando la FA es transformada a un imagen digital mediante un escáner, esta es almacenada como una matriz numérica formada por celdas o píxeles distribuidos en filas y columnas. En este formato, comúnmente denominado "raster", la posición de los píxeles no tienen relación con coordenadas reales del terreno. En el proceso denominado "georeferenciación" se establece la relación entre la posición de los píxeles en la imagen y su posición real en el terreno mediante la asignación de coordenadas geográfica o planas. La georeferencia ortofoto tiene la particularidad de que además de producir la orientación de la FA, de acuerdo a algún sistema de coordenadas, corrige las deformaciones debidas al relieve. Para poder aplicar este tipo de georeferencia se requiere de FA verticales con marcas fiduciales, que hayan sido obtenidas mediante una cámara fotogramétrica y, además, se requiere contar con un MDE para realizar las correcciones por altura.

Con el fin de generar el MDE, se digitalizaron las curvas de nivel presentes en las restituciones planialtimétricas con una equidistancia de 20 metros. Se utilizó luego la función de ILWIS denominada contour interpolation que rasteriza los segmentos e interpola los valores correspondientes a las curvas de nivel. El tamaño de píxel asignado para la construcción del MDE fue de 20 metros.

La georeferenciación se realizó a partir de puntos de control extraídos de las restituciones planialtimétricas, mientras que desde el MDE se obtuvieron, en forma automática, los valores de altura correspondientes a los puntos de control utilizados. Una explicación más detallada del procedimiento puede ser encontrada en la guía de usuarios de ILWIS (*ITC-ILWIS 2001b*).

Las FA digitales georeferenciadas fueron utilizadas como fondo en la pantalla de video, mientras con el mouse, se digitalizaron los segmentos correspondientes a las unidades de mapeo. Para cada una de las FA se obtuvo así un archivo de segmentos con coordenadas corregidas. Posteriormente, cada uno de los archivos de segmentos fueron unidos digitalmente para constituir un mosaico digital del área. La etapa siguiente fue la edición digital del mosaico para realizar correcciones y unir segmentos adyacentes, etiquetar los polígonos y, finalmente, construir la topología de polígonos. La tarea final consistió en la construcción del mapa mediante la asignación de la simbología y leyenda cartográfica correspondiente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Corrección de las deformaciones geométricas de las FA

Sobre una fotografía aérea, los puntos del terreno cuya elevación se encuentran por encima o por debajo de la elevación de referencia son desplazadas desde o hacia el punto nadir, respectivamente. De esta manera la cantidad de desplazamiento por relieve es cero en el nadir y máximo en las esquinas de la FA y también depende de las diferencias relativas de relieve a la altura de vuelo. A diferencia del desplazamiento producido por el movimiento de la plataforma, el desplazamiento por relieve no puede ser descrito en forma predecible (*ITC-ILWIS, 2001b*). La Fig. 3 muestra el resultado obtenido al aplicar el proceso de corrección fotogramétrica digital en la FA N°47-175.

FIGURA 2: DIAGRAMA METODOLÓGICO

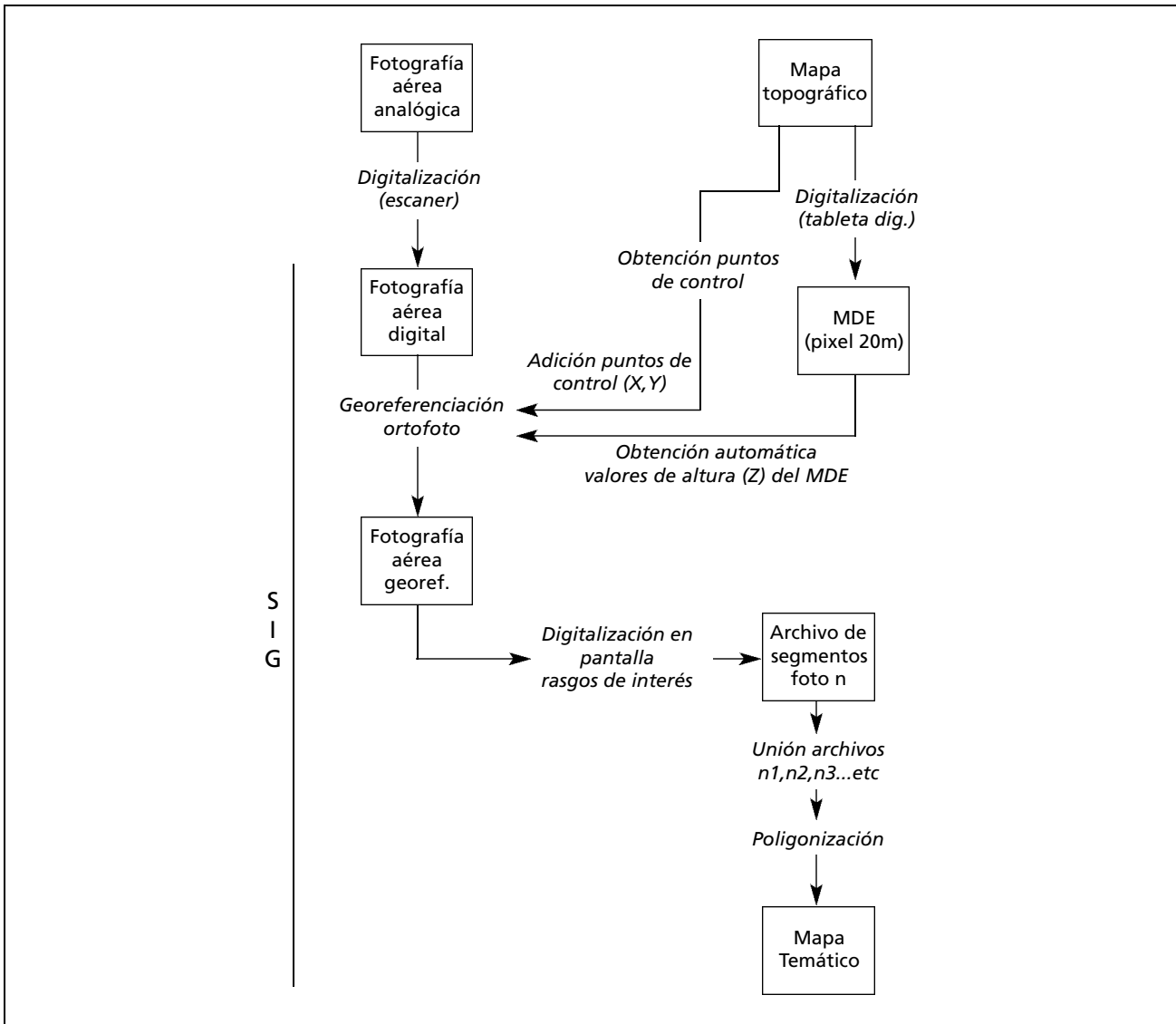
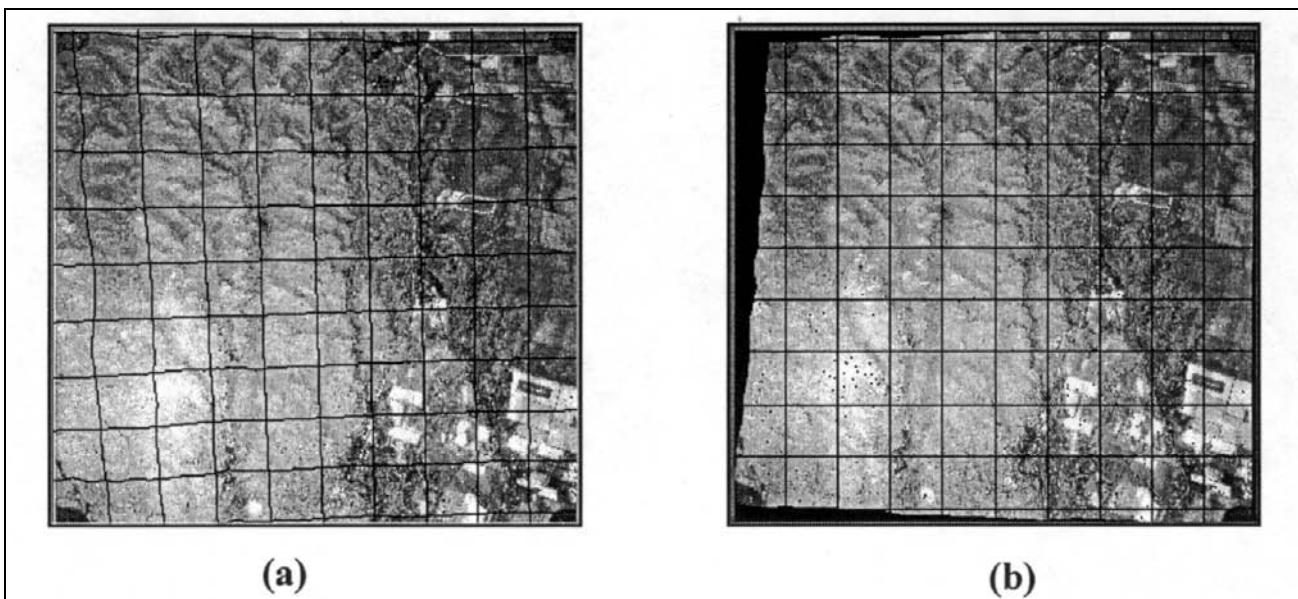


FIGURA 3: FOTOGRAFÍA AÉREA ESCANEADA N° 47-175 (a) sin corrección y (b) con corrección



Para resaltar el efecto se ha superpuesto una grilla de coordenadas métricas en ambas imágenes. Mientras en la imagen de la izquierda (sin corregir), la grilla muestra deformaciones debido a las variaciones del relieve, en la FA de la derecha (corregida) el grillado se presenta perfectamente ortogonal.

Por otro parte, debido a que una FA es una imagen "instantánea" de una porción de la superficie terrestre, si el terreno es absolutamente plano y los ejes ópticos de la cámara aérea son exactamente verticales, se obtiene una imagen cuadrada del terreno. Sin embargo, normalmente las FA convencionales presentan desviaciones en la vertical de hasta 2°, debido a lo cual la escala varía continuamente a través de la fotografía. La Fig. 4 muestra el resultado de la corrección de las deformaciones

producidas por los movimientos de rotación y cabeceo de la plataforma, aplicadas a la FA N° 48-20.

Para georeferenciar las FA digitales del área de estudio, se utilizaron entre 12 y 17 puntos de control obtenidos a partir de las restituciones planialtimétricas. La Tabla 2 muestra los puntos de control utilizados para la FA N° 47-175. En este caso se utilizaron 20 puntos de los cuales 3 de ellos (7,13 y18) fueron rechazados por contener un error demasiado elevado. Las columnas Drow y Dcol muestran la diferencia, en número de píxeles, entre los valores de fila y columna (row y col) calculados y los valores actuales. La columna "Active" indica aquellos puntos que fueron utilizados para la corrección (True) y los que fueron desechados (false) por contener errores demasiado elevados.

TABLA 2: PUNTOS DE CONTROL PARA LA FA 47-175

Punto de Control	X	Y	Z_dtm	Row	Col	Active	DRow	DCol
1	3486577	6330216	1132.0	4257	2792	True	-11.53	-11.51
2	3488490	6333245	1189.7	915	4826	True	-10.11	5.65
3	3487545	6332250	1148.3	2062	3802	True	4.59	10.24
4	3487580	6333960	1222.1	154	3804	True	8.76	-1.80
5	3485812	6332777	1293.0	1498	1862	True	0.30	-3.89
6	3484840	6333370	1396.2	798	681	True	-9.12	-9.18
7	3485727	6333550	1343.2	644	1730	False	47.24	0.62
8	3486365	6333460	1293.7	715	2476	True	9.67	8.85
9	3484825	6331875	1296.6	2563	784	True	18.32	-4.10
10	3485105	6331170	1249.3	3313	1152	True	-2.98	3.77
11	3484755	6329959	1250.0	4652	796	True	-8.43	-7.27
12	3488635	6330175	1117.9	4249	5025	True	-6.09	13.07
13	3487860	6331135	1116.1	3214	4162	False	-33.53	11.16
14	3488598	6332425	1180.9	1833	4955	True	5.64	-0.70
15	3488708	6331592	1162.5	2733	5086	True	-3.79	0.38
16	3487995	6333639	1206.7	502	4262	True	4.92	-7.84
17	3486818	6332317	1191.7	1992	3006	True	-8.61	0.04
18	3485560	6330034	1154.1	4503	1684	False	2.62	-32.39
19	3487880	6330025	1116.6	4431	4200	True	-1.91	-2.51
20	3488799	6330754	1130.3	3636	5183	True	1.51	-0.51

El error global del proceso de georeferenciación (Sigma) es obtenido en ILWIS mediante el cálculo del Error Cuadrático Medio mediante la siguiente fórmula:

$$\sqrt{\frac{\sum(DRow^2) + \sum(DCol^2)}{(n-df)*2}} \quad (1)$$

Donde:

Drow y Dcol: Son los valores de diferencia en las filas y columnas respectivamente.

n: Es el número de puntos activos

(n - df) * 2: Son los grados de libertad, que es el número mínimo de puntos de control requeridos para aplicar una cierta transformación. Para la georeferencia ortofoto, debido a que el sistema utiliza una transformación lineal de primer grado (transformación affine), el valor de df es igual a 3. En la práctica este número debe ser mucho mayor con el fin de lograr mayor exactitud.

Los valores de Sigma obtenidos oscilaron entre 8.2 y 14.6 píxeles (Ver Tabla 3). Estos valores coinciden en general con los estudios realizados por Bohnenstiehl (2001) quien señala que: con FA escaneadas a 600 dpi y referenciadas mediante una transformación polinomial de 1ro. o 2do. orden se conseguirá una precisión de 3 a 4 píxeles en terrenos planos, mientras que en terrenos montañosos y empinados, la precisión rápidamente caerá al orden de la decena de píxeles.

FIGURA 4: FOTOGRAFÍA AÉREA ESCANEADA N° 48-20 (a) sin corrección y (b) con corrección

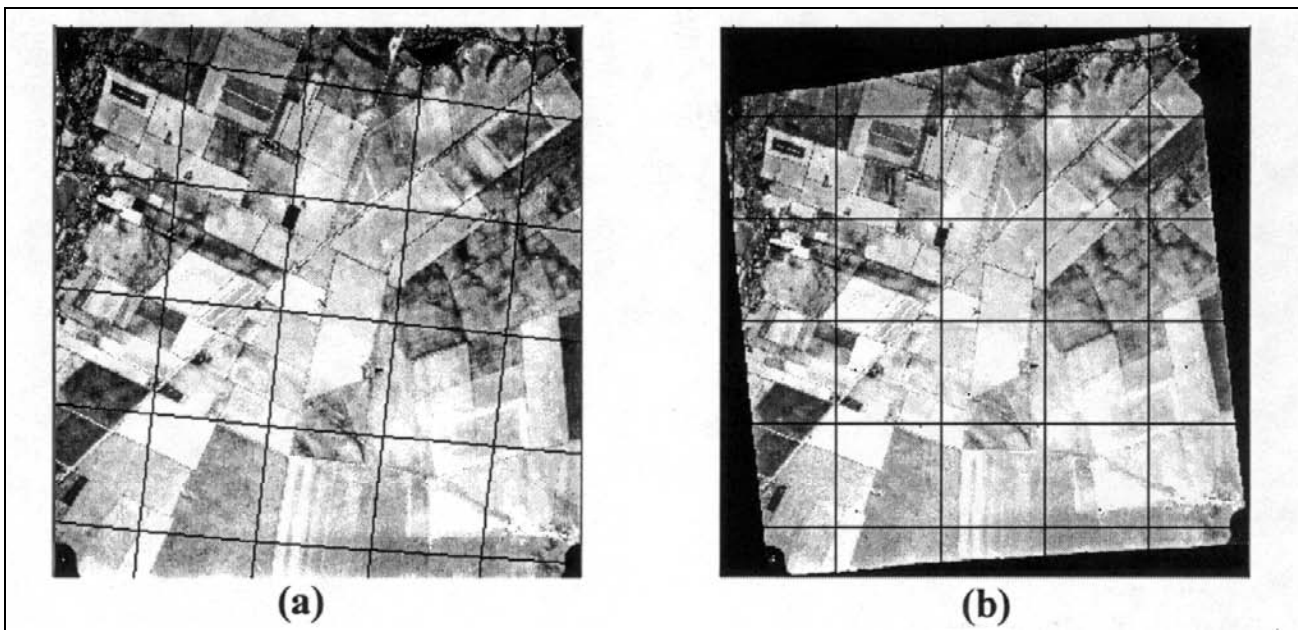


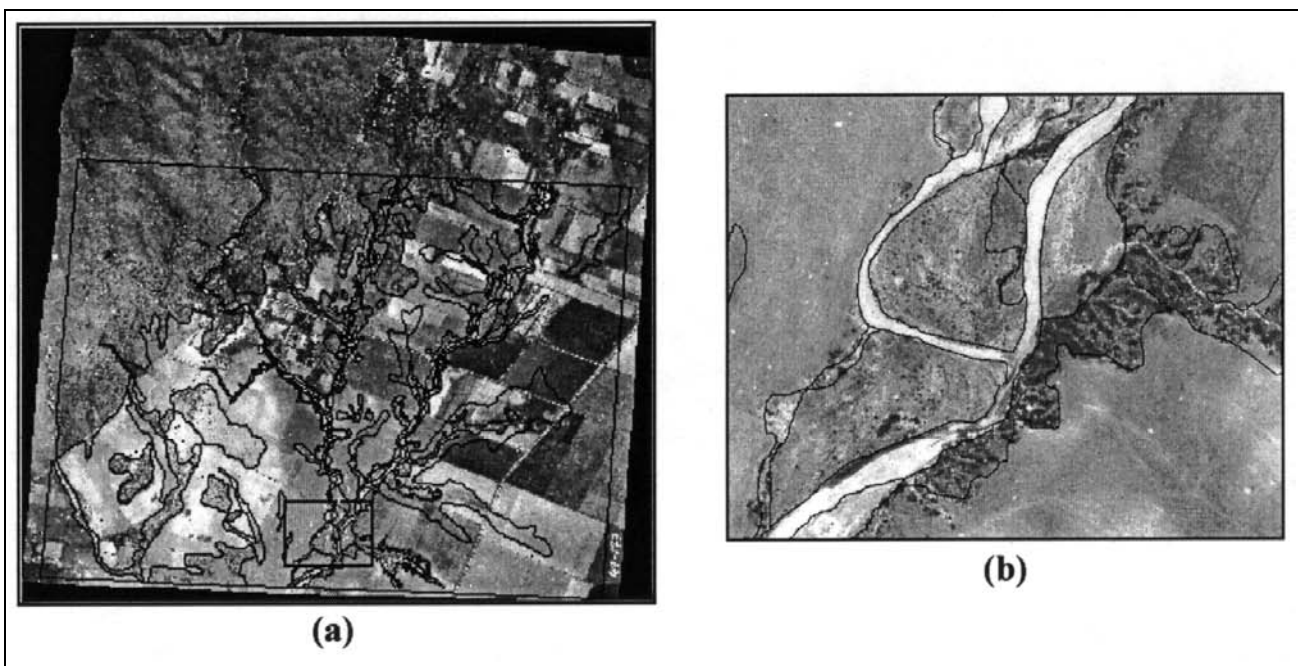
TABLA 3: VALORES DE ERROR (SIGMA)

N° FA	Sigma (píxeles)	N° puntos de control
47-175	8.2	17
47-177	14.6	17
47-179	9.3	12
48-20	12.5	17

La utilización de una resolución de escaneo de 600dpi, produjo imágenes cuyos píxeles presentan una resolución espacial menores al metro (0,9 a 0,965 metros), los que, en función de los valores de Sigma, puede ser traducido como un error de posicionamiento en el terreno de 7,6 a 13,5 metros. Si consideramos una escala de representación final de 1:20.000, esto valores implican errores en el mapa del orden de los 0,38 a 0,67 mm.

El error general en el proceso de georeferenciación está afectado principalmente por las características del relieve pero además, hay que considerar: a) Calidad de la fuente de puntos de control, b) Error en la ubicación del punto del control por parte del usuario sobre la FA y c) Calidad del MDE.

FIGURA 5: (a) Segmentos digitalizados superpuestos a la FA 47-177 (b) Detalle sector inferior



Fotointerpretación visual mediante digitalización en pantalla

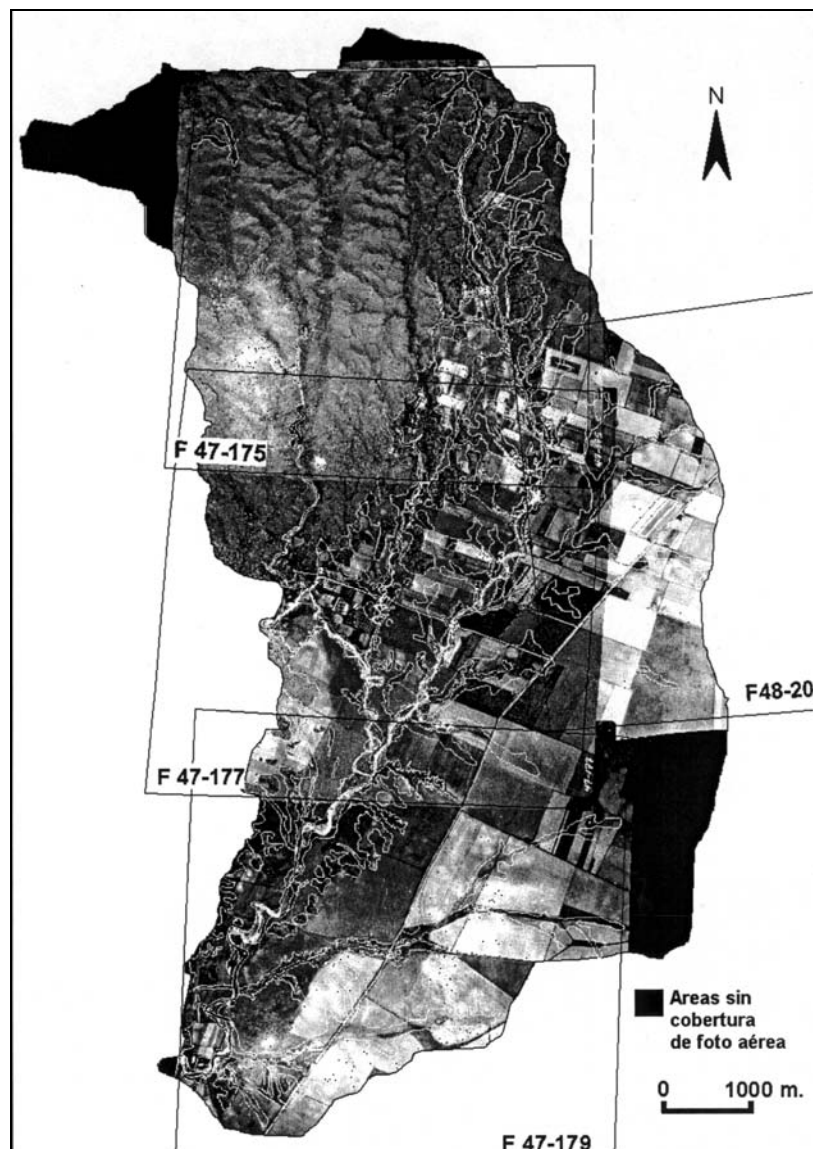
Una vez que las FA se encuentran en formato digital, estas pueden ser utilizadas como fondo en la pantalla de video, mientras con el mouse, se dibujan los rasgos de interés que serán almacenados como segmentos digitales. Esta técnica permite realizar mapeos con gran detalle debido a la posibilidad de ampliación digital (zoom) de la FA escaneadas y a las herramientas de edición con las que cuentan los SIG. La falta de visión tridimensional es una de las principales desventajas respecto al método tradicional con estereoscopio. Si bien existen sistemas con complejos algoritmos que permiten la visión tridimensional en pantalla, estos no siempre están incorporados en los SIG. Así, la fotointerpretación monoscópica dificulta en muchos casos la detección de los límites de las unidades que presentan texturas y/o tonos similares. En estas situaciones se requirió al auxilio de un estereoscopio y FA analógicas para decidir la posición del contacto.

La Fig. 5a muestra un ejemplo correspondiente a la FA N° 47-177 a partir de la cuál se han digitalizado en pantalla, los segmentos correspondientes a las unidades geomorfológicas.

La Fig. 5b muestra una ampliación del sector indicado en la Fig.5a. Los sectores con tonos gris claro a blancos corresponden a materiales arenosos presentes en las llanuras aluviales de los arroyos durante la época seca. La separación clara y precisa de estas unidades fué posible mediante el aumento o magnificación digital de la imagen cercano a 10x. Esto implica utilizar una escala de mapeo cercana a 1:1.000, es decir unas 10 veces más grande que la escala original de la FA a 1:20.000. Si consideramos que el canal fluvial de la izquierda de la Fig. 5b, mide en su parte más angosta, unos 13 metros aproximadamente, la posibilidad física de delimitar con precisión la unidad mediante un lápiz común es muy limitada. En el caso de utilizar una microfibras de 0,5 mm de grosor, a escala 1:20.000 esto implica líneas de 10 metros de ancho sobre el mapa, lo que prácticamente cubriría el ancho del canal.

La técnica de monoplottting que hace uso de una tableta digitalizadora en vez del monitor de la computadora para la digitalización, tiene la ventaja de que los contactos son fotointerpretados previamente mediante un estereoscopio, evitando así el problema de la falta de visión tridimensional. La desventaja aquí, sigue siendo la limitación para el mapeo de rasgos detallados debidos a la limitaciones de escala y al grosor del marcador.

FIGURA 6: MOSAICO AEROFOTOGRAFICO CON SEGMENTOS DIGITALIZADOS SUPERPUESTOS



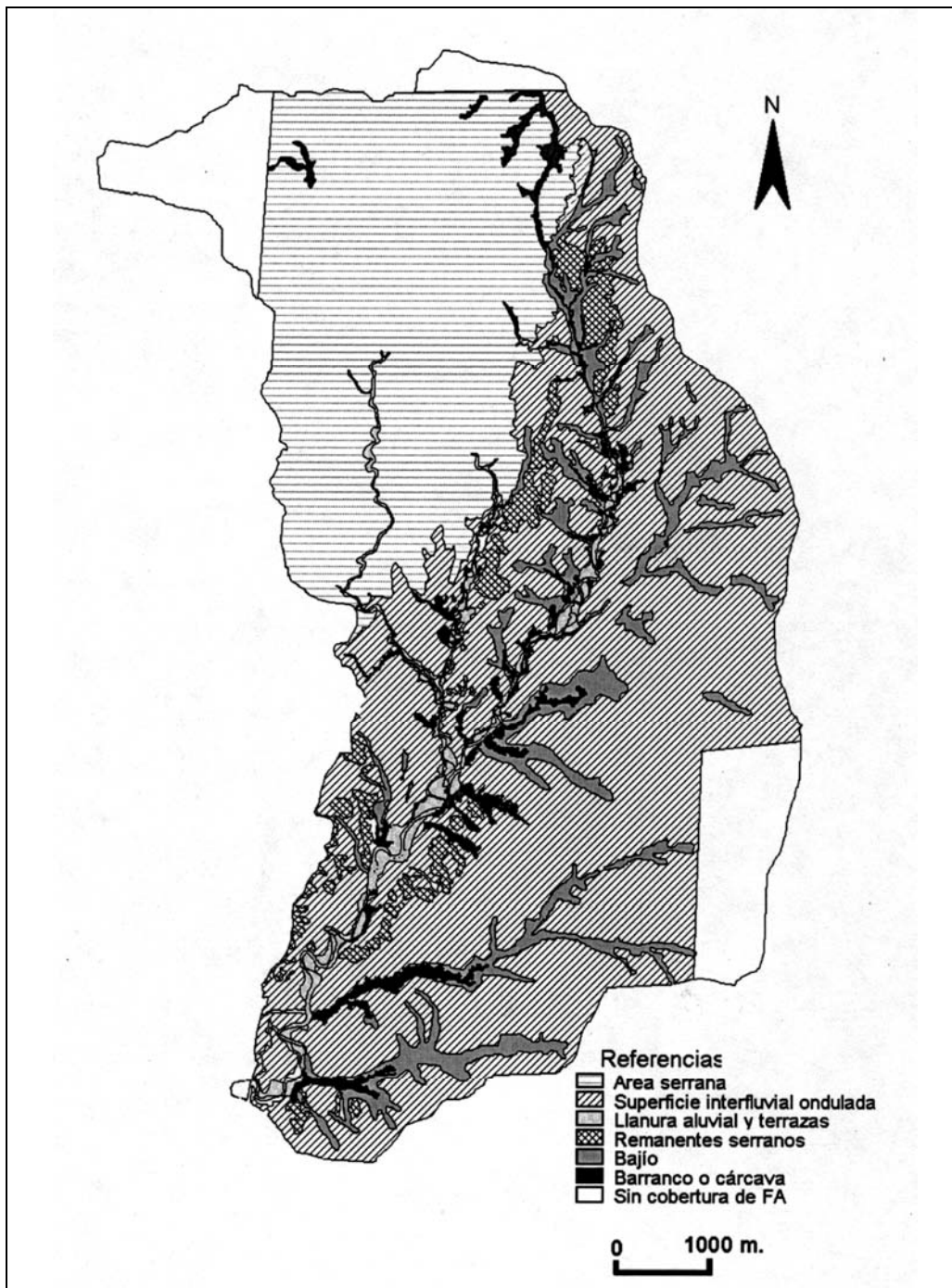
Unión de los archivos de segmentos digitalizados y construcción del mapa geomorfológico

Una vez digitalizados los contactos de las unidades geomorfológicas en las distintas FA, estos fueron unidos digitalmente en un único archivo mediante un procedimiento denominado GlueMap. Utilizando las herramientas de edición de segmentos del SIG se limpiaron, cortaron y unieron segmentos a efectos de la construcción de la topología de polígonos. Se procedió luego a la identificación de cada polígono con un código correspondiente a la unidad geomorfológica y luego el mapa fue poligonizado. Finalmente se asignaron colores y/o símbolos

para las distintas unidades mapeadas y se adicionaron los elementos cartográficos auxiliares como la leyenda, norte, escala, etc.

La Fig. 6 muestra un mosaico del área de la cuenca del A° del Durazno, construido con las FA corregidas geoméricamente. Sobre el mosaico se han superpuesto los segmentos correspondientes a las unidades geomorfológicas. Se puede observar claramente la unión entre las distintas FA ya que no se realizó ningún tipo de procesamiento digital para homogeneizar los tonos de grises. La Fig. 7 muestra el mapa geomorfológico preliminar obtenido para la cuenca del A° del Durazno.

FIGURA 7: MAPA GEOMORFOLÓGICO PRELIMINAR



5. CONCLUSIONES

1. La técnica de fotointerpretación visual en un SIG, utilizando una FA escaneada y georeferenciada como fondo en el monitor de la computadora, presenta interesantes ventajas con respecto a lo métodos tradicionales. Entre ellas se pueden destacar:
 - a) Los segmentos generados mediante la fotointerpretación en pantalla presentan correcciones geométricas que permiten la unión cartográfica con segmentos fotointerpretados provenientes de FA vecinas.
 - b) Si se utilizan altas resoluciones de escaneo (600 dpi o mayores), la capacidad de magnificación de la imagen permite mapeos con mucho detalle y exactitud. Con resoluciones de escaneo de 600 dpi las posibilidades de magnificación de la imagen pueden alcanzar valores de 8 a 10x.
2. La falta de visión tridimensional de la técnica constituye una gran desventaja respecto al método tradicional de fotointerpretación con estereoscopio. La falta de visión estereoscópica del terreno imposibilita en muchas ocasiones la delimitación de las unidades de mapeo. De la experiencia realizada surge que en particular, para terrenos ondulados o escarpados, se hace necesario un método mixto en donde la visión tridimensional mediante el estereoscopio auxilie al fotointerprete durante el proceso de digitalización en pantalla.
3. El grado del error de la georeferenciación aumenta considerablemente en las regiones donde existen mayores variaciones de altura relativa debido al relieve. Además, el error variará con la calidad de los puntos de control y la exactitud con que ellos sean asignados a la imagen.
4. El trabajo muestra que la metodología descrita permite a un usuario no especializado obtener mapas temáticos a escalas de detalle, con un costo bajo y una calidad adecuada, al menos para aplicaciones que no requieran un alto grado de exactitud o precisión cartográfica.

6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BOHNENSTIEHL K, 2001.
Create Accurate Orthophotos with Softcopy Photogrammetry.
GIS Vision On-Line Magazine. (www.giscafe.com/GISVision/Review/Softcopy_Photogrammetry.html). Abril 2001.
- ITC-ILWIS, 2001A. ILWIS 3.0 ACADEMIC.
The Integrated Land and Water information System (ILWIS). Versión 3.0.
International Institute For Aerospace Survey And Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands
- ITC-ILWIS, 2001B. ILWIS 3.0 ACADEMIC
User's guide. International Institute For Aerospace Survey And Earth Sciences (ITC).
530pp. Enschede, The Netherlands.
- GONZÁLEZ DÍAZ, E. F., 1981.
Geomorfología. En: M. Yrigoyen (Ed.). Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis.
Relatorio 8º Congreso Geológico Argentino: 193-236. San Luis. Argentina.
- LOPEZ-BLANCO, I VALDEZ-MUCIÑO Y J. UGALDE-RIVERA, 1995.
Corrección Fotogramétrica de Segmentos Digitizados de Fotografías Aéreas aplicando un SIG.
Revista de la Asociación de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remoto (SELPER). Boletín N° 30:7-24. México.
- PASTORE, F. Y RUIZ HUIDOBRO, O., 1952.
Descripción geológica de la Hoja 24 g, Saladillo (San Luis).
Dirección Nacional de Minería y Geología Boletín 78. , 61p., Buenos Aires.
- ROSSITER, D.G., 2000.
Methodology for Soil Resource Inventories (2nd Revised version).
Lecture Notes&Reference. Soil Science Division. International Institute For Aerospace Survey And Earth Sciences (ITC), 132pp. Enschede, The Netherlands.



Localización de sitios de disposición de residuos en el área metropolitana bonaerense: una aproximación geoambiental

Pereyra, Fernando X.

Resumen

En el Area Metropolitana Bonaerense (AMBA), desde fines de la década del '70 se ha adoptado una política centralizada de gestión de los residuos domiciliarios, consistente en la utilización de sitios de relleno sanitario. La misma, si bien constituyó un avance, respecto a la situación precedente ha adolecido de severas limitaciones. En la presente contribución, se analizan las características geológicas, geomorfológicas y edáficas de los sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios en el AMBA. En líneas generales se puede establecer que todos los lugares utilizados presentan escasa aptitud par ser utilizados, por lo que se han generado importantes impactos sobre el medio ambiente y la población, los cuales aún no han sido debidamente cuantificados. Finalmente, ante el sostenido aumento en la generación de residuos permite suponer que en pocos años la capacidad de recepción de los sitios actualmente utilizados será superada, por lo se volverá imprescindible encontrar nuevos lugares. A los efectos de no repetir errores, se plantean algunos criterios que deberían ser tenidos en cuenta en el futuro.

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos son los materiales residuales generados por el uso por parte de los humanos de los materiales terrestres, ya que virtualmente casi toda actividad genera residuos. La disposición de estos residuos, junto con la degradación de los suelos y el agotamiento de los recursos naturales, constituyen los principales problemas ambientales de origen antrópico y el mayor desafío que debe enfrentar la Humanidad en lo referente al medio físico. En las grandes ciudades de los países en desarrollo un manejo inadecuado de las tierras urbanas resulta en una generalizada degradación de los suelos, el agua y el paisaje; la ocupación de tierras vulnerables o poco aptas y la pérdida de espacios verdes y tierras agrícolas.

En la ciudad de Buenos Aires (CBA) y Area Metropolitana Bonaerense (AMBA) viven más de 13 millones de habitantes.

Esta región ha experimentado un sostenido crecimiento desde fines del siglo XIX. Ocupa una superficie de 6.000 Km², incluyendo al Gran La Plata y ciudades que conforman la tercera Corona, como Zárate y otras. Este conglomerado urbano posee una forma de semicircunferencia con un radio de aproximadamente 80 Km, recostado sobre el eje Paraná-Río de la Plata. La densidad poblacional aumentó de valores de 21 hab/ha en 1869 a más de 400 hab/ha para la CBA, con un valor medio de 29 hab/ha en el GBA (INDEC, en Di Pace et al, 1991).

El gran crecimiento experimentado por el AMBA careció casi totalmente de planes urbanos y de ordenamiento territorial, por lo que, consecuentemente, han surgido problemas ambientales serios, especialmente en las últimas décadas. Dentro de ellos, el manejo de los residuos generados, aparece, junto con el problema de las inundaciones y la contaminación de agua, como los principales (Di Pacce et. al, 1990; Pereyra y Rimoldi, 2000). Una política sistemática, firmemente sustentada en el conocimiento del medio físico se vuelve imprescindible.

Cada año la Humanidad genera más y más residuos de todo tipo, así por ejemplo, salvo Alemania y Japón, los principales países industrializados del Mundo han aumentado la

Entregado: 10 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 07 de Setiembre de 2001

Dpto. de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. C. Universitaria, Pab. II, 1428 Buenos Aires. Argentina.
e-mail: fxp@gl.fcen.uba.ar

generación de residuos sólidos en las últimas décadas. Este aumento, sumado al aumento de la población mundial, resulta en niveles dramáticos de producción de residuos, proceso que aparenta ser irreversible. En consecuencia, las metodologías de disposición, tratamiento y reciclaje de residuos han avanzado considerablemente en las últimas décadas del siglo XX. Los residuos sólidos comprenden toda una gama de materiales de muy diversos orígenes y fuentes. Teniendo en cuenta las mismas, puede realizarse una primera división: 1) residuos sólidos agrícolas, b) residuos sólidos mineros, c) residuos sólidos industriales y d) residuos sólidos urbanos o domiciliarios. En la presente contribución se aborda principalmente este último tipo de residuo, si bien es necesario destacar, que el Área Metropolitana Bonaerense (AMBA), debido a sus características socio-económicas y a las del medio físico en la cual se encuentra, los otros tres tipos de residuos también son importantes, tanto por su generación como por el impacto potencial y real sobre los habitantes de la aglomeración urbana.

El AMBA se encuentra localizado en la Llanura Pampeana, entre los 34° y 35°S y 57°45' y 59°15'O. En clima de la región es subhúmedo-húmedo, mesotermal de tipo Cfa (si se utiliza la clasificación modificada de Koeppen), sin estación seca. La temperatura media anual es del orden de los 15°C y las lluvias promedio aproximadamente de 1.100 mm, si bien en las últimas décadas (vinculado al fenómeno del Niño) se ha producido un aumento significativo en la cantidad anual de precipitaciones y en la intensidad de las mismas, aumentando considerablemente la frecuencia de las tormentas. Así por ejemplo, durante el año 2001, han tenido lugar precipitaciones superiores a los 100 mm en una hora.

2. GEOLOGÍA DE LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

La disposición y tratamiento de los residuos en zonas urbanas son problemas que han demandado, y continuaran haciéndolo, ingentes y sostenidos esfuerzos, ya sea por los volúmenes alarmantemente mayores de residuos generados como por la mayor comprensión de los efectos de los inadecuados manejos de los mismos sobre la población y el medio físico. Consecuentemente, han merecido la atención de científicos, ingenieros, políticos y la población en general y, si bien se ha avanzado mucho, el problema dista de encontrarse en vías de solución. La disposición de los mismos implica el uso de reservorios o sitios para su confinamiento. Finalmente, los residuos una vez dispuestos sufren transformaciones en el medio geológico en el cual fueron localizados y los contaminantes producidos viajan a través de este medio geológico. Por lo tanto, el conocimiento del medio geológico aparece como uno de los factores por conocer y comprender. Lamentablemente, este aspecto ha sido generalmente soslayado en nuestro país o, al menos, abordado en forma parcial y/o superficial.

La disposición de residuos en zonas urbanas incluye diferentes tipos de metodologías: 1) basureros abiertos, 2) incineración 3) rellenos sanitarios y 4) composting y reciclado. En el AMBA, los dos primeros tipos fueron utilizados hasta mediados de la década del '70 en forma casi exclusiva. Ambos fueron dejados de lado ante el evidente impacto que generaban y la multitud de afectaciones sobre la población. En consecuencia, se viró hacia el tercer tipo, por ser el que presentaba aparentemente menos riesgos a los habitantes de la región. Actualmente, esta metodología es oficialmente la única utilizada, salvo experiencias menores y de muy pequeña influencia,

de reciclado e incineración con nuevas y mejoradas técnicas. Los rellenos sanitarios deben ser diseñados para confinar los residuos e impedir que pueden ocasionar perjuicios a los asentamientos humanos localizados en las proximidades. Dos aspectos aparecen como centrales para lograr los objetivos señalados: una cuidadosa selección del sitio de localización de los mismos y un manejo e ingeniería posterior adecuada y permanente.

Dentro del primer aspecto es importante tener en cuenta la migración de los lixiviados. Cuando la lluvia se infiltra y percola a través de los residuos sólidos arrastra proporciones variables de compuesto solubles. El control del lixiviado representa el principal problema ambiental, ya que la misma puede escurrir superficialmente hacia vías de drenaje existentes en la zona o infiltrarse y fluir en forma subsuperficial hacia el nivel freático, acuíferos y cuerpos de agua y cursos fluviales. La naturaleza de los contaminantes que incorpora los lixiviados depende de las características de los residuos acumulados, pero en líneas generales, los más frecuentes son los metales pesados (incorporados no sólo en solución sino por arrastre mecánico), hidrocarburos y pesticidas. Estudios de lixiviados de rellenos sanitarios urbanos han mostrado concentraciones de arsénico, cobre, cadmio, plomo, manganeso, zinc, mercurio y otros hasta 100 veces más que los valores permitidos para agua consumible.

Existe consenso que probablemente la principal limitante en esta metodología de manejo de residuos es la selección del sitio de emplazamiento del relleno. Los parámetros a tener en cuenta son la profundidad de la freática y acuíferos, el tipo de suelos (ingenieril y edáficamente considerados), la granulometría de los materiales superficiales y sus características (para evaluar la permeabilidad y las direcciones de flujo), las características del relieve del sitio seleccionado y el clima. La geomorfología de la zona es particularmente importante, generalmente es el aspecto más descuidado, ya que la geofoma en la cual se localice el sitio determinará la circulación superficial del agua, la posibilidad de erosión del sitio y la relación con los cursos fluviales y cuerpos de agua existentes.

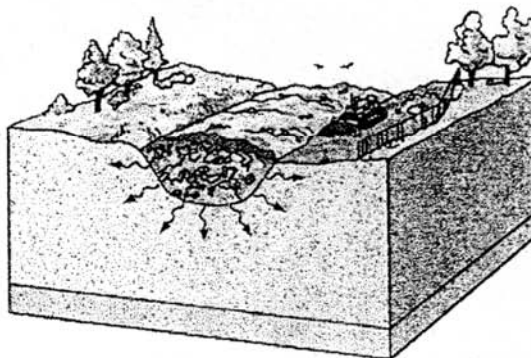
En la figura 1 (modificada a partir de Keller, 1992 y Murck, B., B. Skinner & S. Porter, 1996), se observan cuatro posibles situaciones de localización de sitios en orden de decreciente aptitud, desde el altamente favorable hasta los decididamente no aptos. La situación más adecuada se encuentra relacionada a sitios con un nivel freático profundo, escasas lluvias, lejanías de cuerpos de agua, relieve negativo y materiales poco permeables. Un clima seco inhibirá la producción de lixiviados y presentará un flujo subsuperficial lento. Lógicamente, el clima de la zona en la cual se encuentra la ciudad no es un aspecto que pueda ser manejado por lo que debe enfatizarse la consideración de los otros aspectos. La presencia de un nivel de arcillas por debajo del sitio del relleno es un aspecto favorable, ya sea por su menor permeabilidad y por la capacidad de retener cationes y metales en sus cargas libres. Sin embargo debe ser un nivel continuo y encontrarse por encima de la capa freática sino su presencia puede ser contraproducente. Finalmente, la ingeniería de los rellenos incluyen, la impermeabilización de los sitios excavados, el tratamiento de los lixiviados, la recuperación de gases generados, sistemas de drenaje y obtención de los lixiviados, clasificación previa de la basura y separación, establecimiento de los volúmenes de los rellenos (perímetro y altura) monitoreo permanente de cursos de agua de la región y acuíferos, etc.

FIGURA 1: BLOQUES DIAGRAMAS MOSTRANDO CUATRO POSIBLES SITUACIONES DE EMPLAZAMIENTO DE SITIOS DE RELLENO SANITARIO, EN ORDEN DECRECIENTE DE APTITUD

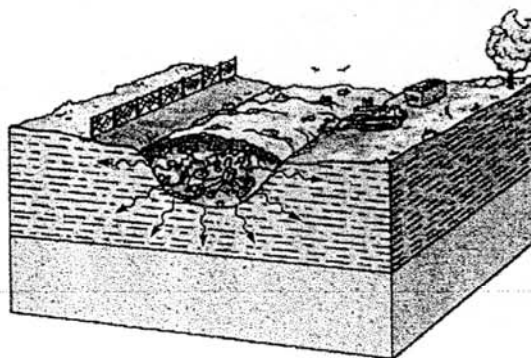
Referencias

Bloques diagramas mostrando sitios con condiciones adecuadas o inadecuadas para la instalación de rellenos sanitarios.

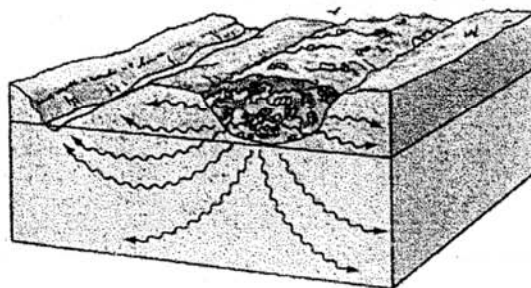
1 Sitio Favorable: nivel freático bajo y escasas precipitaciones.



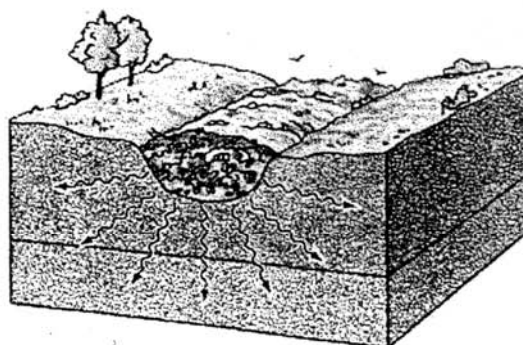
2 Sitio Favorable: presencia de un nivel impermeable de arcillas debajo del sitio de disposición.



3 Sitio NO- Favorable: nivel freático alto cercanía de cursos fluviales, clima húmedo (esta es la situación más frecuente en la zona del AMBA)



4 Sitio NO- Favorable: materiales subsuperficiales muy permeables (gruesos)



3. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS-DOMICILIARIOS EN EL AMBA

El AMBA además de ser la principal aglomeración urbana de Argentina y encontrarse entre las primeras diez del mundo, concentra la mayor parte de la actividad industrial y comercial de Argentina, incluyendo industrias de gran impacto, como metalúrgicas, químicas, destilerías de petróleo, etc. Por lo tanto, la región considerada, concentra también la mayor generación de residuos y constituye la zona de mayor población potencialmente expuesta del país. Estos materiales son recolectados por las diferentes municipalidades involucradas. Si bien, comparado con otro tipo de residuos, los residuos domiciliarios urbanos pueden ser menos contaminantes y de menor magnitud, su relación estrecha con centros poblados hace que su manejo sea particularmente peligroso, ya que cualquier problema (contaminación de acuíferos, aguas superficiales o suelos) tendrá un impacto directo e inmediato sobre la población.

En el AMBA, fue creado en 1978 por decreto del gobierno de la Provincia de Buenos Aires el CEAMSE. Luego se incorporó a la Municipalidad de Buenos Aires al ámbito de acción del mismo. Este organismo concentra toda la recolección de residuos domiciliarios de Buenos Aires y la mayor parte de la producida en el AMBA (32 municipios). Según datos del GCBA y el CEAMSE (CEAMSE, 1991 y 1999), en los 22 años transcurridos desde la creación de este último, los volúmenes de residuos ingresados y dispuestos en rellenos sanitarios crecieron desde 3 mil toneladas, hasta 5.700.000 de toneladas por año, de las cuales 1.9 millones pertenecen a la CBA y el resto al GBA. Se constata un crecimiento importante entre 1979-80 y entre 1991 y 1993, en el que pasa de aproximadamente 2.1 millones a 4.2 millones de toneladas. Según el CEAMSE, en los últimos 10 años la generación de residuos en la CBA ha aumentado un 55%, con una tasa anual de un 4.5% acumulativa (figura 2). En la CBA, según datos del Plan Urbano Ambiental, en 1997 se recolectaron 1.67 millones de toneladas, con una promedio de 4.600 tn/día (GCBA, 1998).

El CEAMSE adoptó desde el primer momento el método de rellenos sanitarios para la disposición final de los residuos. Actualmente, los sitios de disposición de residuos se encuentran localizados en cuatro zonas (ver figura 3): 1) Norte (camino del Buen Ayre), 2) González Catán, 3) Villa Domínico y 4) La Plata (en Ensenada, el que no será considerado en la presente contribución). Estos sitios fueron seleccionados sin una detallada consideración de sus características geológicas, primando, aparentemente, un criterio económico, tanto en lo referente al escaso valor inmobiliario de los terrenos afectados así como la gran proximidad a la Ciudad de Buenos Aires (menores gastos implicados en el transporte de los residuos hasta el sitio de disposición).

4. LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN Y PROBLEMAS AMBIENTALES DERIVADOS

La creación del CEAMSE y establecimiento de una política unificada de tratamiento de residuos para todo el AMBA, significó un considerable avance respecto a lo que se venía haciendo hasta la década del '70. En primer término porque implicó el reconocimiento de una problemática generalizada para toda la región y la necesidad de un abordaje centralizado, independientemente de las jurisdicciones implicadas. En segundo lugar, porque significó la incorporación de metodologías más modernas y adecuadas, como el relleno sanitario y su ingeniería. Sin embargo, desde el primer momento adoleció de un grave defecto, que fue la selección de los sitios de disposición "final".

Desde el punto de vista geomorfológico, la región del AMBA se encuentra localizada en una planicie loessica (figura 4, esquema geomorfológico). Es una planicie suavemente ondulada cuya morfología se debe a la periódica y recurrente depositación de materiales loessicos (limos acarreados por el viento en suspensión y depositados durante "tormentas de polvo"). Esta región por su morfología ha recibido la denominación de Pampa Ondulada. Estos sedimentos limosos han recibido la denominación de "Sedimentos Pampeanos" y se componen de dos formaciones: Ensenada (la más vieja y por lo tanto inferior) y Buenos Aires, "ensenadense" y bonaerense" según el clásico esquema geológico regional (basado en Rusconi, 1938, Frenguelli, 1950, González Bonorino, 1965, Rolleri, 1975 e Yrigoyen 1993). Para la clasificación geotécnica de los materiales superficiales se ha utilizado el Sistema Unificado de Clasificación textural de suelos desarrollado por Casagrande para el U.S. Army Corps of Engineers. Utilizando esta clasificación los materiales serían de las clases ML, MH y SM (Rimoldi, 2001). Sin embargo, esta suave morfología puede inducir a creer que el relieve es simple. Por el contrario, la depositación de loess durante el Cuaternario, ha enmascarado parcialmente una compleja configuración del relieve. Así, a la acción del viento se ha sumado la acción fluvial, la presencia de intrusiones marinas y la pedogénesis. Las tablas 1 y 2 muestran las principales características de los materiales superficiales aflorantes y de las geoformas presentes, la región del AMBA muestra numerosos cursos fluviales que la atraviesan, algunos desaparecidos durante el crecimiento de la ciudad pero que se evidencian durante las periódicas inundaciones que afectan la región. Estos cursos se encuentran severamente modificados por la acción antrópica, canalizados, entubados, rectificados, etc. Al ocuparse sectores del terreno poco aptos para el establecimiento de viviendas debido a la ausencia de políticas de ordenamiento territorial en zonas aledañas a los cursos, aumenta la ocurrencia de riesgos naturales. La planicie loessica oscila entre cotas de 25 m s.n.m. hasta más de 40, aumentando hacia el oeste y el norte. Los valles fluviales han excavado entre 15 y 30 metros respecto al nivel general de la planicie,

FIGURA 2: CRECIMIENTO EN LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS POR PARTE DEL CEAMSE DESDE SU FUNDACIÓN

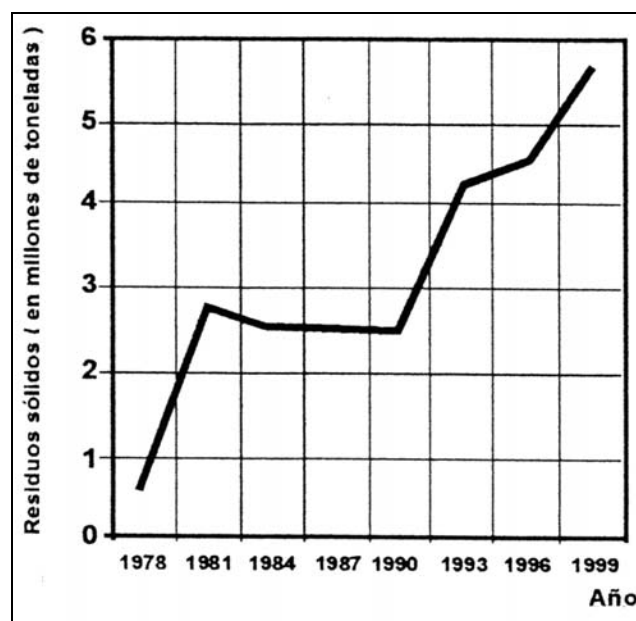
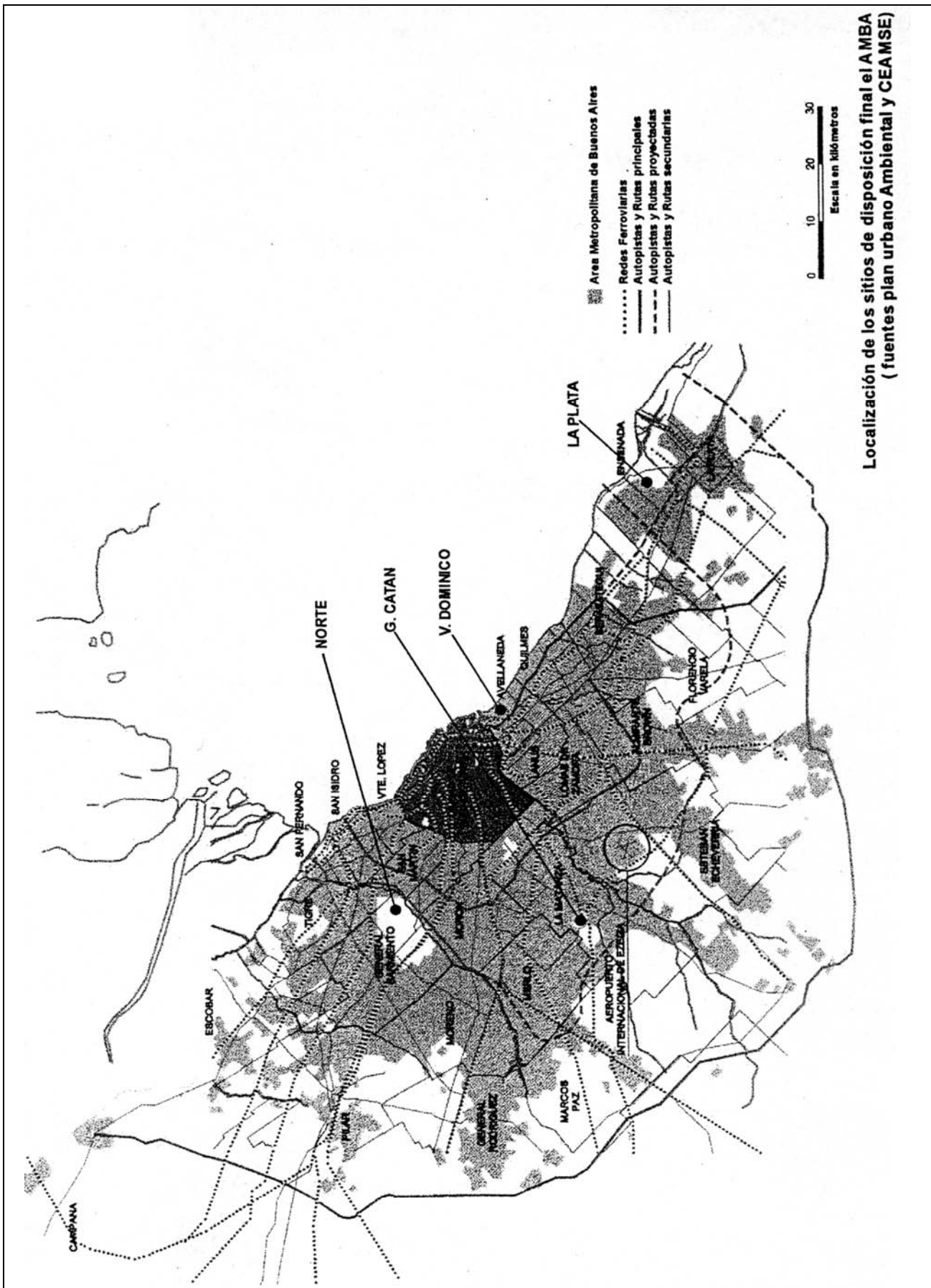


FIGURA 3: LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL ÁREA DEL GRAN BUENOS AIRES



presentando cotas de los pisos de los valles que oscilan entre 10 y 5 m s.n.m. para el sector del AMBA.

En el ambiente fluvial se reconocen, como geoformas dominantes, terrazas y planicies aluviales. Los canales fluviales han incidido verticalmente en sus depósitos fluviales, al menos 2 a 3 m, corriendo actualmente "encajonados". Este ambiente presenta un alto potencial de inundación. Vinculado al ascenso del mar, durante el Holoceno medio, se ha formado un ambiente litoral compuesto por planicies de marea, canales de marea y cordones litorales (de conchillas), los que posteriormente fueron modificados por la acción fluvial y el desarrollo del estuario del río de la Plata. Este ambiente presenta consecuentemente gran heterogeneidad y se localiza al pie de la barranca, por debajo de los 5 m s.n.m. de cota y se expandió aguas arriba por los valles de los principales cursos fluviales. El ambiente marino alcanza mayor desarrollo hacia la parte sur del GBA, entre los partidos de Avellaneda y Berisso.

El predominio de la pedogénesis en el Holoceno superior, sumado a la presencia de materiales loessicos y un clima templado-húmedo han determinado la presencia de suelos bien desarrollados, principalmente en las zonas de divisorias. En las mismas dominan los Argiudoles típicos. En los sectores más bajos, aledaños a los cursos fluviales o vinculados a materiales

originarios marinos, se encuentran Endoacuoles, Natracualfes, Hapludertes y Entisoles de diferentes tipos (*Cappaminni y Mourriño, 1966, SEAGYP-INTA, 1990*). Todos estos últimos suelos exhiben escasa aptitud para la localización de sitios de disposición de residuos.

En el AMBA destacan dos cursos fluviales que poseen una comparativamente amplia red de drenaje. Estos son el Matanza-Riachuelo y el Reconquista. El primero posee un curso principal de 61 Km longitud, un número total de cauces de la cuenca de 232, una pendiente media de 3,47 m/Km y una densidad de drenaje de 0,254. El río Reconquista, una longitud de 82 Km, número de cauces de 134, pendiente de 2,47 m/Km y una densidad de drenaje de 0,350 (*EASNE, 1973*). Estos cursos han labrado valles amplios debido a sus sinuosos recorridos controlados por relativamente bajas pendientes y materiales finos (limosos, loess retransportado). Presentan al menos un nivel de terraza fluvial y una amplia planicie aluvial que puede superar en ciertos sectores 2 Km de ancho.

Los sitios Norte y González Catán (tabla 3, basado en *Pereyra y Rimoldi, 2000 y Pereyra y Tbilinguirian, 2001*), seleccionados por el CEAMSE se encuentran localizados en los valles de los ríos Reconquista y Matanza respectivamente. En cotas comprendidas entre 5 y 10 m s.n.m. Consecuentemente, estos son

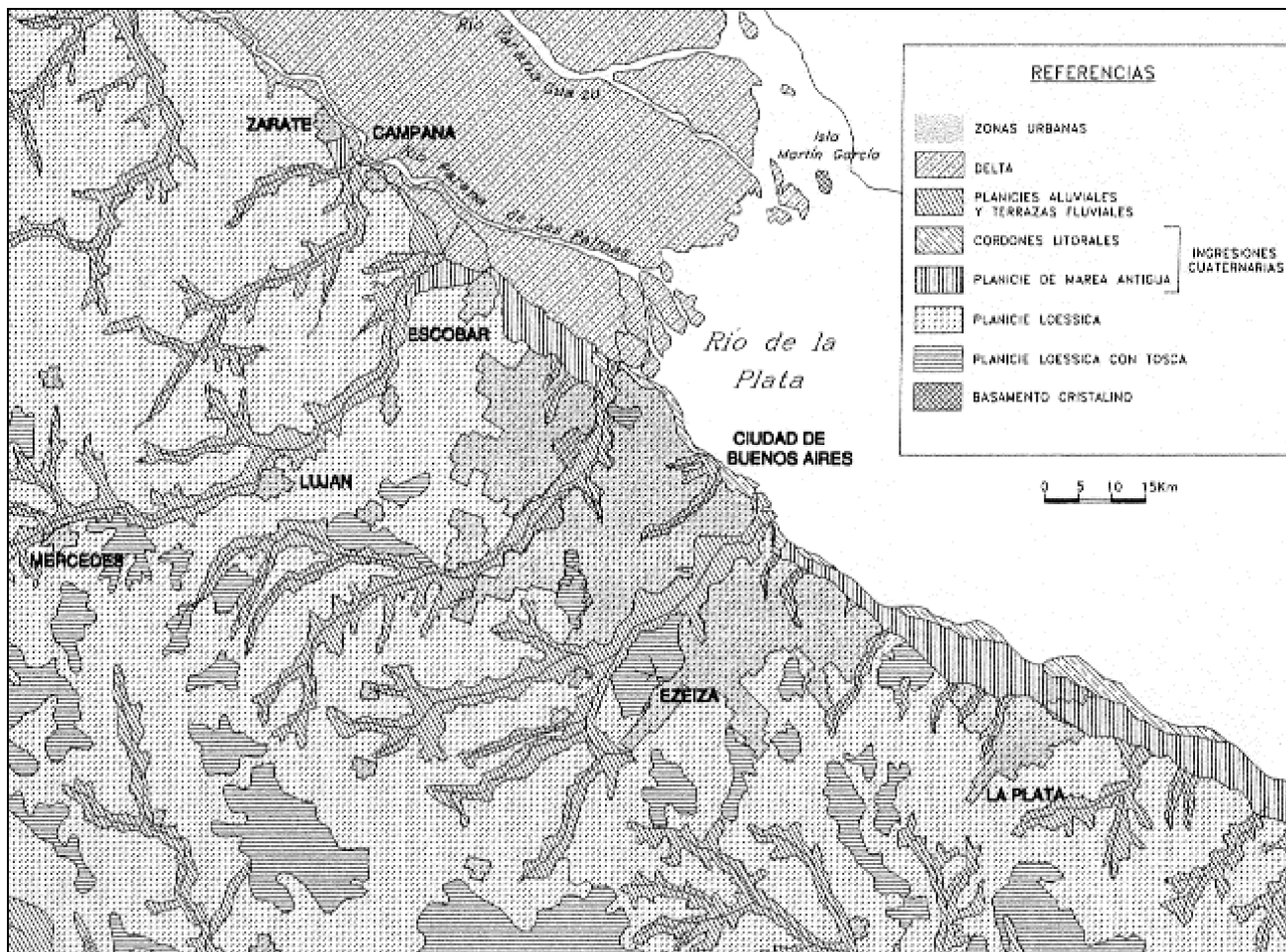
TABLA 1: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MATERIALES SUPERFICIALES EN LOS SITIOS DESTINADOS ACTUALMENTE AL RELLENO SANITARIO

Unidades estratigráficas	Descripción	Clasif. Textural	Litología
Depósitos fluviales recientes	Depósitos fluviales	SM, ML, CL, OL,, CH y OH	Arenas y limos
Fm. Querandí, "Querandinense"	Depósitos de planicie de marea y albufera de la ingresión holocena	OL, OH y CH	Arcillas y limos
Fm. Luján o "Lujanense"	Depósitos fluviales del Pleistoceno superior-Holoceno inferior	SM, ML, CL, OL, CH y OH	Limos
Fm. Buenos Aires o "Bonaerense"	Depósitos loésicos del Pleistoceno superior	ML, MH, SM	Limos
Fm. Ensenada o "Ensenadense"	Depósitos loésicos del Pleistoceno inferior	ML, MH, SM	Limos

TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES GEOMÓRFICAS EN LAS CUALES SE LOCALIZAN ACTUALMENTE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS Y PRINCIPALES ASPECTOS MORFODINÁMICOS DE LAS MISMAS

Proceso geomórfico dominante	Unidad geomórfica	Relieve relativo	Morfodinámica actual	Desarrollo edáfico
Eólico	Planicie loessica	Moderado	Baja	Muy alto
Poligenéticas marinas-fluviales	Paleocantilado	Alta	Alta	Bajo
	Planicie poligenética del río de la Plata	Bajo	Moderada	Variable
Fluviales	Planicies y terrazas fluviales	Bajo	Alta	Variable
	Laderas de valles y	Moderado	Alta	Moderado
	Delta del Paraná	Bajo	Muy alta	Bajo

FIGURA 4: ESQUEMA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL DEL ÁREA DEL AMBA



terrenos bajos, ya que debe tenerse en cuenta que las inundaciones que afectan la región generalmente anegan sectores localizados precisamente entre esas cotas. Se localizan en las planicies aluviales y en la terraza baja de ambos ríos. Estos sectores poseen una capa freática somera, subsuperficial, la que estacionalmente o relacionada con eventos climáticos extremos, incluso aflora en superficie (EASNE, 1973). En todos los casos la capa freática se encuentra a menos de 5 m de profundidad durante todo el año y, en muchos casos, a menos de 1 m. Los suelos presentes en estas geoformas, todos de régimen ácuico, principalmente Epi-Endoacuoles lo evidencian, entre otros aspectos por la presencia de rasgos hidromórficos, como moteados y concreciones. Por lo tanto los sitios seleccionados no cumplen con la que podría ser considerada la primera premisa de selección de sitios ya que el relleno sanitario interactúa con la capa freática ya que cualquier filtración de los lixiviados o desborde o flujo superficial de sectores altos de los rellenos, se incorpora directamente a la capa freática. Asimismo, la proximidad de los cursos fluviales principales y arroyos tributarios a los sitios de relleno hace que los lixiviados se incorporen también rápidamente a las aguas superficiales, aumentando la contaminación de por sí alta de ambos cursos fluviales y del Río de la Plata. Debe hacerse la salvedad, que en ciertos sectores de ambos sitios (si bien arealmente muy subordinados respecto a los ambientes fluviales señalados) también se han utilizado áreas en las que afloran sedimentos pampeanos, decididamente más adecuados para la localización de rellenos sanitarios.

La alta sinuosidad de los ríos Matanzas y Reconquista, debido a las bajas pendientes regionales y los materiales finos que transportan, implica la presencia de numerosos cambios de facies sedimentarias en poca distancia vertical y lateral y por lo tanto una gran heterogeneidad de los depósitos de los valles, lo que hace dificultoso evaluar su comportamiento respecto a la infiltración, su acción sobre las membranas impermeabilizantes y su influencia en la estabilidad de las pilas de residuos acumulados. Así, es frecuente encontrar lentes y capas de arcillas, limos y arenas en escasos metros de distancia vertical y lateral, por lo que la infiltración es ampliamente posible en todos los sectores considerados independientemente de que exactamente por debajo del relleno pueda existir una capa arcillosa. Estos materiales fluviales heterogéneos reciben la denominación de sedimentos "lujanenses" o Formación Luján. Utilizando la clasificación del Sistema Unificado serían SM, ML, CL, OL, CH y OH, lo que evidencia la gran heterogeneidad.

La altura de los rellenos sanitarios es demasiado grande en todos los casos, superando ampliamente los desniveles laterales. Por lo tanto, en una zona de bajo relieve relativo (menos de 20 m), con altas precipitaciones y en sectores geomorfológicamente más activos de la región (como son las planicies aluviales de los ríos) se está creando un relieve mayor. Los rellenos originarios tenían menos altura y menores perímetros, pero la creciente necesidad de espacio para incorporar la mayor producción de residuos ha motivado que cada uno de los nuevos rellenos sea más grande y más altos (más de 15 respecto los niveles de las geoformas afectadas). Consecuentemente, estos

rellenos son geomorfológicamente inestables, lo que implica que sus superficies serán afectadas por la erosión hídrica. De hecho ya lo están siendo, como se observa en numerosos sectores de los rellenos tapados. Las pendientes de los laterales son altas, y al no estar conveniente vegetadas ni protegidas por un suelo bien desarrollado, el escurrimiento superficial tiende a encauzarse erosionando la delgada cobertura que presentan los rellenos permitiendo aflorar la basura, formándose rills y cárcavas. Asimismo, se produce un lavado lateral de los lixiviados los cuales migran en forma superficial hacia los cursos fluviales aledaños, eludiendo la membrana impermeabilizante infrayacente. Los cursos fluviales han sido en algunos casos desviados, como por ejemplo en los nuevos sectores que se están abriendo en la zona Norte. Esto disparará toda una serie de procesos erosivos de los propios rellenos existentes y los nuevos a realizar, además de poder provocar anegamientos en zonas pobladas de la región que antes no se anegaban, debido a la modificación del diseño natural del río.

Vinculado a la ingesión marina del Holoceno medio, se produjo el ingreso de las aguas marinas y estuáricas río arriba superando los actuales sitios de disposición de residuos en algunos casos. El mar formó estuarios en estos ríos depositando, en aguas tranquilas arcillas marinas, denominadas arcillas “que-randinenses” (clases OL, OH y CH). Estos materiales presentan alta compresibilidad. La fracción mineralógica arcilla presentan altas proporciones de interestratificados y smectitas. Estos realizan un “trabajo mecánico” importante sobre las membranas impermeabilizantes y sobre toda la pila de residuos, el cual no fue debidamente evaluado. Por otro lado, cuando están secas, las grietas implican un aumento de la permeabilidad exponencial, muy superior a la microporosidad que resulta en los valores habituales de permeabilidad, permitiendo el transporte de sustancias contaminantes, no solo en solución, sino en suspensión y el arrastre mecánico de materiales más grandes hacia una

freática superficial. Las arcillas presentan valores de presión de hinchamiento que oscilan entre 3 y 10 Kg/cm² (Mourelle, 1987).

La escasa aptitud de los sectores aludidos alcanza proporciones han mayores en el caso de la zona del relleno Villa Domínico, ya que todos los factores señalados coexisten, sumados a la gran proximidad al río de la Plata. Las cotas son muy bajas respecto al nivel del río y zonas que son periódicamente inundadas por el mismo. El relleno se realiza en la terraza baja y planicie aluvial del Río de la Plata (antigua planicie estuárica y litoral durante la ingesión marina) localizada en cotas inferiores a 5 metros. El río de la Plata, durante las frecuentes “sudestadas”, que provocan las más grandes inundaciones de la región, alcanza cotas de hasta 4,4 m sobre su nivel habitual y por lo tanto puede anegar directamente o por ascenso de la capa freática las zonas rellenadas a la vez que ocasionar erosión de las mismas. La estabilidad de los rellenos es consecuentemente muy baja y los mismos interfieren en la dinámica fluvial de los arroyos que como el Sarandí desembocan en el río de la Plata anegando terrenos aguas arriba. También, es mayor la proporción de arcillas expandibles. La potencial gravedad de la situación en esta zona, hace que en muchos casos fuera como tirar directamente la basura al río y aconsejaría el abandono de la misma en busca de sectores más apropiados. En todos los sectores las altas precipitaciones y un manejo inadecuado o insuficiente de los lixiviados puede provocar el efecto “bañadera” y el consiguiente desborde directo de los lixiviados hacia los cursos aledaños, ante la colmatación por lixiviados de las cubetas impermeabilizadas.

5. SELECCIÓN DE FUTUROS SITIOS DE RELLENO

El crecimiento significativo en la generación y disposición de residuos ha implicado una tasa de apertura y colmatación de sitios mucho mayor y una presión significativa sobre las

TABLA 3: FACTORES AMBIENTALES DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS EN EL AMBA

Sitios de deposición	Unidad Geomórfica	Asociación de suelos	Nivel freático	Proximidad a cursos fluviales	Principales problemas ambientales derivados
Norte	Terrazas y planicie aluvial del río Reconquista	Endoacuoles Hapludoles Udifluventes	alto, generalmente a menos de 0.5 m	Aledaño	inundación periódica arcillas expansibles y compresibles heterogeneidad litológica erosión fluvial Aguas arriba de áreas densamente pobladas Alto potencial de contaminación de aguas superficiales y freatica
Gonzalez Catán	Terrazas y planicie aluvial del río Matanza y Planicie loessica	Endoacuoles Hapludoles Udifluventes Argiudoles	Variable, a veces alto	Aledaño	inundación periódica heterogeneidad litológica aguas arriba de áreas densamente pobladas alto potencial de contaminación de aguas superficiales y freatica
V. Domínico	Planicie poligenética del Río de la Plata	Endoacuoles Haplacuentes Hapludertes	Alto, generalmente a menos de 0.5 m	Aledaño	inundación periódica arcillas compresibles heterogeneidad litológica erosión fluvial Aguas arriba de áreas densamente pobladas Alto potencial de contaminación de aguas superficiales y freatica

zonas aledañas a los sitios de disposición. Según estimaciones del GCBA, el aumento de la generación de residuos implicará una saturación de los rellenos existentes, los cuales entre 3 y 5 años verán sus capacidades superadas (GCBA, 1998). La demanda de nuevos sitios de disposición "final" ante la creciente colmatación de la capacidad de los existentes, implicará la selección de nuevos sitios en un futuro muy próximo. Los aspectos geológicos-geomorfológicos señalados deben ser tenidos en cuenta e incorporar a profesionales capacitados a la selección de los mismos, desde la primera etapa ya que los impactos pueden ser irreversibles si los lugares son inadecuados. Por lo tanto cualquier nuevo sitio seleccionado deberá contar con adecuados estudios de impacto ambiental, los que deberían ser auditados por diferentes organismos públicos.

El aspecto económico, tanto por los costos de transporte como por los de los terrenos ha sido hasta el presente la variable dominante. En un futuro, y a la luz de la experiencia realizada, un proyecto económicamente viable, pero ecológicamente inaceptable no puede ser adoptado por la Nación, GCBA, provincia de Buenos Aires y Municipios involucrados. El alto valor de las tierras en la Pampa Ondulada, habida cuenta de sus altos valores agronómicos e inmobiliarios, es una limitante, a la cual se debe buscar alternativas.

Desde el punto de vista de medio físico y su capacidad para aceptar rellenos sanitarios, es necesario que sean tenidos en cuenta los siguientes aspectos: 1) nivel freático profundo, el cual bajo ninguna condición climática debe interactuar con el relleno, 2) materiales superficiales y subsuperficiales poco permeables y poco porosos, continuos lateral y verticalmente, 3) lejanía de sectores poblados y preferentemente localización aguas debajo de los mismos, 4) lejanía de cursos fluviales, 5) proximidad al mar.

La selección de los sitios deberá partir de un mapeo geomorfológico y geológico-geotécnico de los sitios potencialmente utilizables. Deberá analizarse la configuración del terreno, las características geomorfológicas, la existencia de fenómenos de erosión y depositación, la porosidad y permeabilidad y el escurrimiento superficial, la profundidad de los sedimentos, etc. Asimismo, se deberán analizar los suelos presentes, su secuencia de horizontes, grado de desarrollo, y particularmente la ausencia de rasgos hidromórficos en los suelos. Se deberán hacer análisis estacionales de la profundidad del nivel freático, particularmente evaluar su comportamiento después de lluvias especialmente importantes. La hidrogeología también deberá ser analizada así como la climatología e hidrología de los cursos fluviales que pudieran existir. Con esa información, quizás volcada en forma cuali-cuantitativa en matrices, debería establecerse por grados de aptitud un ordenamiento de los potenciales sitios.

En la zona aledaña al AMBA, debido a sus características geológicas, geomorfológicas y climática, y al uso y ocupación de la tierra, encontrar sitios totalmente aptos es una tarea dificultosa. A modo de propuesta a ser explorada y como hipótesis de trabajo, la planicie loessica, forma dominante del paisaje en la Pampa Ondulada, presenta condiciones aceptables en lo referente a geología y configuración del paisaje, particularmente los sectores más elevados. La red de drenaje no es tan densa y la freática puede encontrarse relativamente profunda. En las zonas altas no hay suelos hidromórficos y los horizontes edáficos y estratos son relativamente continuos. Para cumplir con los otros requisitos, debería considerarse el sector de la Pampa Ondulada localizada hacia el sudeste del Gran La Plata, evitando sectores que tengan drenaje hacia los ríos Samborombón y Salado, los cuales al desaguar en la Bahía de Samborombón (cuerpo de aguas tranquilas,

dominadas por las mareas y con escasa circulación y renovación) tenderían a concentrar los elementos contaminantes. Finalmente, debería evitarse realizar rellenos que superen sustancialmente el relieve natural, tratando de mantener pendientes estables frente a la erosión hídrica en las condiciones naturales, testeada y evaluada en pruebas piloto. La utilización y venta de los áridos extraídos durante las excavaciones a realizar podrían servir para solventar, al menos parcialmente, los costos de apertura y funcionamiento de los rellenos. Finalmente, otra posibilidad a explorar, pero probablemente más conflictiva ambientalmente y económicamente menos viable, sería la de ubicar sitios en las altas divisorias de la Planicie loessica en el ambiente de Pampa Ondulada al noroeste del AMBA.

6. CONCLUSIONES

Si bien la instrumentación de una política centralizada de manejo de residuos domiciliarios en la región del AMBA significó un avance respecto a la situación precedente, existen grandes deficiencias en la gestión de los mismos, por lo que medidas urgentes deben ser tomadas a la brevedad, ya sea para abordar su solución o, al menos, la mitigación de los impactos negativos. La presente contribución se ha centrado en los aspectos geológicos relacionados con la elección de los sitios de disposición final. De todas formas se pueden señalar algunos aspectos vinculados a la ingeniería de los rellenos insatisfactorios. En primer lugar no se clasifica la basura, no se la compacta a medida que se la va depositando en las cubetas, no se la cubre ocasionalmente con sedimentos o por lo menos no con la frecuencia generalmente considerada como adecuada. Asimismo, no se tratan los lixiviados o por lo menos no todo el volumen producido.

En las cuencas de los ríos Matanza y Reconquista viven más de 5 millones de personas, y por ejemplo aguas debajo del sitio de disposición final Norte, en la cuenca del Reconquista la población llega casi al millón de personas. En los partidos que se encuentran relacionados a esta cuenca, el 65% posee agua de red. Para el caso de la cuenca del Matanza, la situación sanitaria es aún más deficiente. Todos estos datos implican la necesidad de abordar hacia el futuro esta problemática de una manera diferente. Un primer aspecto es que no se deben colocar los sitios de disposición aguas arriba de las zonas pobladas.

Las metodologías de disposición, tratamiento y reciclaje de residuos han avanzado considerablemente en las últimas décadas del siglo XX, avanzando decididamente en el camino de reciclaje y la reutilización, así como en la reducción de los volúmenes reales de residuos generados. Por lo tanto cualquier nueva política que se instrumente debe contemplar la selección de los residuos. La demanda de nuevos sitios de disposición "final" ante la creciente colmatación de la capacidad de los existentes, implicará la selección de nuevos sitios en un futuro muy próximo. Los aspectos geológicos-geomorfológicos señalados deben ser tenidos en cuenta e incorporar a profesionales capacitados a la selección de los mismos, desde la primera etapa ya que los impactos pueden ser irreversibles si los lugares son inadecuados. Por lo tanto cualquier nuevo sitio seleccionado deberá contar con adecuados estudios de impacto ambiental, los que deberían ser auditados por diferentes organismos. La participación conjunta de otras instituciones y organismos oficiales como por ejemplo Universidades (UBA y UNLP), el Servicio Geológico Minero Nacional (SEGEMAR), INTA INA, etc. en la selección de los potenciales sitios sería altamente recomendable. Finalmente, el monitoreo de las actuales actividades no debería ser descuidado por el GCBA, la Provincia de Buenos Aires y Municipios involucrados.

7. LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CAPANNINI, D. Y V. MAURIÑO, 1966.
Suelos de la zona estuárica comprendida entre Buenos Aires y La Plata.
INTA, Colección Suelos, N2, 46 pags., Buenos Aires.
- CEAMSE. GERENCIA DE OPERACIONES, 1991.
La gestión de residuos sólidos en el área Metropolitana Bonaerense.
VII Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Actas 1:1-32, Mendoza
- CEAMSE, 1999.
Noticias CEAMSE.
Año VIII, N°16.
- DI PACCE, M., S. FEDEROVISKY, J. HARDOY Y S. MAZZUCHELLI, 1991.
Medio Ambiente Urbano en Argentina.
Colección los fundamentos de la Ciencia de Hombre N°53, C.E.A.L., 130 pags.
- EASNE, 1973.
Contribución al estudio geohidrológico del noreste de la prov. de Buenos Aires.
C.F.I. Serie técnica 24, 157 pags., Buenos Aires.
- FRENGUELLI, J., 1950.
Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires.
M.O.P., Publ. LEMIT, Buenos Aires, Serie II, N(33, 70 pags.
- GCBA, 1998.
Plan Urbano Ambiental,
Buenos Aires, 215 pags.
- GONZÁLEZ BONORINO, F., 1965.
Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y mineralógico.
Asoc. geol. Arg., Rev. XX, 1:57-150.
- KELLER, E., 1992.
Environmental Geology.
Mac Millan Publishing Co. New York, 518 pags.
- MOURELLE, H., 1990.
Geología Urbana de la Ciudad de Buenos Aires y sus alrededores.
Trabajo Final de Licenciatura, FCEyN-UBA, inédito.
- MURCK, B., B. SKINNER & S. PORTER, 1996.
Environmental Geology.
John Wiley & Sons Co., New York, 535 pags.
- PEREYRA, F. Y H. RIMOLDI, 2000.
Geosciences and Urban sprawl: AMBA city case, Argentina.
Special Symposia, invited contribution. XXX Int. Geol. Congress, Río de Janeiro, Actas en CD.
- PEREYRA, F. Y P. TCHILINGUIRIAN, 2001.
Aproximación geoambiental al desarrollo de mega ciudades, el caso del Area Metropolitana Bonaerense.
Actas de la I Reunión de Geología Ambiental y Ordenación de Territorio del MERCOSUR. Mar del Plata, actas en prensa.
- RIMOLDI, H., 2001.
Geología y geotecnia de la Ciudad de Buenos Aires.
Convenio SEGEMAR-UBA, SEGEMAR, Serie Avances Técnicos, N°3.
- ROLLERI, E., 1975.
Provincias Geológicas Bonaerenses.
VI Cong. Geol. Arg., Relatorio, 29-54, Bahía Blanca.
- RUSCONI, C., 1938.
Contribución al conocimiento de la geología de la Ciudad de Buenos Aires y sus alrededores.
Actas de la Academia Nacional de Ciencias, tomo X:177-384.
- SEAGyP-INTA, 1990.
Mapas de suelo de la Provincia de Buenos Aires.
SEAGyP-INTA, Buenos Aires, 545 pags.
- YRIGOYEN M., 1993.
Morfología y Geología de la Ciudad de Buenos Aires.
Actas Asoc. Arg. Geol. Apl. Ing. Vol. VII: 7-38. Bs.As.



Cartografía de peligro en el área minera Castaño Viejo departamento Calingasta, provincia de San Juan

Puigdomenech, Eva ¹ - Ramírez, Mónica ² - Guzzo, Elina ³ - Palacio, María de B. ³

Resumen

El presente trabajo forma parte de una investigación más extensa denominada "Estudio del impacto ambiental producido por la explotación de las minas de Castaño Viejo, Departamento Calingasta, San Juan". Tiene por objeto demostrar la importancia de la utilización de distintos mapas temáticos: geológico, de pendiente, de resistencia mecánica ante los agentes externos y de peligro de movimientos en masa. Estos dan como resultado, síntesis de los peligros naturales potenciales del área que la intervención del hombre puede activar.

1. INTRODUCCIÓN

El distrito minero Castaño Viejo se ubica en el departamento Calingasta, a unos 200 km al Oeste de la ciudad capital de la provincia de San Juan, sobre la margen derecha del Río Castaño (Fig. 1).

El área es conocida desde 1863 y durante el período 1956-1964 se explotaron vetas mineralizadas con sulfuros de plomo, zinc y algo de cobre. Para beneficiar el mineral se instaló una planta de flotación con una capacidad de 400 t/día y la producción durante el mencionado periodo fue de 46.640 t de concentrados con 73-78% de Pb, 75.588 t con 50-60% de Zn y 8.000 t con 14-21% de Cu (Gramage 1983).

Además del material valioso, la actividad produjo desechos sólidos como las escombreras y las colas o relaves. Los diques de colas del Distrito Castaño Viejo, abandonados desde hace más de 30 años, fueron construidos sin ningún criterio de diseño ni de conservación del medio ambiente. Consistió en una simple acumulación del material de desecho

de la planta de flotación, en zonas seleccionadas usando sólo el criterio económico de proximidad al punto de generación de los residuos. Con el paso del tiempo, estos diques y el área de interés minero han sufrido procesos erosivos de distintas significación e importancia, con consecuencias ambientales que están siendo calificadas y cuantificadas.

A raíz de esta evaluación se están aplicando técnicas de valoración de impactos y se reconoce entre éstas a la Cartografía que, mediante cartas temáticas, aporta herramientas útiles para el conocimiento del medio ambiente y su dinámica y orienta la gestión.

2. METODOLOGÍA

Los mapas de peligrosidad se construyeron teniendo en cuenta conceptos teóricos que aseguran su valor científico, evitando así la confusión en la que muchas veces se incurre al tratar estos temas.

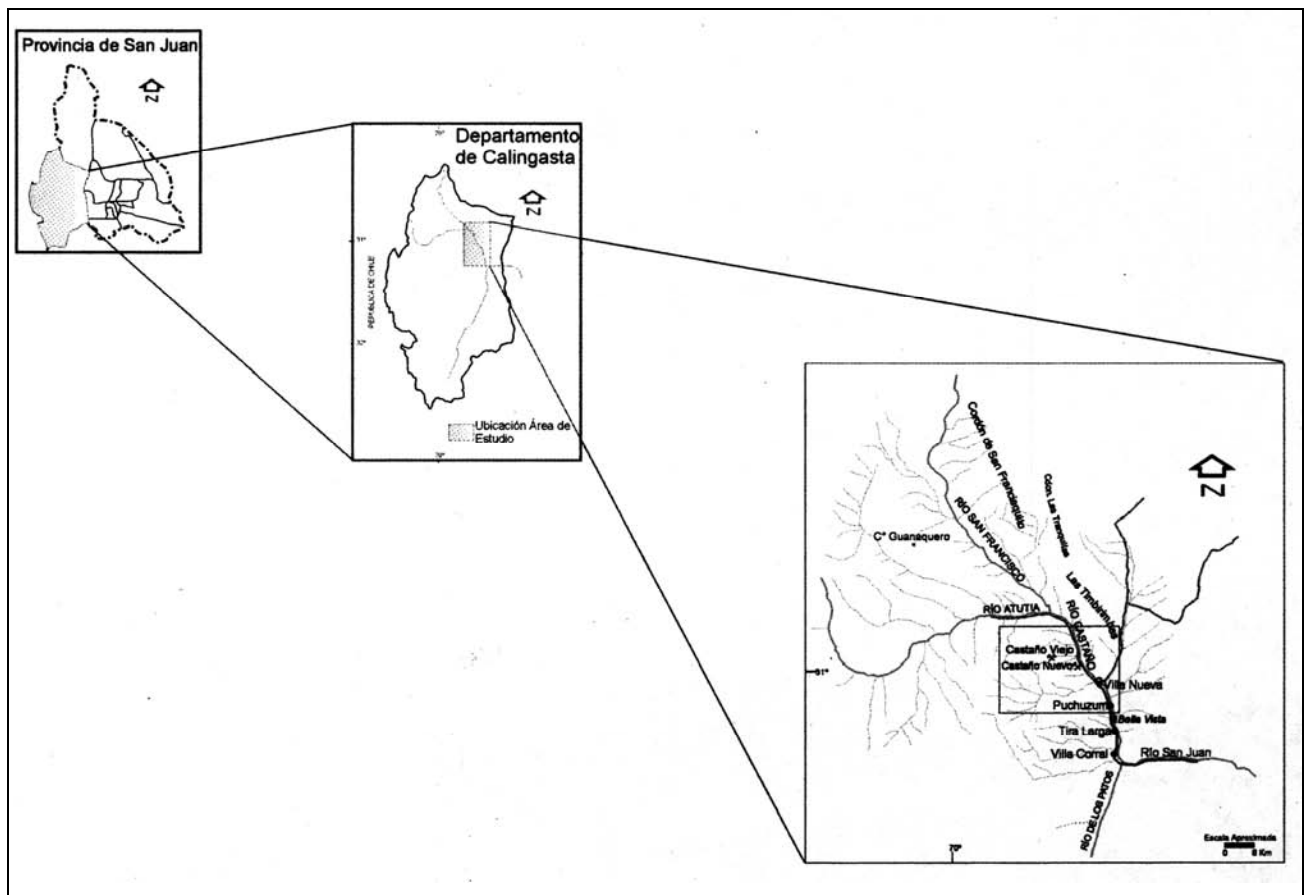
El concepto de peligrosidad está asociado al conocimiento de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, mientras que la vulnerabilidad es un concepto que hace referencia a aspectos de infraestructura humana (Echeverría Arnedo 1997).

Peligrosidad es el conjunto de aspectos físicos que caracterizan un fenómeno potencialmente dañino tales como: tipología, probabilidad de ocurrencia, dimensión espacial, duración y características dinámicas. Debe diferenciarse de Riesgo que se define como el daño potencial anual producible por un

Entregado: 22 de Agosto de 2001 ■ Aceptado: 14 de Setiembre de 2001

1. Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes - Universidad Nacional de San Juan
2. Instituto de Investigaciones Mineras - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan - Av. Libertador San Martín 1109 (oeste), 5400, San Juan e-mail: mramirez@unsj.edu.ar
3. Pasante - Instituto de Investigaciones Mineras - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL ÁREA CASTAÑO VIEJO



fenómeno potencialmente dañino, que puede ser cuantificado en términos económicos o sociales o evaluados cualitativamente (Ayala 1990).

Las tareas de análisis y predicción necesarias para la elaboración de los mapas incluyen información sobre la peligrosidad potencial espacial, zonificando las diferentes áreas en función de la presencia o actuación de los factores condicionantes.

Para la realización de este trabajo, se ha seguido la siguiente secuencia:

- Lectura de documentos bibliográficos y trabajos de investigación realizados en la zona.
- Análisis de cartografía básica y fotografías aéreas.
- Elaboración de carta de pendientes.
- Elaboración de carta de resistencia mecánica de las rocas ante los agentes externos y de peligro.
- Elaboración de carta síntesis: carta de peligro de movimientos en masa.

3. CARACTERIZACIÓN DEL DISTRITO MINERO CASTAÑO VIEJO

Clima

Según la clasificación de Köepen, el clima dominante en el área de estudio es el desértico (BW). Las condiciones climáticas están caracterizadas por un balance hídrico deficitario debido a la insuficiencia de las precipitaciones con relación a la pérdida masiva por evaporación.

Las precipitaciones pluviales ocurren durante los últimos meses de la primavera y en verano, con registros de 80 y 145 mm anuales por encima de los 2.000 m, descendiendo progresivamente con la altura hasta unos 50 mm de media anual en el valle.

Las temperaturas medias en las áreas de mayor altura llegan hasta 5° C para el mes más frío y 15° C para el más cálido. En las zonas bajas del área, los registros dan 7° C para el mes más frío y 20° C para el más caluroso. Las máximas diarias superiores a 30° C se registran entre diciembre y febrero y las mínimas de -10° C en los meses de invierno.

Estos registros dan evidencias de importantes amplitudes térmicas tanto diurnas como estacionales que están en íntima relación con los procesos de meteorización y erosión. (Puigdomenech, 2000).

Geología

Las unidades que integran la geología del área son (Rodríguez 1999):

Formación Agua Negra (Carbonífero superior-Pérmico inferior)

La base suele estar formada por un conglomerado polimítico en el que se destaca la presencia de cantos rodados de origen ígneo y metamórfico.

La mitad inferior de la serie reconocida está compuesta por lutitas verdosas y negras, areniscas y esporádicos niveles de gravas. La mitad superior está compuesta por areniscas, calizas y lutitas, en menor proporción se encuentran

niveles de tobas andesíticas y areniscas con participación volcánica.

Formación Castaño (Pérmico Triásico)

Los términos sedimentarios son abundantes en la parte media y alta de esta formación. En la parte media predominan areniscas y limolitas con participación volcánica variable. La parte alta está constituida por calizas negras laminadas con abundantes nódulos de chert intercalados entre vulcanitas.

La alteración propilítica que afecta al conjunto de rocas volcánicas de la Formación Castaño suele ser tan intensa que impide una caracterización petrográfica precisa de manera que parte de ella se ha clasificado sencillamente como porfirita de probable naturaleza andesítica.

Formación La Chilca (Pérmico Triásico)

Constituidas en su mayor parte por andesitas piroxénicas de aspecto masivo entre las que se intercalan niveles estratiformes de basaltos, andesitas, dacitas y más raramente riolacitas y riolitas que aparecen fundamentalmente en su parte superior, así como tobas y aglomerados. Las andesitas tienen una intensa alteración propilítica al igual que las dacitas

Rocas Plutónicas Mesozoicas

Granodiorita de las Vizcachas (Jurásico)

Es un cuerpo ígneo intrusivo elongado en sentido N-S. Petrográficamente está constituida por granodioritas que muestran pasajes a términos más ácidos correspondientes a granitos biotíticos y más raramente a composiciones más básicas de tipo tonalítico.

Diques Terciarios (Mioceno-Plioceno)

Estos diques tienen una disposición submeridiana (N-S), cortan a todos los grupos aflorantes. Tienen mucha importancia desde el punto de vista económico ya que asociados a ellos aparecen las principales mineralizaciones como es el caso de la Mina de Castaño Viejo.

El conjunto de diques presentan una gran variedad composicional correspondiendo a basaltos, andesitas, dacitas, riolacitas, riolitas, leuco-riolitas y leuco-granitos. A escala de afloramiento presentan tonalidades que van desde las negras o verde oscuras de los basaltos y andesitas a las cremas o blanquecinas de los términos más ácidos como riolacitas y leucogranitos, existiendo coloraciones intermedias dependiendo del grado y tipo de alteración.

Grupo Olivares (Mioceno - Plioceno)

Conjunto volcanosedimentario constituido en su base por 300 metros de basaltos y andesitas organizadas en coladas masivas con un horizonte de aglomerados volcánicos en su base.

Cuaternario

En los depósitos cuaternarios se pueden distinguir aquellos que se encuentran dentro del área cordillerana que están constituidos por sedimentos poco consolidados y heterométricos con predominio de facies gruesas procedentes de la erosión de los relieves cordilleranos.

El resto de sedimentos cuaternarios del área cordillerana son de origen aluvial (terrazas fluviales), coluvial (canchales), o glaciares (morenas).

La Fig. 2 representa la geología del área.

Geoformas y red hidrográfica

Desde la cordillera hasta el río Castaño se desarrolla el glacis donde el proceso de arrollada forma barrancos y genera el típico modelado de bad-land, con vertientes acarcavadas y flancos abruptos que aparecen también recorridos por regueros. Los materiales resistentes a la erosión generan relieve de cuesta pronunciado.

En la parte inferior del glacis se efectúa el paso de una forma de ablación a una de sedimentación, construida por sucesivas acumulaciones de mantos de aluviones. El río Castaño recorre el valle y circula en varios canales de escurrimiento por su lecho actual, a partir del cual se distinguen dos niveles de terrazas.

La organización de la red hidrográfica está estructurada por los relieves en los que se apoya y condicionada por las características litológicas y tectónicas que conforman este espacio. Los cauces secos o uadis que nacen en el piedemonte, en el sector proximal de los abanicos o en los tramos medios, son alimentados por las precipitaciones principalmente y desaparecen insumiéndose en los materiales depositados (Puigdomenech 2000).

Vegetación

La vegetación está asociada al tipo de suelo. Presenta extensas zonas sin vegetación, en áreas alteradas o con detritos de faldeo grueso. Donde predominan detritos más finos se distingue vegetación xerófila y cactáceas. Sobre los abanicos aluviales predominan el retamo, la jarilla y otros arbustos de menor talla (Márquez et al 1999).

Procesos dinámicos

Las características climáticas y bióticas circunscriben el espacio en estudio al sistema morfogénico de medio árido, donde el agente externo más activo es el agua proveniente de los deshielos y de las precipitaciones estacionales torrenciales y de breve duración. Dicho medio se define por el predominio de la meteorización física de los materiales, favorecida por la falta de protección del relieve debido a la escasez de suelos y de vegetación, ante los marcados cambios térmicos (termoclastia) y de humedad (hidroclastia). La gelifracción es más clara en el invierno. Todos estos procesos convierten a las rocas en regolitos de diversas formas y granulometría, que además son modelados por el choque entre ellos y por el arrastre del agua y el viento. Estos cubren tanto las vertientes de los relieves, como el piedemonte.

Peligros Naturales

Los procesos naturales que dinamizan el sistema, pueden romper el delicado equilibrio que caracteriza el espacio y representar un riesgo para el uso y gestión de recursos.

Peligrosidad por Aluviones

Los aluviones, acontecimientos extremos o excepcionales, son el resultado de una súbita tormenta torrencial que rebasa el umbral de estabilidad, produciendo procesos de escurrimiento concentrado, deslizamientos y sedimentación, que actúan generalmente de manera destructiva.

FIGURA 2: CARTA LITOLÓGICO ESTRUCTURAL DISTRITO MINERO CASTAÑO VIEJO

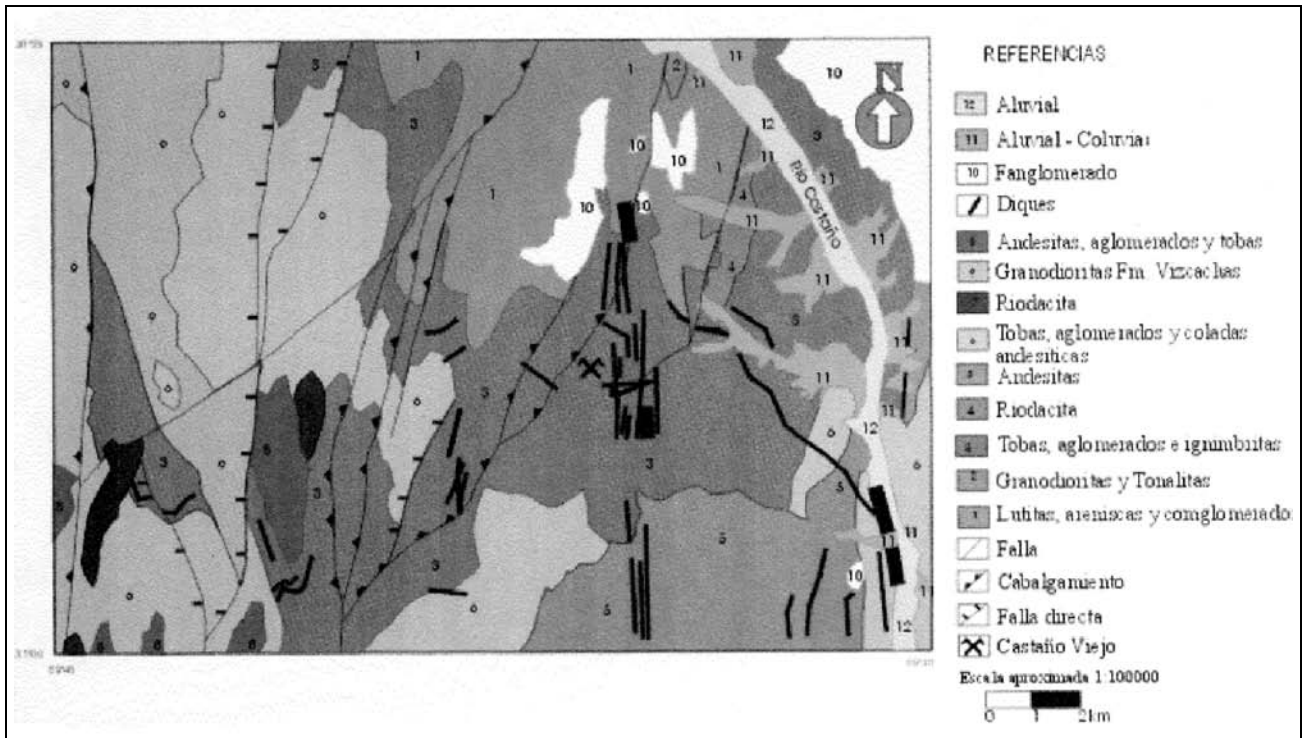
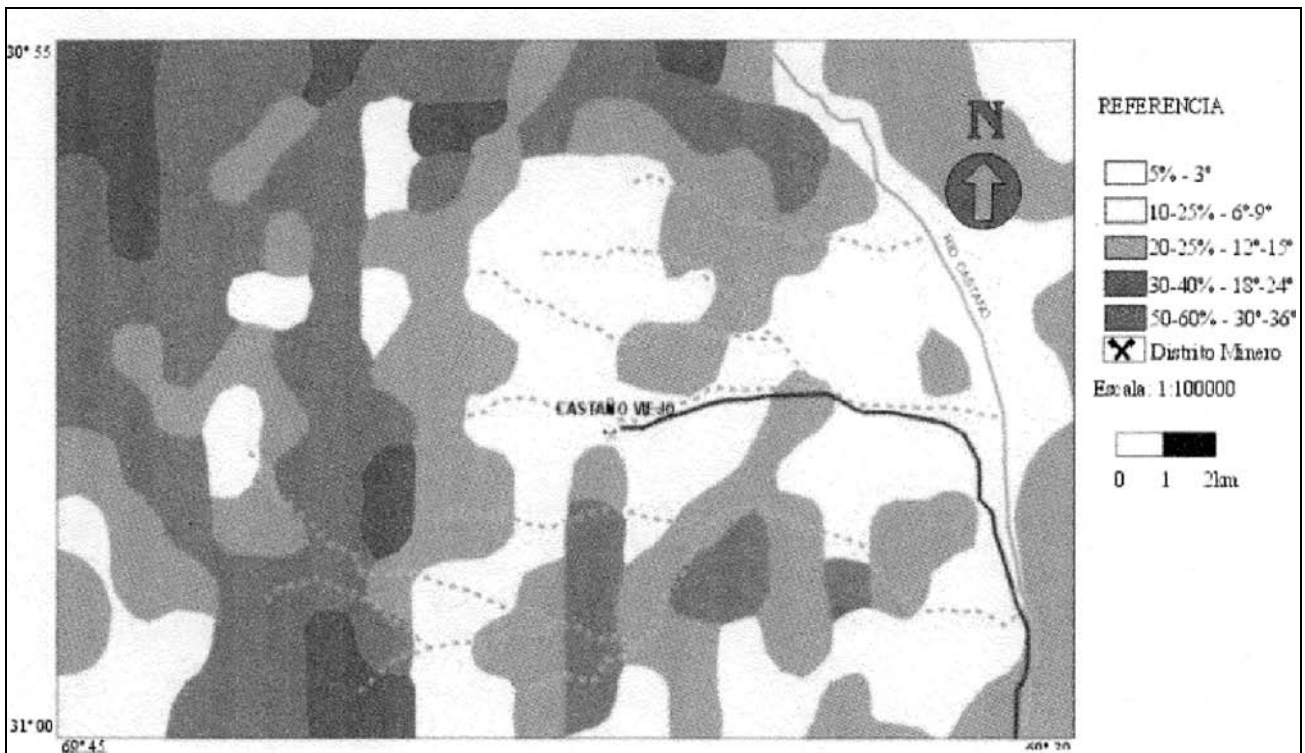


FIGURA 3: CARTA DE PENDIENTES CASTAÑO VIEJO



Peligrosidad por Sismos

La zona presenta una alta probabilidad de que se produzcan sismos importantes. Esta aseveración se basa en un análisis realizado por el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica) (Castano 1993), que define al área como con probabilidad de sufrir, en los próximos 50 años, sismos de intensidades máximas VII y VIII en la escala de Mercalli Modificada.

4. CARTOGRAFÍA ASOCIADA AL ANÁLISIS DE PELIGROS NATURALES

El movimiento que adquieren tanto las masas de agua que se encausan por los uadis como los materiales que se desplazan hacia áreas topográficas mas bajas, están condicionadas por varios factores como el relieve, clima, litología y pendiente.

Carta de pendientes medias

La cuantificación de la pendiente aporta información muy importante para predecir la posible dinámica del área.

Para calcular la inclinación del terreno con respecto al plano horizontal se tomó como base una carta topográfica escala 1:100.000, con una equidistancia que varía de 50 a 100 metros. Se tomaron cinco clases expresadas en valores relativos y en grados (Peña Monné 1997).

En la carta resultante (Fig. 3) se pueden observar pendientes suaves, del orden de los 5% en el área del lecho del río Castaño y un importante predominio de pendientes moderadas con una inclinación de 10-15% en el área donde se asienta la mina; con características complejas, quebradas y suavemente quebradas. Esta pendiente moderada, posee una escorrentía lenta o media. En la zona donde las pendientes son fuertes a muy fuertes, de 25 a 40%, y escarpadas de 50 a 60%, la energía cinética puede aumentar considerablemente y la escorrentía producirse con una energía tal que provoque desplazamientos de importantes masas de agua cargadas de sedimentos hacia las áreas de pendientes moderadas.

Litología y resistencia mecánica

Las litología es otro de los factores que influye en la forma y potencia que adquieren los escurrimientos en el área pedemontana.

El conjunto de litologías aflorantes se puede agrupar en cuatro clases diferentes en función de su resistencia mecánica ante los agentes externos, teniendo en cuenta que la mayoría de las rocas ígneas se encuentran alteradas (Fig. 4). Los valores se han obtenido a partir de la clasificación de la resistencia mecánica de la roca intacta dada por Deere y Miller.

- Resistencia mecánica Alta: basaltos, granodioritas, tonalitas, andesitas, riolacitas y coladas andesíticas.
- Resistencia mecánica Media: areniscas y lutitas.
- Resistencia mecánica Baja: tobas, aglomerados e ignimbritas.
- Resistencia mecánica Muy Baja: depósitos aluviales, coluviales y fanglomerados.

Correlación y síntesis de las variables pendientes - resistencia mecánica de las rocas

De la relación entre las variables consideradas (Tabla 1), surge la diferenciación de áreas que van de muy alta a baja probabilidad de que ocurra un deslizamiento.

Para una pendiente moderada, de entre 6° y 9°, en presencia de rocas como basaltos, granodioritas, tonalitas, andesitas, riolacitas con resistencia mecánica alta, la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento es baja. El mismo tipo de rocas en una pendiente fuerte genera un peligro medio-bajo y en pendientes muy fuertes un peligro medio-alto.

Las areniscas y lutitas poseen una resistencia mecánica media, en pendientes moderadas se observa un peligro medio-bajo, en pendientes fuertes medio-alto y en pendientes muy fuertes un peligro alto.

Las tobas, aglomerados e ignimbritas, la resistencia mecánica es baja. En pendientes moderadas el peligro es medio-alto, en pendientes fuertes el peligro es medio-alto y con pendientes de 18° a 24° el peligro es muy alto.

Los depósitos aluviales, coluviales y fanglomerados, de resistencia mecánica muy baja, en pendientes moderadas la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento es alta y en pendientes fuertes el peligro es muy alto.

5. CARTA DE PELIGROS DE REMOCIÓN EN MASA

La carta síntesis muestra la susceptibilidad de las laderas a los movimientos en masa (Fig. 5).

Puede observarse que la red que drena el área de la mina Castaño Viejo tiene sus nacientes en una zona de muy alta a alta probabilidad de que ocurra un deslizamiento y la mayor parte de la superficie de la cuenca se encuentra sobre un sustrato de peligrosidad medio-alto.

La ocurrencia de una lluvia torrencial de verano, suficiente para romper el equilibrio de las laderas y piedemonte, puede generar un aluvión con una energía potencial tan fuerte, capaz de romper con instalaciones mineras, diques de colas, provocar el derrame de los relaves y arrasar con toda infraestructura que encuentre a su paso.

Asimismo, teniendo en cuenta que la zona está afectada por un considerable número de fracturas, fallas activas y

TABLA 1.: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES PENDIENTES - RESISTENCIA MECÁNICA DE LAS ROCAS

	PENDIENTE		
	10-15% MODERADA	20-25% FUERTE	30-40% MUY FUERTE
RESISTENCIA MECÁNICA	Basaltos, tonalitas granodioritas, andesitas, riolacitas ALTA	BAJO	MEDIO BAJO ALTO
	Areniscas, lutitas MEDIA	MEDIO BAJO	MEDIO ALTO
	Tobas, aglomerados e ignimbritas BAJA	MEDIO ALTO	ALTO MUY ALTO
	Depósitos aluviales, coluviales y fanglomerados MUY BAJA	ALTO	MUY ALTO

FIGURA 4: CARTA DE RESISTENCIA MECÁNICA DE ROCAS ANTE LOS AGENTES EXTERNOS DISTRITO MINERO CASTAÑO VIEJO

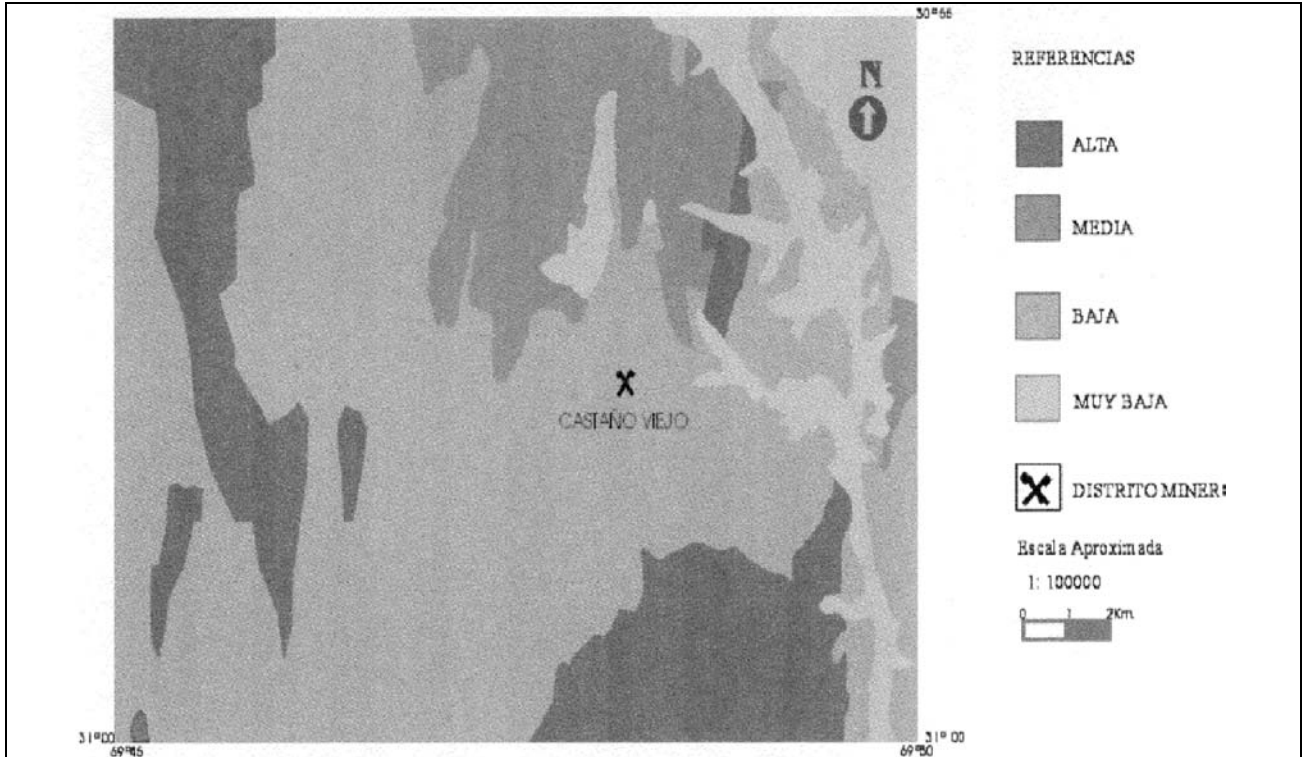
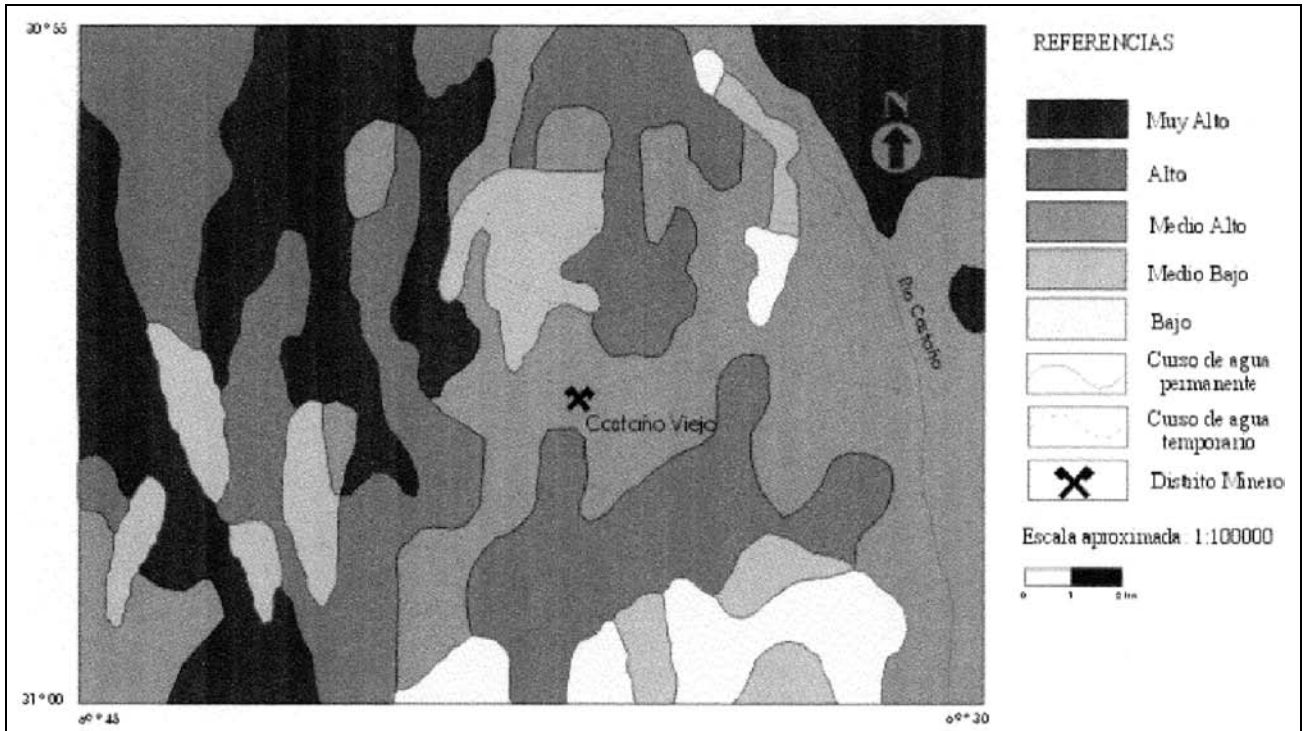


FIGURA 5: CARTA DE PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA. DISTRITO MINERO CASTAÑO VIEJO



cabalgamientos y que además el plano de inclinación de las fallas tiene la misma inclinación del sentido de la pendiente, es posible que también se produzcan desprendimientos de rocas por los movimientos sísmicos.

6. CONCLUSIONES

El uso de este tipo de cartografía temática, de peligros naturales, es de gran utilidad al momento de llevar a cabo la planificación del uso del suelo de un espacio.

En el caso de la Mina Castaño Viejo se han identificado, a través del análisis e interpretación de las cartas, evidencias de posibles peligros naturales que se deberán considerar si se proyecta activar la minería de la zona.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Investigaciones Mineras y al CICITCA de la Universidad Nacional de San Juan, el apoyo recibido para la realización del presente trabajo.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AYALA, F.J., 1990,
Análisis de los conceptos fundamentales de riesgo y aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos.
Boletín Geológico y Minero, Vol. 101-3: 456-457.
- CASTANO, J.C., 1993.
La verdadera dimensión del problema sísmico en la provincia de San Juan.
Publicación Técnica N° 18. INPRES. Argentina.
- ECHEVERRÍA ARNEDO, M.T., 1997.
"Cartografía geomorfológica básica y aplicada".
Geoforma Ediciones. España.
- GRAMAGE, R., 1983.
Estudio geológico minero de las vetas Compañía y Flor de Castaño - Distrito Minero Castaño Viejo - Pcia. de San Juan.
Trabajo Final de la Carrera Licenciatura en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. Inédito.
- PEÑA MONNÉ, J.L., 1997.
Cartografía geomorfológica básica y aplicada.
Geoformas Ediciones. España.
- PUIGDOMENECH, E., 2000.
Geomorfología aplicada a estudios de base ambiental en la cuenca del Río Castaño, provincia de San Juan".
Jornadas Platenses Internacionales de Geografía. File://D:\cdgeo\4puigdomenech.htm.
- RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, L., 1999.
Texto explicativo de la carta geológica a escala 1:100.000, Paraje Castaño Viejo.
SEGEMAR. Argentina.
- MÁRQUEZ, J. Y PASTRÁN, G., 1999.
Estudio de la vegetación de la cuenca del Río Castaño, San Juan.
Congreso Ambiental 99. Vol I: 109-113. San Juan. Argentina.

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Editorial		
Instrucciones para autores		
A carta geotécnica do Recife (PE), nordeste do Brasil	<i>Albeiros, Margaret M. - Jaime de Azevedo, Gusmão Filho - Genevois, Bernard B. - Ferreira, Maria da Graça de V. X.</i>	1
Mapeo geológico en Huaca Huasi. Cumbres Calchaquies, Tucumán, noroeste de Argentina	<i>Arcuri, Claudia B.</i>	9
Identificación de posibles zonas aptas para la instalación de rellenos sanitarios, a partir de la elaboración de una carta temática	<i>Bosch, Dante René</i>	19
Emergencias geomorfológico-paleoambientales de los depósitos cuaternarios en la llanura fluvial costera del torrente Polcevera. Liguria, norte de Italia	<i>Brandolini, Pierluigi - Calderoni, Gilberto - Guido, Maria Angela - Montanari, Carlo - Nicchia, Paolo - Ramella, Agostino - Terranova, Remo</i>	29
Elaboración y uso de mapas temáticos para la regionalización ecológica de la cuenca del Arroyo del Azul	<i>Entraigas, Ilda - Gandini, Marcelo - Usunoff, Eduardo</i>	39
Estudio experimental de la influencia de mezclas de sedimentos arenosos bimodales en el proceso de socavación de estribos de puentes	<i>Fernández, Sandra</i>	49
Principais parâmetros físicos do terreno que interferem nas vibrações sísmicas geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas	<i>La Corte Bacci, Denise de - Barbosa Landim, Paulo Milton</i>	57
Degradación de hidrocarburos en terrenos loésicos	<i>Lexow, C. - Bonorino, Alfredo G.</i>	69
Examen petrográfico aplicado al estudio del hormigón de una ruta interurbana con evidencias de deterioro	<i>Maiza, Pedro J. - Marfil, Silvina A.</i>	75
Diseño del proyecto didáctico "geomorfología aplicada"	<i>Mansilla, Lilyán del Valle - Peme-Aranega, Carmen - Karlsson, Alicia</i>	80
Ordenación territorial del humedal Bajo Giuliani y su entorno. Provincia de La Pampa	<i>Marani, Jorge - Carballo, Olga - Calmels, Augusto - Sotorres, Elsa - Sbrocco, José</i>	83
La geología urbana de la ciudad de Salta y su relación con aspectos geoambientales. Provincia de Salta, Argentina	<i>Marcuzzi, Jorge J. - Torrejón, David E. - Bejerman, Norberto J.</i>	93
Procesos geoquímicos que determinan la hidroquímica de las lagunas pampásicas. Importancia del intercambio catiónico	<i>Miretzky, Patricia Silvina - Conzonno, Víctor Hugo - Fernández Cirelli, Alicia</i>	103
Condicionamientos geológico-geotécnicos para el desarrollo urbano de Tucumán	<i>Mon, Ricardo - Eremchuk, Jorge E.</i>	113
Utilización de fotografías aéreas y SIG para el mapeo geomorfológico detallado	<i>Ojeda, Guillermo E.</i>	119
Localización de sitios de disposición de residuos en el área metropolitana bonaerense: una aproximación geoambiental	<i>Pereyra, Fernando X.</i>	128
Cartografía de peligro en el área minera Castaño Viejo departamento Calingasta, provincia de San Juan	<i>Puigdomenech, Eva - Ramírez, Mónica - Guzzo, Elina - Palacio, María de B.</i>	138

**REUNIÓN NACIONAL
SOBRE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Córdoba, 14, 15 y 16 de Agosto de 2002

Por mayor información: asagai@infovia.com.ar

**CUARTO ENCUENTRO NACIONAL
DE UNIDADES AMBIENTALES
Y DE SEGURIDAD DEL SECTOR VIAL**

Mar del Plata, 22 al 25 de Octubre de 2002

Por mayor información: asagai@infovia.com.ar

A los fines de la impresión del presente volumen se ha recibido
apoyo económico de las siguientes empresas y asociados:

LIC. JORGE WEXLER

Copyright 2000 by Editorial ASAGAI
Maipú 645 - 1^{er} piso - 1006 Buenos Aires
Printed in Argentina

*Producción Gráfica y Editorial
Callerio y Asociados
(0351) 4245924
e-mail: lcallerio@agora.com.ar
Córdoba*

Se terminó de imprimir en Junio de 2002
en Sistemas de Impresión Digital
de Callerio y Asociados
Córdoba - Argentina