

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Zonificación de la erosión costera en la localidad de Santa Clara del Mar, provincia de Buenos Aires

Buniconro, M. P. - Marcomini, S. C. - López, R. A.

Propuesta de planificación ambiental costera del sector Bahía de los Vientos hasta Costa Bonita, provincia de Buenos Aires

López de Armentia, A. M. - del Río, J. L. - Bó, M. J. - Álvarez, J. R. - Bazzini, S. - Alperin, M.

Avaliação do terreno em cartografia geotécnica expedita para planejamento urbano: exemplo de ilha Solteira (Brasil)

de Lollo, J. A. - Mendonça dos Santos, F. - Suman Curti, J.

Patologías en rocas que componen algunos monumentos funerarios del cementerio de la Recoleta, Buenos Aires, Argentina

Ponce, M. B.

Análisis de la actividad de movimientos de ladera mediante láser escáner terrestre en el suroeste de la Cordillera Bética (España)

Irigaray, C. - Palenzuela, J. A.

Deslizamiento en la ruta provincial N° 173, Cañón del Atuel, provincia de Mendoza

Sales, D. A. - Gardini, C. E. - Cisneros, H. A.

Zoneamento geoambiental da microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho, São Carlos - São Paulo

de Lima, F. I. - Ferreira, M. D. - Failache, M. F.

Relevancia de la evaluación de los aspectos geológicos y geomorfológicos para los estudios geotécnicos de pequeñas presas - estudio de casos

Balbis, A. - Pesci, H. E.

Peligrosidad geológica y evaluación de la aptitud para la urbanización en Junín de los Andes (provincia de Neuquén)

Pereyra, F. X. - Lara, J. - Tobío, M. I.

Nota Técnica. Caracterización morfológica y granulométrica de algunas arenas de la ciudad de Córdoba

Aiassa Martínez, G. M. - Arrúa, P. A. - Eberhardt, M. G.

Portada: Túnel en la Ruta Nacional N° 150 - San Juan, Argentina. Fotografía: Franco M. Francisca

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



**Revista de Geología
Aplicada a la Ingeniería
y al Ambiente**



Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Publicación Oficial de

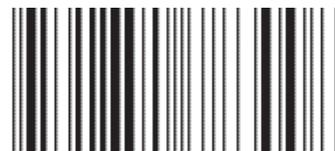


Maipú 645, Piso 1° - C1006ACG
Ciudad Autónoma de Buenos Aires

editores@asagai.org.ar
www.asagai.org.ar
Tel/Fax (011)4322-2820

Número 31 • 2013

ISSN 1851-7838



REVISTA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA Y AL AMBIENTE

DIRECTOR

MSc Geólogo Norberto Jorge Bejerman

Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba

Argentina

editores@asagai.org.ar

EDITOR ASOCIADO

Prof. Dr. José Chacón

Departamento de Ingeniería Civil

Universidad de Granada

España

jchacon@ugr.es

COMITÉ EDITORIAL

Prof. Dr. Helder Iglésias Chaminé

Departamento de Engenharia Geotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Politécnico do Porto

Portugal

hic@isep.ipp.pt

Dr. Julio Luis del Río

Universidad Tecnológica Nacional

Unidad Académica Mar del Plata

Área Geoambiental

Argentina

julioluisdelrio@gmail.com

Prof. Dr. Luis I. González de Vallejo

Ingeniería Geológica

Departamento de Geodinámica

Facultad de Ciencias Geológicas

Universidad Complutense de Madrid

C./Antonio Novais nº 2; Madrid 28010

vallejo@geo.ucm.es

Dra. Silvina A. Marfil

Departamento de Geología

Universidad Nacional del Sur

Comisión de Investigaciones Científicas

de la Prov. de Buenos Aires

Argentina

smarfil@uns.edu.ar

Dra. Graciela E. Tello

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

Unidad Académica Río Turbio. Santa Cruz

Argentina

gtello28@yahoo.com

Dra. Ofelia Tujchneider

Grupo de Investigaciones Geohidrológicas

Departamento de Hidrología y Ambiente

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

Universidad nacional de El Litoral. Santa Fe

Argentina

pichy@fich1.unl.edu.ar

SECRETARÍA

Dr. Francisco Locati

CICTERRA (CONICET - UNC)

Argentina

flocati@efn.uncor.edu

Geóloga Natalia Carina Szwedowicz

GEoS (CONCORD S.A.)

Argentina

nataliacarina-s@hotmail.com

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Diseño Gráfico

Paula Paredes

paulaparedes13@hotmail.com

Webmaster

Guillermo Saint

saintdisegno@arnet.com.ar

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

COMISIÓN DIRECTIVA 2010 - 2014

PRESIDENTE	<i>Norberto Jorge Bejerman</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Fabio S. Luna</i>
SECRETARIO	<i>Rubén A. López</i>
TESORERO	<i>Adrián Angel Silva Busso</i>
VOCAL TITULAR	<i>Cristina Dapeña</i>
VOCAL TITULAR	<i>Mabel Mena</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Luis Mario Giaconi</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>José L. Guerrero</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>Fernando Díaz</i>
REVISOR DE CUENTAS SUPLENTE	<i>Carlos Marconi</i>

Maipú 645, Piso 1º - C1006ACG - Ciudad Autónoma de Buenos Aires
asagai@asagai.org.ar
www.asagai.org.ar

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Staff		I
Comisión Directiva		II
Zonificación de la erosión costera en la localidad de Santa Clara del Mar, provincia de Buenos Aires	<i>Bunicontro, M. Paula Marcomini, Silvia C. - López, Rubén A.</i>	1
Propuesta de planificación ambiental costera del sector Bahía de los Vientos hasta Costa Bonita, provincia de Buenos Aires	<i>López de Armentia, A. M. - del Río, J. L. Bó, M. J. - Álvarez, J. R. , Bazzini, S. Alperin, M.</i>	17
Avaliação do terreno em cartografia geotécnica expedita para planejamento urbano: exemplo de ilha Solteira (Brasil)	<i>de Lollo, José Augusto Mendonça dos Santos, Franciane Suman Curti, Juliano</i>	29
Patologías en rocas que componen algunos monumentos funerarios del cementerio de la Recoleta, Buenos Aires, Argentina	<i>Ponce, María Beatriz</i>	39
Análisis de la actividad de movimientos de ladera mediante láser escáner terrestre en el suroeste de la Cordillera Bética (España)	<i>Irigaray, C. - Palenzuela, J. A.</i>	53
Deslizamiento en la ruta provincial N° 173, Cañón del Atuel, provincia de Mendoza	<i>Sales, Daniel A. - Gardini, Carlos E. Cisneros, Héctor A.</i>	69
Zoneamento geoambiental da microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho, São Carlos - São Paulo	<i>de Lima, Fernanda Imada Ferreira, Marcilene Dantas Failache, Moisés Furtado</i>	81
Relevancia de la evaluación de los aspectos geológicos y geomorfológicos para los estudios geotécnicos de pequeñas presas - estudio de casos	<i>Balbis, Agustín - Pesci, Hugo E.</i>	93
Peligrosidad geológica y evaluación de la aptitud para la urbanización en Junín de los Andes (provincia de Neuquén)	<i>Pereyra, F. X. - Lara, J. - Tobío, M. I.</i>	107
Nota Técnica. Caracterización morfológica y granulométrica de algunas arenas de la ciudad de Córdoba	<i>Aiassa Martínez, Gonzalo M. Arrúa, Pedro A. - Eberhardt, Marcelo G.</i>	125
Instrucciones para autores		129
Formulario de suscripción o compra		133

MISIÓN Y OBJETIVOS DE LA PUBLICACIÓN

Misión y objetivos de la publicación

La *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* es la publicación oficial en Argentina de la asociación miembro de la *International Association of Engineering Geology and the Environment*. La *Geología Aplicada a la Ingeniería* se define, en los estatutos de la IAEG, como "la ciencia dedicada a la investigación, estudio y solución de los problemas ambientales e ingenieriles que correspondan como resultado de la interacción entre la geología y las obras y actividades del ser humano, así como de la predicción y del desarrollo de medidas previsoras o de corrección de los peligros geológicos". La *Geología Aplicada a la Ingeniería* comprende: "la definición de la geomorfología, estructura, estratigrafía, litología y los acuíferos de las formaciones geológicas, las propiedades químicas e hidráulicas de todos los materiales involucrados en la construcción, extracción de recursos y cambio ambiental; la valoración del comportamiento hidrológico y mecánico de los suelos y macizos rocosos; la predicción de los cambios de las anteriores propiedades con el tiempo; la determinación de los parámetros a tener en cuenta en el análisis de estabilidad de las obras de ingeniería y de los terrenos; el mantenimiento y mejora de la condición ambiental del terreno"

La *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* tiene por objeto fomentar la publicación y difusión de artículos originales de calidad en todos los ámbitos propios, así como la difusión de noticias sobre eventos y publicaciones de interés en la temática. Está dirigida a científicos y profesionales geólogos, ingenieros y tecnólogos.

En todos los casos, las opiniones vertidas en esta publicación son responsabilidad de los autores y no reflejan posiciones oficiales de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Todos los artículos son sometidos a un proceso de revisión por pares a cargo de especialistas de reconocido prestigio que colaboran, a tal fin, voluntariamente y sin lucro alguno, con la Revista.

Leyenda de protección de derechos de autor

Todos los artículos publicados en esta Revista cuentan con protección de los derechos de autor. Ninguna parte del material publicado aquí podrá ser reproducido, transmitido, almacenado o utilizado en ninguna forma o por cualquier medio gráfico, electrónico, o mecánico, incluyendo, pero no limitándose a, el fotocopiado, grabación, escaneo, digitalización, grabación en cinta, distribución en la Web, redes de información, o sistemas de almacenamiento y recuperación, sin permiso previamente aceptado del Editor.

El autor podrá incluir una versión del artículo en su propio sitio Web o en el de su institución. Los Autores podrán reproducir el Artículo, total o parcialmente, y difundir su contenido o ponerlo a disposición del público, en formato impreso o electrónico, como parte de un contenido docente o como una recopilación, para su uso en el ámbito académico o de investigación en la institución a la que pertenezcan, citando que fue publicado en la revista.

Precio de la revista

Quienes estén interesados en adquirir un ejemplar de la Revista, cuyo costo es de 280 pesos, deberán contactarse con la Editorial (editores@asagai.org.ar).

En la página 133 encontrará el formulario a completar a tal efecto

Aims and objectives

*The Journal of Engineering and Environmental Geology (JEEG) is the official publication in Argentina of the corresponding association of the **International Association of Engineering Geology and the Environment**. "Engineering geology, is defined in the statutes of the IAEG as the science devoted to the investigation, study and solution of engineering and environmental problems which may arise as the result of the interaction between geology and the works or activities of man, as well as of the prediction of and development of measures for the prevention or remediation of geological hazards. Engineering geology embraces: the definition of the geomorphology, structure, stratigraphy, lithology and ground water conditions of geological formations; the characterisation of the mineralogical, physico-geomechanical, chemical and hydraulic properties of all earth materials involved in construction, resource recovery and environmental change; the assessment of the mechanical and hydrological behaviour of soil and rock masses; the prediction of changes to the above properties with time; the determination of the parameters to be considered in the stability analysis of engineering works and earth masses; the improvement and maintenance of the environmental condition and properties of the terrain".*

The aims of this journal are the publication and diffusion of original quality paper in all related fields and also the diffusion of news about related events and publications of interest. It is addressed to scientist and professional geologists, engineers and technologists.

In any case, the opinions expressed in this publication are responsibility of the authors and do not reflect official positions of the Argentina Association of Engineering Geology. All items are submitted to a peer review process by renowned specialists who collaborate to that end, voluntarily and without any profit, with the Journal.

Authors Copyrights

All papers published in this Journal are protected by copyrights. No part of published material covered herein may be reproduced, transmitted, stored, or used in any form or by any means graphic, electronic, or mechanical, including but not limited to photocopying, recording, scanning, digitizing, taping, Web distribution, information networks, or information storage and retrieval systems, without a previously accepted permission by the Editor.

The author(s) will be allowed to include a paper version in his own or institutional Web site. The author(s) may reproduce the paper, totally or partially, and diffuse it contain or let it available to the public in impressed or electronic format only as a part of a teaching context or as a state-of-the art reviewing, for it use in a academic context or for researches in their institution, by citing its previous publication in this Journal.

Price of the Journal

All interested in buying a copy of any Journal issue, with the actual cost of ARS 280, should be in contact with the Editor (editores@asagai.org.ar).

In page 133 an application form to be fulfilled and sent to the Editor is available.

En Homenaje
al Ingeniero
Alberto E. Rusculleda
(1946 - 2013)

Su calidez y bonhomía lo hacen inolvidable



Zonificación de la erosión costera en la localidad de Santa Clara del Mar, provincia de Buenos Aires

Zoning of coastal erosion in Santa Clara del Mar, Buenos Aires province

Bunicontro, M. Paula¹ ✉ - Marcomini, Silvia C. ¹ - López, Rubén A.¹

Recibido: 28 de Mayo de 2012 • Aceptado: 05 de Junio de 2013

Resumen

La zona de estudio comprende el área costera de la localidad de Santa Clara del Mar, ubicada en el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires, en el partido de Mar Chiquita. El entorno natural del área de estudio ha sufrido modificaciones, producto principalmente del rápido crecimiento urbanístico y turístico, incrementando la erosión de playa y el retroceso de los acantilados de manera considerable. El objetivo del presente trabajo radica en analizar la morfoodinámica y el retroceso costero entre 1958 y 1975 cuando la costa mostraba condiciones naturales, y las variaciones morfológicas registradas luego de la implementación de estructuras de protección entre los años 1975 y 2009.

Las tasas de retroceso natural obtenidas entre los años 1958 y 1975, para la localidad de Santa Clara del Mar, variaron desde 1,7 m/año en el sector sur hasta 5,8 m/año en el norte.

El análisis histórico de vulnerabilidad a la erosión permitió diferenciar a la costa de Santa Clara en tres sectores con distinta magnitud: alta, media y baja, correspondientes a un sector norte, central y sur, respectivamente.

La tasa de acumulación de arena en la playa entre 1958 y 2009 fue de 0,9 m/año promedio para toda la costa.

Entre los principales factores que modificaron las condiciones hidrodinámicas del sistema litoral en la ciudad de Santa Clara del Mar se destacan: la destrucción y degradación del campo de dunas colgado, la canalización del Arroyo Los Patos, la instalación de paredones verticales y la construcción de una serie de espigones en 'J' a partir de la década de 1950. Por otro lado, las estructuras de protección costera ubicadas en Mar del Plata han influenciado indirectamente en la subsaturación de la deriva litoral, incrementando la erosión costera hacia el sur.

Palabras clave: erosión costera, retroceso, vulnerabilidad, playa.

1. IGEBAs Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, CP.1428.

✉ paulabunicontro@hotmail.com

Abstract

The studied region includes the coastal zone of Santa Clara del Mar town, situated in the southeast of Buenos Aires province, in Mar Chiquita district. The natural environment of this area has

been modified, mainly because of the fast growth of urbanization and tourism, increasing the erosion on the beach and the cliffs' regression seriously. The aim of this paper is to analyze the morphodynamics and the coastal erosion during 1958 and 1975 when the coast showed natural conditions, and the morphological changes registered after the implementation of coastal protection structures between 1975 and 2009.

The natural regression rates obtained between 1958 and 1975 in Santa Clara del Mar varied from 1,7 m/year in the south to 5,8 m/year in the north.

The historical vulnerability to erosion analysis allowed us to divide Santa Clara del Mar's coast into three sectors with different magnitude: high, moderate and low, corresponding to northern, central and southern sectors, respectively.

The accumulation rate of sand in the beach between 1958 and 2009 was about 0,9 m/year for all the coast.

The main factors that modified the hydrodynamic conditions of the coastal system of Santa Clara del Mar are: the destruction and degradation of perched dunes field, the channeling of Los Patos stream, the setting up of seawalls and the building of a group of breakwaters in 'J' since 1950s. On the other hand, the coastal protection structures located in Mar del Plata have indirectly influenced on the longshore drift undersaturation, increasing the coastal erosion to the south.

Keywords: coastal erosion, regression, vulnerability, beach.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio comprende la localidad de Santa Clara del Mar, ubicada en el municipio de Mar Chiquita, al sudeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). Dicha localidad balnearia dista 370 km de la Capital Federal y 17 km de la ciudad de Mar del Plata.

Durante las últimas décadas, el rápido crecimiento de las localidades costeras no ha considerado las limitaciones que el medio físico impone para su desarrollo. La urbanización y el

avance del turismo sobre la costa de Buenos Aires han llevado a una explotación intensiva de los recursos naturales sin tener en cuenta las consecuencias. El entorno ambiental y natural en el que se desarrolló el área costera de estudio ha sufrido modificaciones a lo largo de los últimos años de acuerdo a causas naturales y a cambios introducidos por la actividad antropogénica y el avance del frente urbano. Esto ha afectado, directa o indirectamente, las tasas de aporte de sedimentos al sector costero, y como resultado se han incrementado los procesos de erosión de las playas y el retroceso de los acantilados de manera notable.

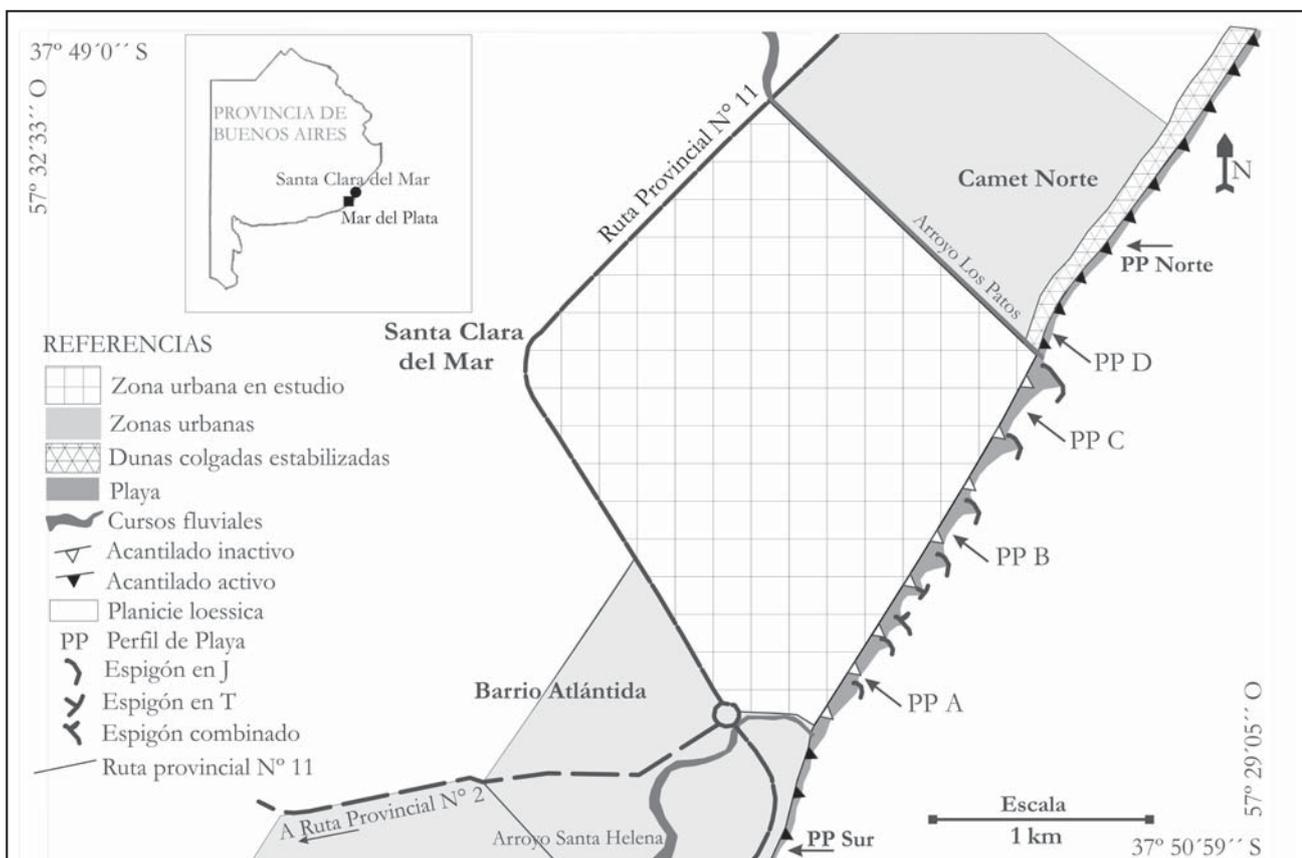


Figura 1. Mapa de ubicación.

El objetivo del presente trabajo consiste en analizar la morfodinámica y el retroceso costero y su estabilización como consecuencia de la implementación de estructuras de defensa costera, entre los años 1958 y 2009, con el fin de obtener tasas de retroceso de línea de costa y delimitar zonas con mayor o menor riesgo de erosión. Otros puntos a abordar son la caracterización de la morfología original y evolución costera entre dichos años y la caracterización de la morfología de la playa actual y el perfil de la costa.

La costa de la provincia de Buenos Aires fue estudiada desde el punto de vista sedimentológico y composicional por *Teruggi (1959)* y *Spalletti y Mazzoni (1979)*.

Estudios acerca de la dinámica costera e impactos antrópicos fueron realizados por *Tassara y García (2005)* e *Isla (2006)* mientras que *Merlotto et al. (2008)* analizaron el riesgo de erosión costera en la localidad de Mar Chiquita. *Schnack et al. (1983)* han registrado valores de erosión levemente superiores al metro por año para Santa Clara del Mar. Estudios de índole ambiental y asociados a las alteraciones antropogénicas en la costa bonaerense fueron hechos por *Isla et al. (1997, 1998 y 2001)* e *Isla y Cassanelli (1999)*. *Guzzi (2006)* analizó el estado de la contaminación costera y la balneabilidad en dicha zona mientras que *Fiore et al. (2009)* analizaron el fenómeno climático de tormentas y su impacto en esta área costera. Aportes desde el punto de vista geomorfológico han sido realizados por *Schnack et al. (1982)* y *Fasano et al. (1984)*. Por su parte, estudios regionales sobre la dinámica costera asociada al transporte de arena y la morfodinámica de playas han sido desarrollados por *Marcomini y López (1993 y 1997)*, *López y Marcomini (2002)*, *Bértola y Cortizo (2005)* y *Bértola (2006)*. Puntualmente, un amplio análisis sobre la geología y dinámica costera de la localidad de Santa Clara del Mar y alrededores fue desarrollado por *Bunicontro (2012)*.

Descripciones de distintos tipos de manejo costero asociado a la erosión de playas en la provincia de Buenos Aires fueron hechas por *López y Marcomini (1998 y 2000)*, *Marcomini y López (2005)* y *Marcomini et al. (2007)*.

METODOLOGÍA

El análisis del retroceso de la línea de costa se llevó a cabo a través de la observación de fotografías aéreas en escala 1:20.000 del Departamento de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires de los años 1958, 1975 y 1986 y de la imagen satelital Google Earth 2009. Para ello, se midieron las distancias perpendiculares al pie del acantilado desde la Avenida Acapulco (vía principal paralela a la línea de costa) en 6 puntos de sur a norte separados cada 400 m (Figura 2). Estos valores de distancia fueron graficados en función del tiempo y se aproximaron a una curva de regresión lineal, a partir de la cual se calcularon velocidades de retroceso costero para la localidad balnearia. A su vez, en cada punto de observación se midieron anchos de playa (teniendo en cuenta un estadio de marea media normal) para estimar tasas de acumulación de sedimentos. Todas las mediciones se realizaron de manera milimetrada sobre las fotografías aéreas utilizando también el método de estereoscopia, a excepción de aquellas realizadas sobre la imagen satelital.

Para el análisis de los cambios geomorfológicos más relevantes se ha realizado un estudio comparativo entre dichos años considerando además, modificaciones producto del avance de la urbanización, y se obtuvo un mapa de zonificación histórica de la erosión para esta localidad.

Con el objetivo de caracterizar la morfología de la playa actual y el perfil de la costa se han relevado 4 perfiles topográficos transversales utilizando una estación total los cuales fueron denominados A, B, C y D de sur a norte y ubicados según muestra la Figura 1. Los primeros tres se ubicaron sobre la costa de Santa Clara del Mar, específicamente entre los distintos espigones de defensa para analizar su efecto sobre la configuración de la playa ya sea que se encuentren en el ala sur o norte de la estructura. El cuarto perfil se localizó sobre la costa de Camet Norte, inmediatamente al norte de Santa Clara del Mar, con el fin de analizar la dinámica costera en este sector ya que se encuentra bajo el efecto erosivo de los espigones antes mencionados, y con un desarrollo mayor del campo de dunas colgado. Dichos perfiles se realizaron en condiciones de marea baja y fueron referenciados a puntos fijos con sistema de posicionamiento global en caso de efectuar futuros monitoreos.

HIDRODINÁMICA LITORAL Y CLIMA

El clima de la región es templado con precipitaciones abundantes todo el año y una amplitud térmica baja. La temperatura media anual es de 14,2 °C, con una máxima anual de 19,7 °C y una mínima anual de 8,8°C (*Rodríguez, et al., INTA, 2008*). Las precipitaciones medias anuales son de 930,6 mm y la humedad relativa anual es de 76,5%. Los vientos alcanzan sus mayores velocidades promedio durante los meses de primavera con 19 m/s si bien las mayores fluctuaciones y ráfagas ocurren durante el otoño/invierno. Las principales direcciones corresponden a los vientos continentales del norte y oeste seguidos por los vientos marítimos del sur y este.

El régimen de mareas es micromareal mixto preponderantemente semidiurno con una amplitud media de 0,80 m y una máxima de 1,55 m (*Servicio de Hidrografía Naval, 2011*).

La altura media de las olas para esta zona es de 0,91 m con un período de 9,5 segundos mientras que la altura máxima de las olas puede alcanzar los 2,3 m (*Lanfredi et al., 1992*). Las mayores alturas de olas se alcanzan fundamentalmente en los eventos de sudestadas que afectan a la costa bonaerense, las cuales aumentan el nivel del mar y son acompañadas de fuertes vientos, modificando los perfiles de playa. La deriva litoral predominante se desplaza desde el SSO hacia el NNE y la velocidad de las corrientes litorales para el sector costero comprendido entre Mar del Plata y Mar Chiquita (de SO a NE) es de 0,26 m/s a 0,3-0,5 m/s (*Servicio de Hidrografía Naval, 2000*).

GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuadra regionalmente en el extremo sudeste de las Sierras Septentrionales o Sierras de Tandil, inmediatamente al norte de sus últimos afloramientos. A excepción de los sistemas serranos, importantes superficies de la provincia fueron ocupadas por el mar en repetidas oportunidades desde el Neógeno, especialmente en el Terciario Superior y Cuaternario. Durante estas últimas transgresiones, los procesos de acumulación y erosión, generados por las variaciones de las líneas de costa, afectaron a gran parte de la costa bonaerense y dieron lugar a una gran diversidad de depósitos litorales (*Schnack et al., 2005*).

La zona estudiada se caracteriza por la presencia de sedimentos de edad plio-pleistocena y holocena. Las secuencias aflorantes en esta región del litoral bonaerense fueron agrupadas por *Frenquelli (1945)* en dos grandes series: Pampeano y Post-pampeano.

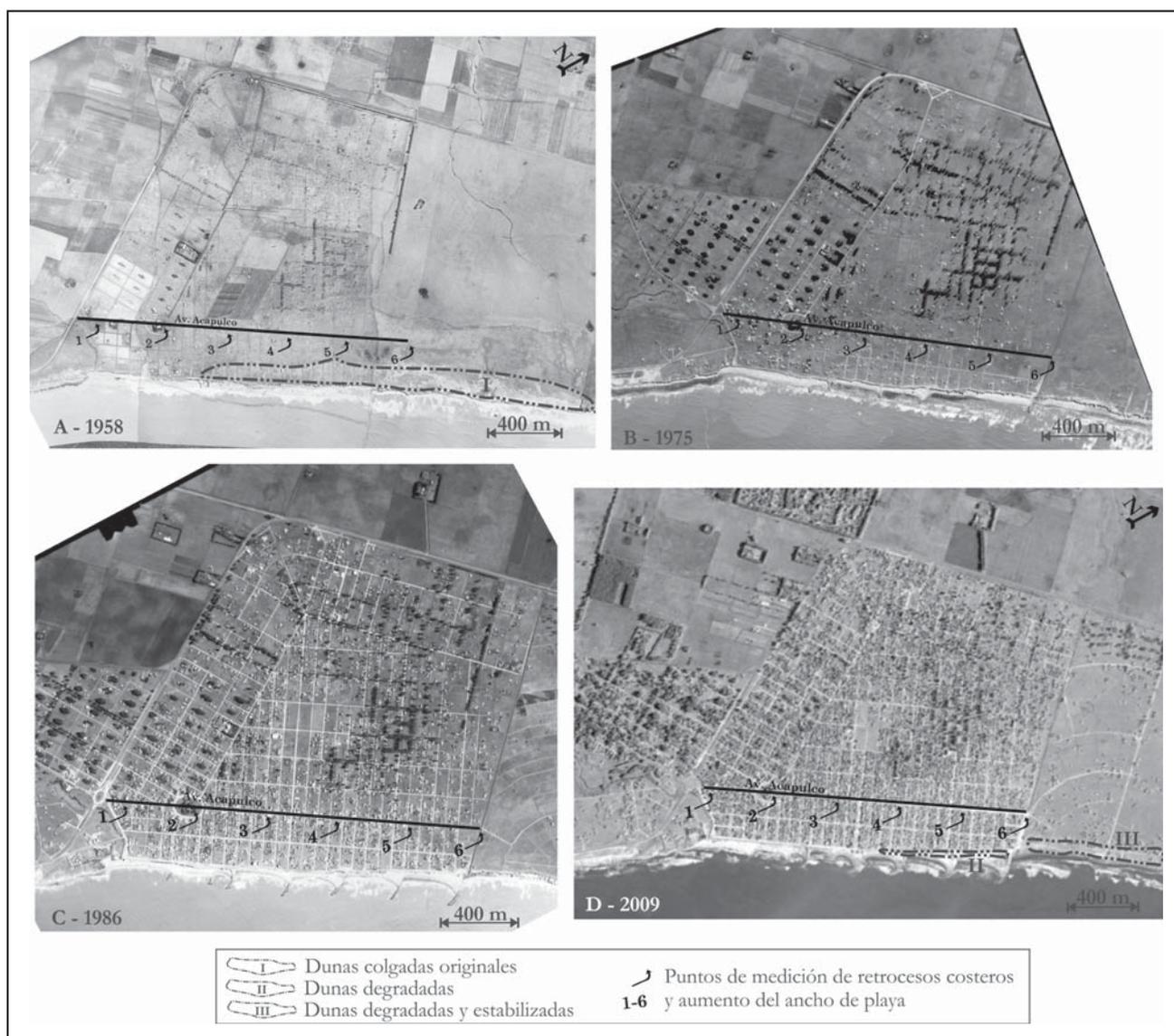


Figura 2. Comparación de la evolución de la localidad de Santa Clara del Mar a través de las fotografías aéreas de 1958, 1975 y 1986 del Departamento de Geodesia de La Plata y la imagen satelital Google Earth de 2009. Se observa la distribución a lo largo de la Av. Acapulco de los puntos de medición. Nótese el desarrollo de dunas colgadas (I) en el año 1958 sobre la costa de Santa Clara y Camet Norte, su deterioro en 2009 (III) y estabilización posterior (III) como consecuencia del avance urbano. Se puede observar el aumento progresivo de la playa producto de la instalación de los distintos espigones de defensa, especialmente entre los años 1975 y 1986.

Se conoce con el nombre de 'Sedimentos Pampeanos' a todas las secuencias pleistocenas, ya sean continentales o marinas. Se caracterizan, en general, por una litología consistente en limos, areniscas y conglomerados con variables contenidos de material carbonático o tosca. La Formación Pampiano fue definida por *Fidalgo et al. (1973)* y comprende lo que Frenquelli denominó "Piso Ensenadense" y "Piso Bonaerense". A su vez, los sedimentos pampeanos fueron diferenciados en dos unidades litoestratigráficas por *Riggi et al. (1986)*: Formación Ensenada y Formación Buenos Aires. En gran parte de estas unidades es característica la presencia de niveles de paleosuelos y de rasgos pedológicos a lo largo de toda la sucesión sedimentaria. Además, las estructuras biogénicas (cuevas y crotovinas) de vertebrados e invertebrados son muy frecuentes, incluyendo niveles con alto grado de bioturbación (*Zárate, 2005*).

La Formación Ensenada (Pleistoceno Inferior a Medio) está constituida por limos arcillo-arenosos de color castaño cla-

ro con tramos de edafización y nódulos de carbonato de calcio. Se infiere una génesis eólica, y acumulación en un medio ácuco, ya sea lacustre o fluvial (*Riggi et al., 1986*). Contiene fauna de edad mamífero ensenadense y ha sido descrita en perfiles estratigráficos y en registros magnéticos en las cercanías a la localidad de Santa Clara del Mar por *Bidegain et al. (2005)*.

La Formación Buenos Aires (Pleistoceno Superior) se encuentra constituida por limos friables y sedimentos loésicos en su mayoría porosos, no estratificados y de color pardo claro a rojizo. Su litología es similar a las sedimentitas de la Formación Ensenada aunque aquí es típica la presencia de tosca. Posee una edad mamífero lujanense y *Riggi et al. (1986)* consideran que la génesis de los depósitos es predominantemente eólica y muy subordinadamente subácuca (fluvial o lacustre). Los sedimentos de la Formación Buenos Aires fueron estudiados y reconocidos en los perfiles magnetoestratigráficos de arroyo La Tapera, Camet y Santa Clara del Mar por *Bidegain et al. (2005)*.

La Formación Santa Clara (Pleistoceno Medio a Superior) fue definida por *Schnack et al. (1982)*, parcialmente equivalente a la Formación Pampiano de *Fidalgo et al. (1973)*. La sección tipo fue definida en Santa Clara del Mar por *Fasano (1991)*, quien le asigna edad mamífero lujanense. Su litología está compuesta por limos arcillosos a limos arenosos de color castaño rojizo a oscuro y castaño amarillento claro y se encuentra bien representada en los perfiles de los acantilados de Santa Clara del Mar en las proximidades del arroyo Santa Helena, donde alcanza un espesor máximo aflorante de 2 m.

Los Sedimentos Postpampeanos (*Ameghino, 1889*) están divididos en el "Piso Lujanense" (Pleistoceno Superior) y en el "Piso Platense" (Holoceno). Suprayacen, a través de una superficie de erosión, a los limos entoscados de la Formación Pampiano y su ambiente de depositación es continental y variable, con sedimentos principalmente de origen fluvial, lacustre y eólico, y con desarrollo de niveles de paleosuelos. *Fidalgo et al. (1973)* redefine los pisos Lujanense y Platense como Miembro Guerrero y Miembro Río Salado, respectivamente; y los agrupa en la Formación Luján.

RESULTADOS

Geomorfología

El paisaje de esta zona es poligenético aunque ha sido modelado en mayor medida por los procesos eólico, fluvial y marino.

El proceso fluvial se evidencia principalmente por la presencia de ríos cuyos valles corren perpendiculares a la costa. Se distinguieron dos cursos principales: uno en el extremo sur (arroyo Santa Helena) y otro en el extremo norte de la localidad de Santa Clara (arroyo Los Patos). Ambos cursos poseen un régimen permanente y un hábito meandriforme mientras que la red fluvial mantiene un diseño dendrítico. El arroyo Los Patos desembocaba hasta 1958 en la localidad actual de Camet Norte, a unos 1200 m al norte de su desembocadura actual. Originalmente se encontraba parcialmente canalizado en su tramo final a lo largo de aproximadamente 1000 m (Figura 2 A).

Los acantilados son activos y tienen una altura de entre 4 y 8 m. Están labrados sobre niveles limo-arenosos con intercalaciones de calcretes pertenecientes a los sedimentos Pampeanos

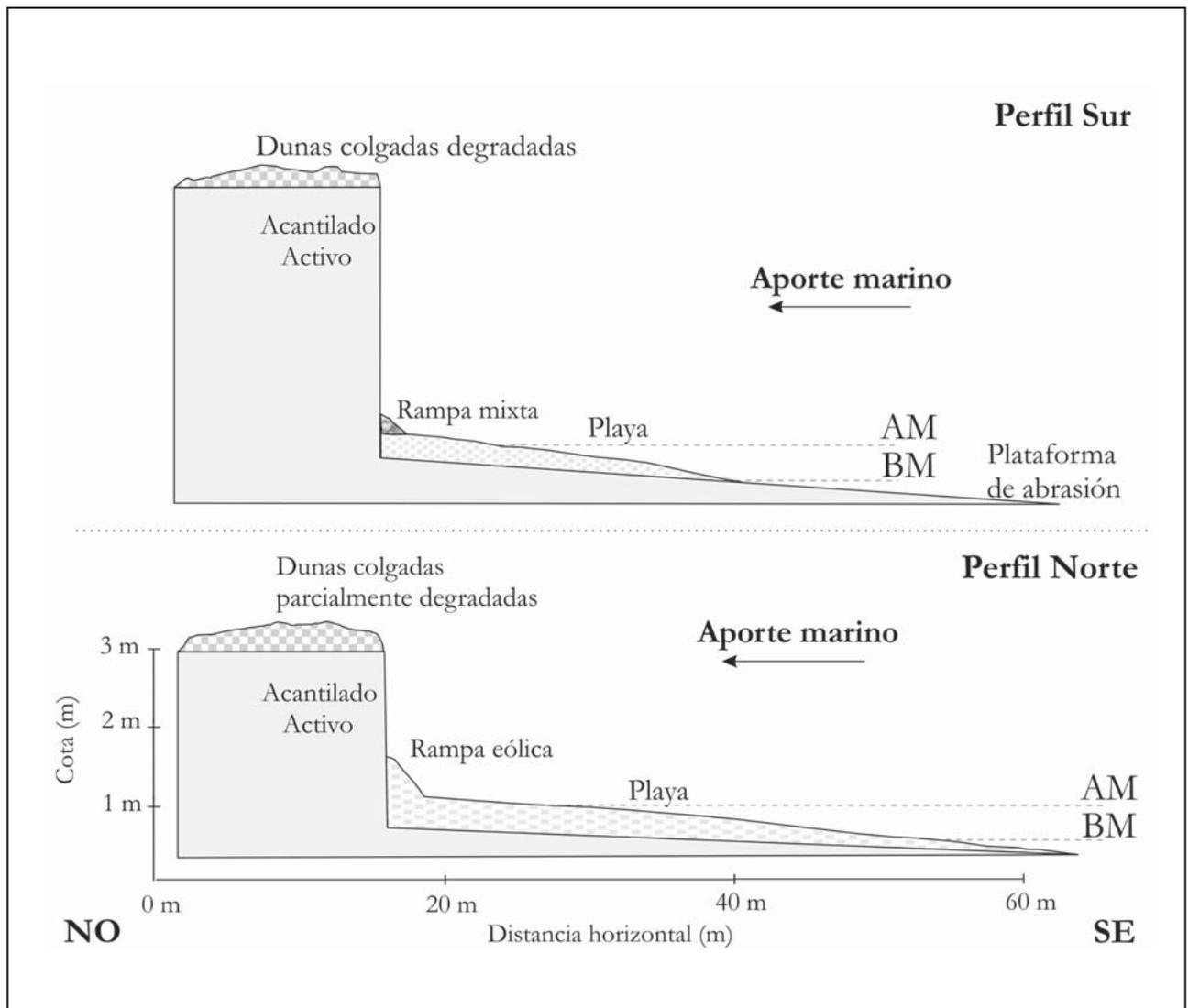


Figura 3. Modelo esquemático de perfil de costa actual sur (A) y norte (B); AM: alta marea, BM: baja marea.

y Post-Pampeanos del Pleistoceno tardío-Holoceno. Dichos niveles de mayor dureza les confieren un perfil irregular, con entrantes y salientes, por lo que es frecuente el desarrollo de cavernas en la base como consecuencia de la erosión producida por el oleaje.

Se distinguen dos modelos de costa acantilada (Figura 3): uno al sur de Santa Clara del Mar y otro al norte (ubicados en planta como perfiles de playa sur y norte en la Figura 1). El modelo sur posee acantilados que pueden alcanzar los 8 m de altura, con un amplio desarrollo de plataforma de abrasión de hasta 40 m, importante exposición al oleaje en estadios de alta marea y escaso desarrollo de rampas mixtas de poca altura. El modelo norte está representado por acantilados de poca altura (3 a 4 m), presencia de rampas eólicas de aproximadamente 1 m, sin desarrollo de plataformas de abrasión marina y con una alta exposición al oleaje sólo en estadios de mareas extraordinarias.

Las plataformas de abrasión están labradas sobre las sedimentitas limo arenosas del Pampeano, poseen surcos y canalizaciones transversales a la costa y su ancho es variable pudiendo alcanzar un máximo de 60 m (Figura 4). Su presencia es irregular e intermitente a lo largo de la costa, inmediatamente al sur de Santa Clara del Mar. Se encuentran parcialmente colonizadas por organismos marinos como mejillones (*Brachidontes rodriguessi*) y algas verdes.

La playa está compuesta de sedimentos arenosos. En los registros históricos se observa que tenía muy poco desarrollo con un ancho promedio de 20 m (Figura 2 A), mientras que en la actualidad, presenta anchos que varían entre 50 y 60 m, con desarrollo de bermas estacionales y playas frontales con pendientes altas que alcanzan los 6,5°.

El campo de dunas activo está representado en la actualidad por escasas dunas colgadas parcialmente vegetadas en el sector norte de Santa Clara. Se desarrolla a lo largo aproximadamente 300 m en una franja muy angosta con una altura promedio de 2 m. Originariamente estas dunas costeras no presentaban una morfología definida y su ancho variaba entre 60 m en el sector centro-sur hasta 200 m en el extremo noreste, extendiéndose a lo largo de 1,4 km de la costa de Santa Clara.

El modelo de costa original para esta zona, basado en la observación de datos históricos, consiste en la presencia de un acantilado activo con dunas colgadas de escaso desarrollo areal, una playa arenosa de baja pendiente y de aproximadamente 20 m de extensión sobrepuesta a una plataforma de abrasión labrada sobre sedimentos del Pampeano. La playa se caracteriza por poseer escaso desarrollo de playa distal y una amplia playa frontal.



Figura 4. Plataforma de abrasión al sur de Santa Clara del Mar.

Geomorfología Evolutiva

Las principales alteraciones sobre la dinámica natural del sistema en esta zona están dadas por el avance de la urbanización durante las últimas décadas y el desarrollo de esta localidad como centro turístico (Figura 2).

Se destaca un diseño reticulado de la urbanización (perpendicular a la costa). La superficie urbana se extendió desde la entrada a Santa Clara del Mar hacia el norte entre los años 1958 y 1975. Durante este período se llevó a cabo la canalización del arroyo Los Patos a lo largo de todo el tramo lindante a las edificaciones (aproximadamente 1.7 km), alterando su diseño original y dejando un paleocauce obturado en la localidad actual de Camet Norte.

A su vez, se delimitan nuevas manzanas y lotes en las localidades aledañas, y se lleva a cabo la forestación en el centro de Santa Clara a más de 400 m de la costa.

Actualmente, el campo de dunas colgado se encuentra totalmente degradado y vegetado debido a la construcción de viviendas y de la Avenida Costanera (Figura 5). Su ancho se ha reducido de manera considerable, alcanzando actualmente máximos de 5 a 8 m.

Defensas costeras

Los trabajos de instalación de estructuras de defensa para la preservación del área costera afectada seriamente por la erosión, comenzaron en la década de 1950. El primer espigón fue denominado Espigón de Pesca sobre la calle Necochea en 1949

y restaurado luego en 1956. Entre los años 1957 y 1971 se construyeron pequeños espigones de bloques concentrados entre la Av. del Arroyo y la Av. Río de Janeiro, donde se instalaron luego, muros de hormigón contra los acantilados. Durante la década del '60 se construyeron espigones entre las calles San Francisco y La Habana, uno de ellos constituido por bloques de cuarcita. Entre 1971-1973 se instalaron tres nuevos espigones de cuarcita a lo largo de la costa, aumentando la acumulación de arena en las playas aledañas. A partir de 1983 se restauraron y prolongaron los espigones originales y se construyeron otras dos escolleras sobre las calles Lastres y Bilbao. En la última década, se llevó a cabo la instalación de un nuevo espigón en forma de "T" a la altura de la calle Barranca de los Lobos.

En la actualidad se distinguen diversos tipos de defensa costera tanto en la zona de estudio como en sus alrededores (Figura 6). Al sur de Santa Clara del Mar, sobre las costas de las localidades de Playa Dorada, Barrio Santa Helena y Frente Mar dominan los montículos de bloques (*mounds*). Este tipo de defensa está construido con bloques de cuarcita apoyados directamente sobre un sustrato resistente (plataforma de abrasión) y dispuestos a lo largo de la costa, con el fin de conservar la base del acantilado, estabilizar su pendiente e impedir su retroceso. Los aspectos negativos de la implementación de estas defensas son que alteran el ambiente de playa natural, restringen parcialmente el espacio destinado a actividades recreativas e inhiben el aporte de sedimentos continentales a la deriva (Marcomini y López, 1993).



Figura 5. Duna colgada parcialmente vegetada y degradada por la construcción de la Av. Costanera y otras edificaciones.



Figura 6. A: Se observa un montículo de bloques dispuesto a lo largo de la costa al sur de Santa Clara del Mar; B: paredón vertical (*seawall*) contra el antiguo acantilado a la izquierda de la fotografía; C: detalle de espigón en 'T'; D: antiguo espigón de hormigón sobre la playa al frente (1) y espigón de cuarcita actual por detrás tanto en B como en D.

Sobre la costa de Santa Clara del Mar, dominan los espigones en gancho o en 'J' (se han construido 8 espigones en total) y los paredones verticales (*seawalls*). Los primeros corresponden a estructuras perpendiculares a la línea de costa que actúan principalmente interrumpiendo la deriva litoral, produciendo la acumulación de sedimentos y aumentando el ancho de playa. Se distingue además, un espigón en 'T' a la salida de la calle Barranca de los Lobos, el cual no sólo interrumpe la deriva litoral sino que también actúa como rompeolas. Este tipo de estructura produce las mejores tasas de acumulación ya que influye sobre la capacidad de transporte en sentido perpendicular y a lo largo a la costa (Marcomini y López, 1993). Si bien la instalación de espigones origina importantes recuperaciones en los volúmenes de los sedimentos de playa, el principal efecto adverso registrado durante su funcionamiento radica en una pérdida de la saturación de la deriva litoral aguas abajo (López y Marcomini, 1998). Por esta razón, es que se debe tener en cuenta un plan de manejo costero previo que indique entre otras cosas, el largo de cada espigón y la separación entre uno y otro. En este aspecto, analizando la disposición de los espigones a lo largo de la costa de esta localidad, Bunicontro (2012) estimó que por cada metro más de longitud que posea cada espigón, se pueden espaciar entre sí 4,3 m más respecto a una distancia patrón determinada, y lograr una acumulación de sedimentos similar e igualmente efectiva. Es decir, que los espigones de esta

localidad podrían estar más separados entre sí y lograr el mismo efecto (Bunicontro, 2012).

Los paredones verticales se encuentran dispuestos como revestimientos sobre los antiguos acantilados a lo largo de la costa analizada desde la Avenida del Arroyo hasta aproximadamente la calle la Florida. Estas estructuras son utilizadas para fijar la línea de costa e impedir su retroceso aunque pueden ser bastante inestables si no están sujetos a un sustrato resistente (Marcomini y López, 1993). Los aspectos negativos de implementar este tipo de medida de defensa radica en que la erosión que actuaba sobre la línea de costa es aplicada sobre los sedimentos de playa (Marcomini y López, 1993), resultando en el desarrollo de perfiles de playa más abruptos, aguas más profundas y alcance de las olas más altas, especialmente en ciclos erosivos asociados a tormentas del sudeste (López y Marcomini, 1998).

Estas modificaciones, han alterado notablemente la dinámica costera original de Santa Clara del Mar: disminuyendo el aporte de sedimentos arenosos hacia la playa por cambios en el aporte eólico (degradación y estabilización del campo de dunas colgado), marino (por disminución de aporte de arena de los acantilados debido a la construcción de paredones verticales) y fluvial (desviación y canalización de arroyos), entre otras variaciones locales.

Entre los factores regionales que regulan el aporte de sedimentos debe considerarse el desarrollo urbano de la ciudad de Mar del Plata, el cual incide en forma indirecta en el balance sedimentario de la zona litoral de Santa Clara del Mar. Las sucesivas estructuras de defensa instaladas a lo largo de la costa marplatense desde la década del '50, si bien aumentaron la acumulación localmente causaron importantes efectos erosivos deriva abajo (por subsaturación de la deriva) en las localidades ubicadas desde Camet a San Clemente del Tuyú (Marcomini y López, 1993).

Morfodinámica de playa actual

Perfil A

Se encuentra localizado entre las calles Lastres y Gijón, en la intersección con la Avenida Costanera, a unos 300 m aproximadamente de la desembocadura del arroyo Santa Elena y a unos 30 m al norte del primer espigón de defensa costera. Posee una pendiente total de $4,15^\circ$ y un ancho de playa de 67 m de los cuales 57 m pertenecen a la playa distal. La alteración antrópica del perfil de playa es intensa incluyendo la destrucción total de la duna colgada y la construcción de paredón vertical contra el frente acantilado, actualmente inactivo. El paredón se encuentra parcialmente cubierto de arena. La playa distal presenta una berma estacional mientras que la playa frontal está poco desarrollada (Figura 7) y posee una pendiente de $6,5^\circ$.

Perfil B

Se ubicó a la altura de la intersección de la calle La Florida y la Av. Costanera dentro del balneario California, ubicado entre el 5º y 6º espigón de defensa costera. Posee una pendiente general de $3,9^\circ$ y un ancho de playa total aproximado de 48 m. Este perfil también se ve alterado por la acción antropogénica debido a la destrucción de la duna colgada y a la instalación de

un paredón vertical que reviste el antiguo acantilado de casi 4 m de altura. La playa distal posee un ancho de 32,5 m y la playa frontal está poco desarrollada (Figura 7), con un ancho de 15,5 m y una pendiente de $2,6^\circ$.

Perfil C

Fue localizado a la altura de la intersección de la calle Palma de Mallorca y la Av. Costanera, entre los balnearios La Larga y Costa Corvinas, a unos 200 m de la desembocadura del arroyo Los Patos que limita con la localidad de Camet Norte. Presenta un ancho total de playa de 62 m con una pendiente general de $3,3^\circ$. El desarrollo de la playa distal es notable con un ancho que alcanza los 52 m y una pendiente de casi 3° . Se reconocen restos de dunas colgadas parcialmente degradadas, estables y vegetadas que alcanzan una altura de poco menos de 2 m y un ancho apenas mayor (Figura 7). La alteración antrópica del perfil, al igual que en los anteriores, es intensa y está asociada a la degradación de las dunas colgadas para la construcción de la Av. Costanera, los balnearios y otras edificaciones costeras. Además, se identifica la presencia de carpas y cercos de madera sobre la playa distal. El acantilado pierde expresión en este sector y no se identifica ningún revestimiento artificial. La playa frontal posee apenas 10 m de extensión y su pendiente es de $5,2^\circ$.

Perfil D

Este último presenta una altura de 3,40 m y sobre su techo se distinguen relictos del antiguo campo de dunas colgado. Las dunas estabilizadas tienen aproximadamente 0,7 m de altura. Se diferencian pilares de entre 1 y 2 m de altura sobre la playa distal, remanentes de la erosión rápida producida por la acción del oleaje.

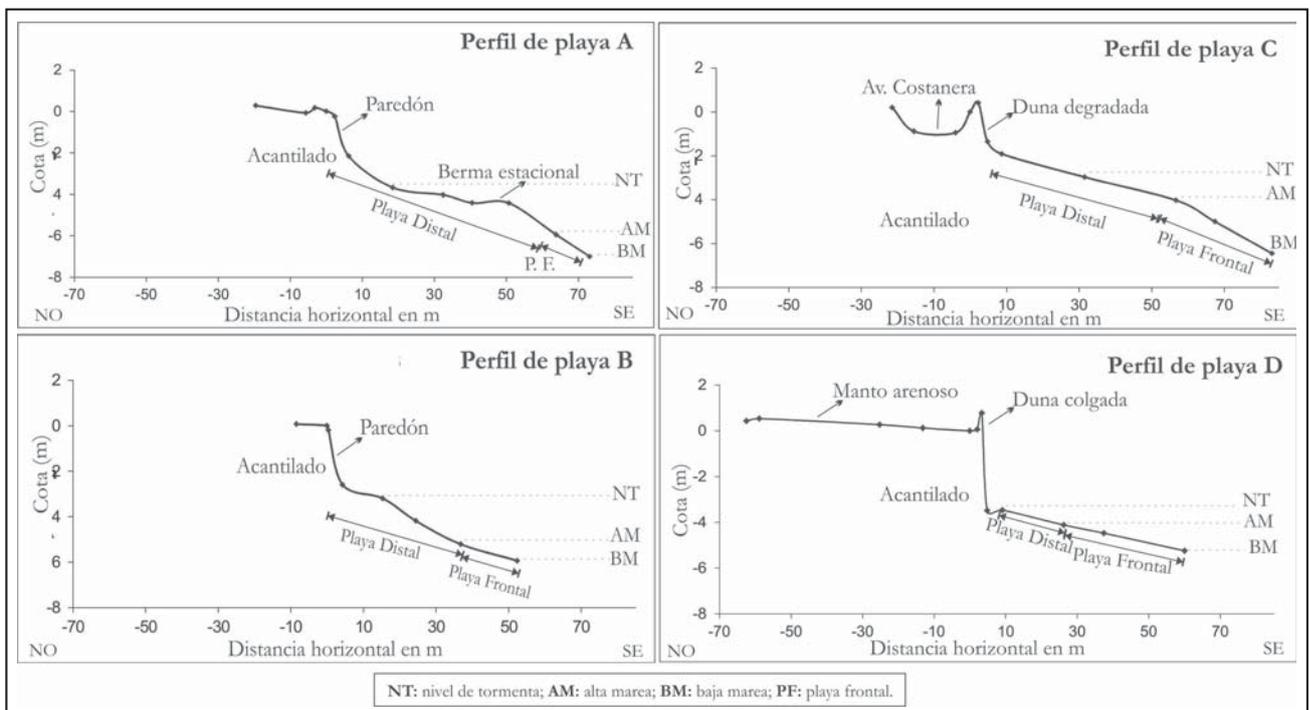


Figura 7. Perfiles de playa a igual escala a modo de comparación. Se detallan niveles de tormenta (NT), alta marea (AM), baja marea (BM), playa frontal (PF) y las direcciones de los perfiles (NO-SE).

Tabla 1. Parámetros de los perfiles de playa. Notar la influencia positiva (+) o negativa (-) de los espigones en cada perfil.

Perfil	Pendiente (°)			Ancho de playa (m)			Presencia de bermas		Tipo de costa			Defensa costera que influye en la zona de playa	
	Playa total	Playa distal	Playa frontal	Playa total	Playa distal	Playa frontal	Estables	Estacionales	Acantilada	Dunas	Acantilada con dunas colgadas	Paredón vertical	Espigón
A	4,15°	3,77°	6,5°	66,9	57,61	9,29		SI	SI			SI	SI (+)
B	3,98°	4,61°	2,67°	48,09	32,52	15,58			SI			SI	SI (+)
C	3,33°	2,95°	5,2°	62,67	51,93	10,74					SI		SI (+)
D	1,81°	1,66°	1,91°	55,19	21,38	33,81					SI		SI (-)

Hacia el norte de la localidad de Santa Clara del Mar y Camet Norte el campo de dunas colgado presenta signos de degradación. El ancho de playa está influenciado por la presencia de los espigones, los cuales retienen mayor cantidad de sedimentos hacia el sur. A pesar de que los anchos de playa total mantengan valores elevados (entre 48 y 66 m), el ancho de playa distal se modifica considerablemente en base a la influencia de las estructuras de defensa costeras: mientras que en los perfiles A, B y C los valores se ubican entre 32 y 57 m, el mismo valor cae a 21 m en el perfil D en donde la influencia de los espigones es negativa. Si bien dichas estructuras aumentan las tasas de acumulación localmente, hacia el norte (Perfil D) disminuye el ancho de playa distal y desaparece la berma estacional. Por otra parte, las pendientes de playa total disminuyen hacia el norte, pasando de 3° y 4° a menos de 2° (Tabla 1).

Estas variaciones en los anchos de playa influyen directamente en su uso como recurso turístico ya que en episodios de alta marea la gran reducción de la playa distal (playa seca) condiciona la instalación de carpas, balnearios y otras edificaciones.

Las variaciones en los anchos de playa (Figura 8) están enteramente relacionadas con la implementación de estructuras de defensa que favorecen la acumulación de sedimento al sur de acuerdo a la dirección de la deriva litoral. Es por ello que se distinguen mayores velocidades en el aumento del ancho de playa en aquellos sectores directamente ubicados bajo el radio de influencia de los espigones, que en esta zona oscila en promedio entre 100 y 150 m. La playa ha alcanzado anchos entre 70 y 130 m lo que representa valores muy por encima de los 20 m originales que se registraban para esta área costera. La tasa de avance promedio para los puntos analizados entre 1958 y 2009 es de 0,90 m/año, con máximos de 1,7 m/año al sur de los espigones. En los sectores ubicados deriva arriba de los espigones se registra un incremento del ancho de playa mucho más lento con tasas de 0,54 m/año y con anchos máximos de 50 m, que si bien no representan erosión indican una efectividad parcial de dichas estructuras (Tabla 2).

Tabla 2: Ubicación de cada punto de medición con las tasas de incremento del ancho de playa.

Punto	Ubicación	Incremento de ancho de playa (1958-2009)
1	Entre Av. del Arroyo y Málaga	0,59 m/año
2	Entre Gijón y Av. Bristol	0,54 m/año
3	Barranca de los Lobos	0,99 m/año
4	Entre San Francisco y Los Ángeles	1,70 m/año
5	Bilbao	0,84 m/año
6	Av. del Paso	0,76 m/año

Análisis del retroceso costero

La Figura 9 muestra los gráficos de retroceso costero para los perfiles nombrados de 1 a 6 de la Figura 2. En los mismos se puede observar un cambio de pendiente importante a partir del año 1975. Anteriormente al año 1975 la pendiente de la curva es mayor, lo que implica una mayor erosión costera; mientras que a partir de 1975, la pendiente de la curva disminuye, o sea se percibe una menor velocidad de retroceso. Esto marca dos períodos: uno, entre los años 1958 y 1975, donde el retroceso costero es natural, y un segundo período, entre 1975 y 2009, con menor retroceso debido a la presencia de estructuras de defensa.

El análisis de las tasas de retroceso costero natural muestra que entre los años 1958 y 1975 se registró en esta localidad un periodo erosivo importante cuya magnitud aumentaba de sur a norte desde 1,7 m/año en el punto 1 hasta 5,8 m/año en el punto 6. La zona de mayor erosión se extendía desde la calle La Habana hasta la Avenida Del Paso, alcanzando en el límite con Camet Norte un retroceso de 100 m en 17 años. El sector central de la costa presenta tasas de 2,35 m/año.

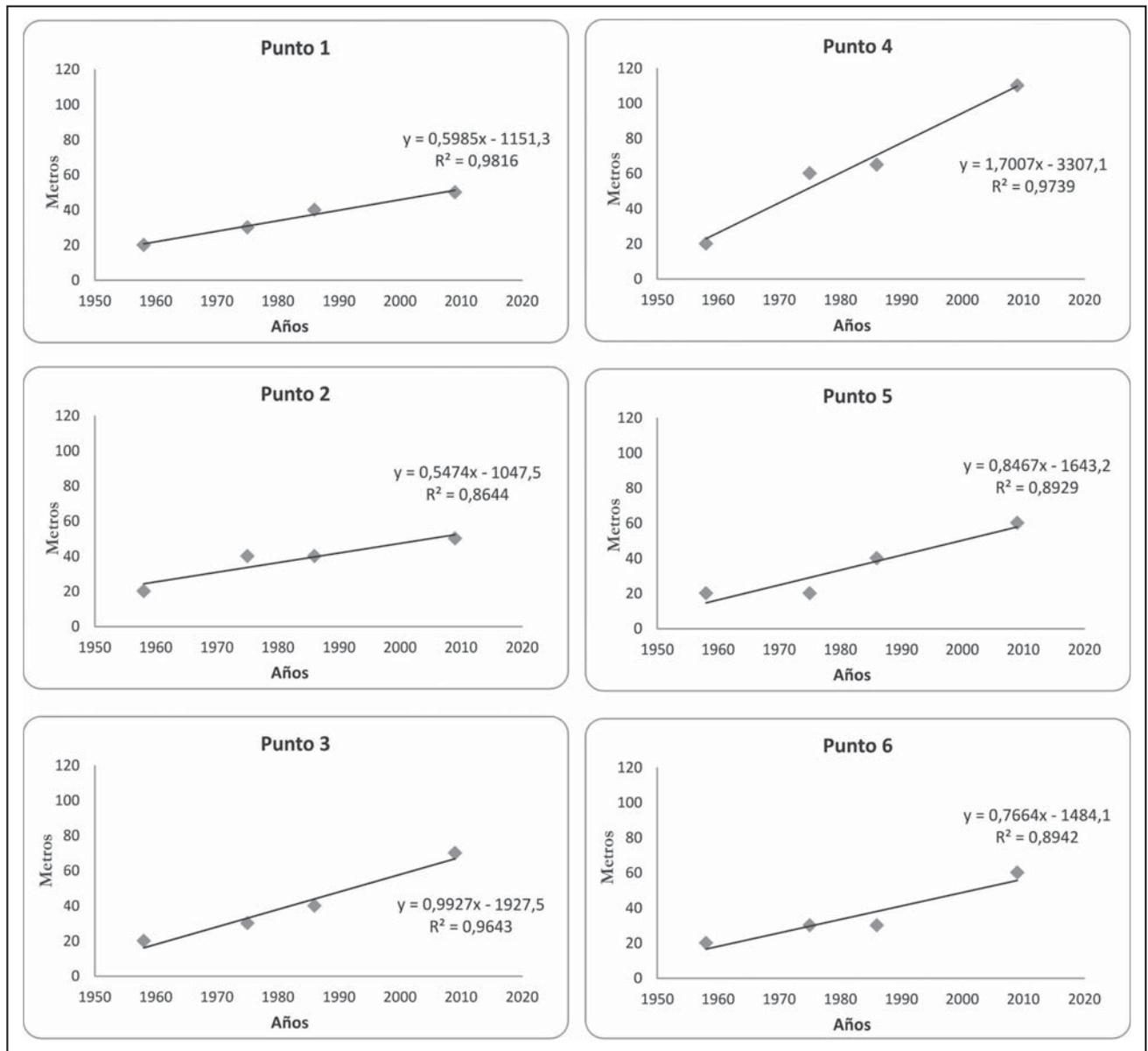


Figura 8. Curvas de regresión lineal que muestran el incremento del ancho de playa en Santa Clara del Mar obtenidas para cada punto de medición.

Con posterioridad al año 1975, las tasas de retroceso costero obtenidas no presentan cambios significativos, manteniéndose aproximadamente constantes en el tiempo (0,25 m/año). En algunos sectores (punto 1 y 3) las tasas se reducen fuertemente e incluso se detectan ligeros aumentos en las pendientes de las curvas producto del relleno y la reconstrucción del área costera para el trazado definitivo de la Avenida Costanera (Figura 9). Las tasas de retroceso entre los años 1975 y 2009 disminuyen notablemente (entre 0,09 y 0,97 m/año) producto de la instalación de las medidas de defensa, siendo nulas en los puntos 1 y 3 (Tabla 3).

En base a las tasas de retroceso históricas obtenidas entre los años 1958 y 1975 se zonifica la erosión costera en tres zonas: baja, moderada y alta erosión (Figura 10).

Tabla 3. Ubicación de cada punto de medición con las tasas de retroceso costero.

Punto	Ubicación	Retroceso (1958-1975)	Retroceso (1975-2009)
1	Entre Av. del Arroyo y Málaga	1,7 m/año	-
2	Entre Gijón y Av. Bristol	2,35 m/año	0,09 m/año
3	Barranca de los Lobos	2,35 m/año	-
4	Entre San Francisco y Los Ángeles	2,35 m/año	0,25 m/año
5	Bilbao	3,5 m/año	0,25 m/año
6	Av. del Paso	5,8 m/año	0,97 m/año

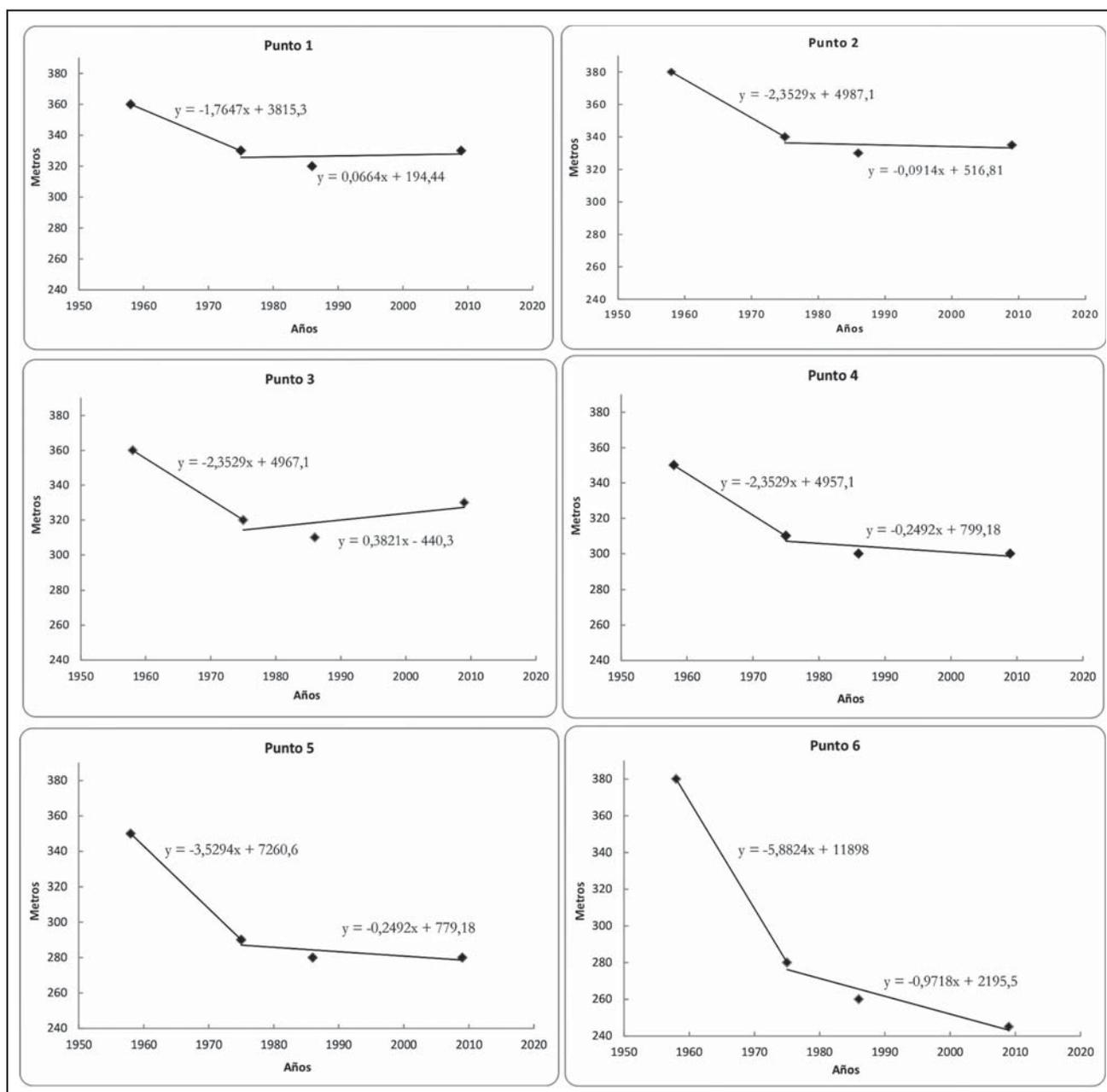


Figura 9. Curvas de regresión lineal de retroceso costero en Santa Clara del Mar obtenidos para cada punto de medición.

La zona de baja erosión (sector sur) se caracteriza por poseer velocidades de retroceso < 2 m/año. Se encuentra protegida por paredones verticales y se ubica entre la Av. del Arroyo y Lastres. La zona de erosión moderada (sector central) corresponde a un sector costero amplio con retrocesos entre 2 y 3 m/año ubicado entre las calles Lastres y La Habana. Dicho sector se encuentra protegido por los primeros espigones de defensa construidos y por los paredones verticales. Finalmente, la zona de mayor erosión (sector norte), se encuentra comprendida desde la calle La Habana hasta la calle Hipólito Irigoyen Sur en Camet Norte. Este último sector presenta velocidades de retroceso > 3 m/año, se encuentra desprovisto de cualquier tipo de defensa costera en la actualidad y bajo el efecto negativo de los espigones del sur, mientras que geomorfológicamente se encuentra asociado a la degradación casi total del campo de dunas colgado.

CONCLUSIONES

La localidad de Santa Clara del Mar ha crecido notablemente desde su inauguración en 1949, incrementando la población y la cantidad de turistas que veranean allí cada año. Es por eso que se ha vuelto de suma importancia la preservación y mantenimiento de la costa.

Como resultado del análisis geomorfológico evolutivo y la comparación de la morfología costera en los últimos 50 años se ha logrado diferenciar entre un período de retroceso natural de la costa previo al desarrollo urbanístico y un período de estabilización de la línea de costa asociado a la intervención humana. Las tasas de retroceso natural han permitido zonificar la costa de acuerdo al riesgo de erosión histórico para lograr mayor conocimiento de la dinámica original del sistema y focalizar la atención en el mantenimiento de las estructuras de defensa en aquellas zonas más vulnerables.

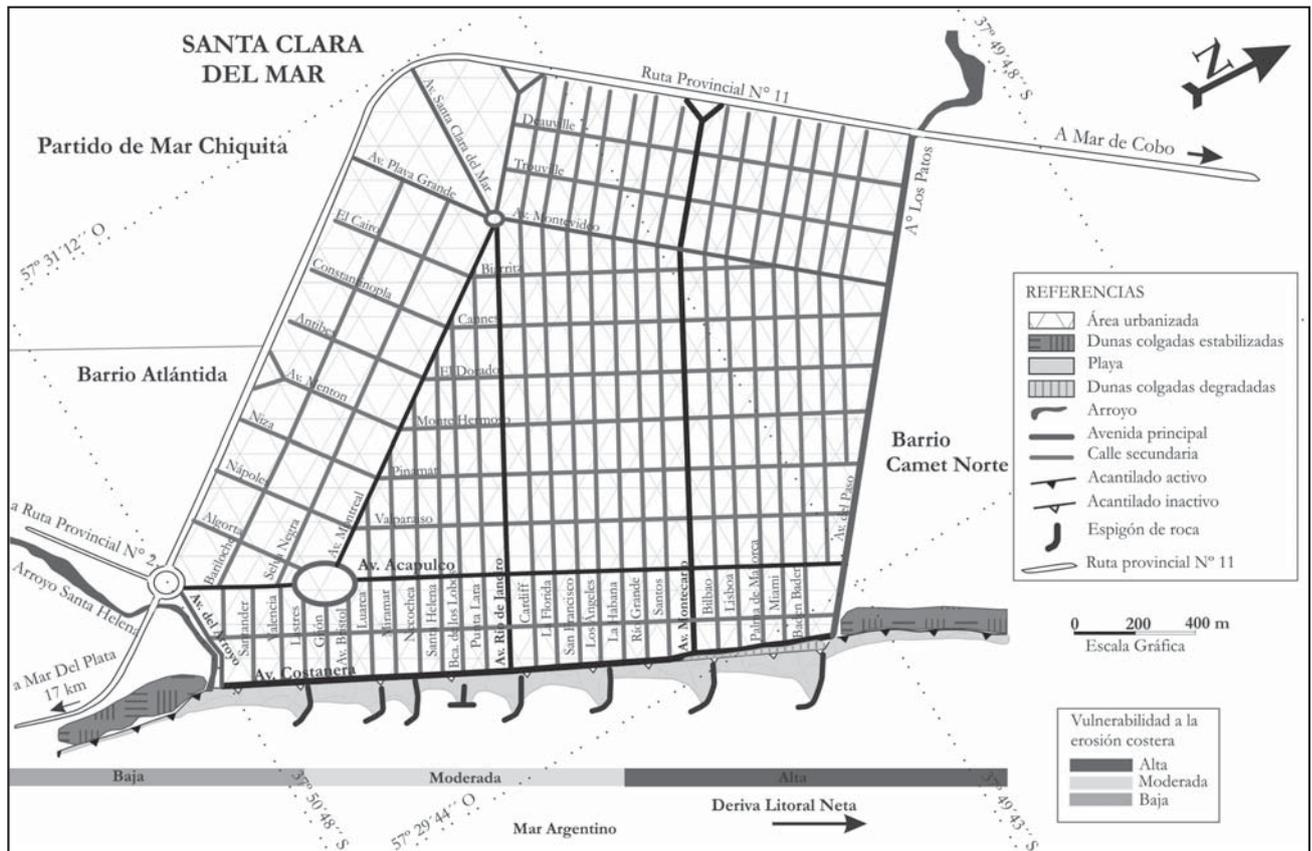


Figura 10. Mapa de zonificación de la erosión costera entre los años 1958 y 1975 para la localidad de Santa Clara del Mar y Camet Norte. Se representa la geomorfología y las obras de defensa costera al 2012 aunque debe considerarse que no existía este tipo de infraestructura durante la década de 1950.

Los resultados obtenidos demuestran la efectividad local de las medidas de defensa implementadas ya que ha sido posible estabilizar la línea de costa, minimizando el retroceso, y ha aumentado en algunos sectores la playa (un recurso costero tan importante en esta zona). Sin embargo, resulta necesario mencionar que dicha estabilización de la costa y retención local de

sedimentos por parte de los espigones en Santa Clara del Mar produce una subsaturación de la corriente de deriva litoral. Esto traslada la problemática del proceso erosivo deriva abajo, afectando directamente en este caso, a la localidad de Camet Norte que presenta una tasa de retroceso continuo de 2,15 m/año y que ha perdido más de 110 m de frente costero desde 1958.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMEGUINO, F., 1889.
Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina.
Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, VI (32): 1-1027. Buenos Aires.
- BÉRTOLA, G.R. Y CORTIZO L.C., 2005.
Transporte de arena en médanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 60: 174-184.
- BÉRTOLA, G., 2006.
Morfodinámica de playas del sudeste de la provincia de Buenos Aires (1983 a 2004).
Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología (Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis) 13 (1): 31-57.
- BIDEGAIN, J. C., OSTERRIETH, M. L., VAN VELZEN, A. J. Y RICO, Y., 2005.
Geología y registros magnéticos entre arroyo La Tapera y Santa Clara del Mar, Mar del Plata.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 60-3, pp. 599-604.
- BUNICONTRO, M. P., 2012.
Geología, dinámica costera y ordenamiento territorial en Santa Clara del Mar, municipio de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires.
Tesis Final de Licenciatura. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Inédito.

- FASANO J.L., ISLA, F. Y SCHNACK, E., 1984.
Significado paleoambiental de los depósitos del Pleistoceno Tardío de Camet Norte (Partido de Mar Chiquita, Provincia de Buenos Aires).
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 39: 244-250.
- FASANO, J., 1991.
Geología y geomorfología, Región III, Faro Querandí-Mar de Cobo, provincia de Buenos Aires.
Informe Final para la Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costanera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones – Universidad Nacional de Mar del Plata, 118 pp.
- FIDALGO, E., DE FRANCESCO, O. Y COLADO, U., 1973.
Geología superficial en la Hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (provincia de Buenos Aires).
5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 27-39.
- FIORÉ, M., D'ONOFRIO, E. E., POUSA, J. L., SCHNACK, E. J. AND BÉRTOLA, G. R., 2009.
Storm surge and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina.
Continental Shelf Research, 29, 1643-1649.
- FRENGUELLI, J., 1945.
Las diatomeas del Platense.
Revista del Museo de La Plata, 3 *Paleontología* 16:77-221.
- GUZZI, J., 2006.
Capítulo: Contaminación costera bacteriana y balneabilidad.
Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires. Eds: I. Isla y C. Lasta. EUDEM, Mar del Plata, 149-165.
- ISLA, F. I., BÉRTOLA G., ZAMORA A., FALABELLA A., PÉREZ GUZZI J., 1997.
Estudio del sector de plataforma receptor de la descarga cloacal de Camet, Mar del Plata.
Convenio entre la UNMdP y OSSE. 238 pp.
- ISLA, F. I., PÉREZ GUZZI, J., ZAMORA, A. Y FALABELLA, A., 1998.
Aportes de coliformes a la costa de Mar del Plata (Argentina) por vías naturales e inducidas.
Revista Thalassas, Universidad de Vigo y de Sgo. De Compostela, 14, 63-70.
- ISLA, F. Y CASSANELLI, A., 1999.
Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata.
Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología. Vol. 6, N° 1-2: 61-73.
- ISLA, F. I., BÉRTOLA, G. R., FARENGA, M. O. Y CORTIZO, L. C., 2001.
Variaciones antropogénicas de las playas del sudeste de Buenos Aires, Argentina.
Revista Pesquisas em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande de Sul, 28, 1, 27-35.
- ISLA F.I. 2006.
Capítulo: Erosión y defensa costeras.
Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires. Eds: I. Isla y C. Lasta. EUDEM, Mar del Plata, 125-147.
- LANFREDI, N. W., POUSA, J. L., MAZIO, C. A. AND DRAGANI, W. C., 1992.
Wave-power potential along the coast of the Province of Buenos Aires, Argentina.
Energy 17 (11):997-1006.
- LÓPEZ, R. A. Y MARCOMINI, S. C., 1998.
Manejo costero asociado a la erosión de playas en la Provincia de Buenos Aires.
X Congreso Latinoamericano de Geología: 373-377.
- LÓPEZ, R. A. Y MARCOMINI, S. C., 2000.
Geomorfología y ordenamiento territorial del sector costero comprendido entre la ciudad de Miramar y el arroyo Nutria Mansa, partido de General Alvarado.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. 55 (3): 251-264.
- LÓPEZ R. A., Y MARCOMINI S. C., 2002.
Pautas para el manejo de costas acantiladas y de dunas.
Revista Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente. 18: 59-68.
- MARCOMINI, S. C. Y LÓPEZ, R. A., 1993.
Coastal Protection Effects at Buenos Aires, Argentina.
Coastal Zone 93. Nueva Orleans. U.S.A., III: 2724-2738.
- MARCOMINI, S. C. Y LÓPEZ R. A., 1997.
Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.
Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología, vol. 4 n° 2: 79-96.
- MARCOMINI, S. C. Y LÓPEZ, R. A., 2005.
Morfodinámica costera entre Punta Florida y Costa Bonita, provincia de Buenos Aires.
XVI Congreso Geológico Argentino, III, 553-558, La Plata.

- MARCOMINI, S. C., LÓPEZ, R. A. Y SPINOGLIO, A., 2007.
 Uso de la morfología costera como geoindicador de susceptibilidad a la erosión en costas cohesivas.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. 62 (3): 396-404.
- MERLOTTO A., VERÓN, E. Y SABULA, F., 2008.
 Riesgo de erosión costera en el Balneario Parque Mar Chiquita.
Párrafos Geográficos (7) 1: 103-121.
- RIGGI, J. C., FIDALGO, F., MARTINEZ, O. Y PORRO, N., 1986.
 Geología de los sedimentos pampeanos en el área de la Plata.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. 44 (3-4): 316-333.
- RODRIGUEZ, R., CAZENAVE, G., Y GALVANI, G., 2008.
 Proyecto SIG de Estadísticas Agroclimáticas. Serie 1971-2000.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Disponible en <http://geointa.inta.gov.ar/SIGAGROC>.
 Último acceso diciembre de 2011.
- SERVICIO DE HIDROGRAFÍA NAVAL (2000 Y 2011).
 Tablas de marea.
 Disponible en http://www.hidro.gov.ar/Oceanografia/Tmareas/Form_Tmareas.asp. Último acceso diciembre de 2011.
- SCHNACK, E., FASANO, J., E ISLA, F., 1982.
 The evolution of Mar Chiquita lagoon coast, Buenos Aires province, Argentina.
In: Holocene Sea Level Fluctuations, Magnitude and Causes (Colquhoun, D.J., ed.) IGCP-INQUA, 143-155.
- SCHNACK, E., ALVAREZ, J. Y CIONCHI, J. 1983.
 El carácter erosivo de la línea de costa entre Mar Chiquita y Miramar, provincia de Buenos Aires.
Simpósio: Oscilaciones del nivel del mar durante el último hemicycle deglacial en la Argentina, Mar del Plata, Actas: 118-130p.
- SCHNACK, E. J., ISLA, F. I., DE FRANCESCO, F. O. Y FUCKS, E. E., 2005.
 Estratigrafía del cuaternario marino tardío en la Provincia de Buenos Aires.
Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata 2005. Cap X: 159-182.
- SPALLETTI, L. Y MAZZONI, M., 1979.
 Características granulométricas de arenas de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 34(1): 12-30.
- TASSARA, D. Y GARCÍA, M., 2005.
 Erosión marina, vulnerabilidad e impactos antrópicos en el sudeste bonaerense (Municipio de Mar Chiquita, Provincia de Buenos Aires, Argentina).
Revista Tiempo y Espacio. Universidad del Bio-Bio. Chile. Año 12, N° 5.
- TERUGGI, M., 1959.
 Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca.
Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas. Ministerio de Obras Públicas. Serie II N° 77. La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- ZÁRATE, M., 2005.
 El Cenozoico Tardío continental de la Provincia de Buenos Aires.
Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata, 2005. Cap IX: 139-158.



Propuesta de planificación ambiental costera del sector Bahía de los Vientos hasta Costa Bonita, provincia de Buenos Aires

Coastal environmental planning from Bahia de los Vientos to Costa Bonita, province of Buenos Aires

López de Armentia, A.M.¹ ✉ - del Río, J. L.^{1,2} - Bó, M. J.¹ - Álvarez, J. R.³ - Bazzini, S.⁴ - Alperin, M.⁵

Recibido: 28 de Julio de 2012 • Aceptado: 17 de Junio de 2013

Resumen

El presente estudio se desarrolla a lo largo de 6 km de costa, al Este del Puerto de Quequén, Partido de Necochea, provincia de Buenos Aires. En este sector históricamente se vinculan varios usos del territorio en relación con las actividades económicas dominantes, la portuaria, la navegación, la pesca y las actividades deportivas, recreativas y turísticas.

La recuperación económica iniciada en los últimos años ha impulsado el desarrollo y la expansión de actividades en el sector de playa comprendido entre la Escollera Noreste y Costa Bonita. Los sistemas implicados corresponden a las áreas marinolitoral y litoral-urbana, las cuales están sometidas a múltiples jurisdicciones derivadas de las acciones de las instituciones encargadas de su preservación, desarrollo y administración.

En este aporte se proponen zonificaciones en función de la vocación del territorio para el establecimiento de diversas actividades favoreciendo la radicación de usos compatibles del área costera desde Bahía de Los Vientos hasta Costa Bonita.

Las propuestas de sectorización se basan en el análisis de datos obtenidos de relevamientos sistemáticos efectuados en el lapso 2005-2010 en 10 perfiles. Se consideró el patrón de variación del ancho de playa (desde la línea de bajamar hasta la base del acantilado o espaldón, según correspondiese), del volumen de material sedimentario y de las características granulométricas del sedimento.

Palabras clave: *zonificación costera, planificación funcional y geodinámica, Puerto de Quequén.*

1. Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario,
Universidad Nacional de Mar del Plata.

✉ adlopez@mdp.edu.ar

2. Centro de Estudios Mar del Plata Universidad
Tecnológica Nacional.

3. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de
Buenos Aires.

4. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

5. Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata

Abstract

This study is developed along 6 km of coast, to the East of Quequén port, Necochea, province of Buenos Aires. In this area, several land uses have always been associated with dominant economic activities, such as navigation, fishing, touristic, recreational and port related activities.

The economic recovery that has taken place during the past years has increased the development and expansion of activities in the beach area between the northeastern breakwater and Costa Bonita. The systems involved correspond to the marine-littoral and littoral-urban areas. These areas are submitted to multiple jurisdictions derived from actions of institutions in charge of the area preservation, development and administration.

This paper proposes a division into zones according to the land tendency for different activities that promote the establishment of uses compatible with the coastal area from Bahía de Los Vientos to Costa Bonita.

The zonification proposals are based on information obtained from systematic surveys carried out between 2005 and 2010 in 10 profiles. Beach width (from the low tide line to the base of the cliff or shelter wall, as it corresponds), sediment volume and sediment grain size were considered as variation patterns.

Keywords: coastal zonification, functional and geodynamic planning, Port of Quequén.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio, ubicada al este de la escollera noroeste del Puerto de Quequén y Costa Bonita, Partido de Necochea, provincia de Buenos Aires, brinda soporte a actividades tan disímiles como el turismo y recreación, la agricultura, la ganadería, los desarrollos urbanos, la pesca, la disposición de efluentes y la industria portuaria, actividades que surgen en principio por el desarrollo de la ciudad de Necochea y a partir de 1911 por la construcción del puerto de Quequén. Estas actividades se caracterizan en gran medida no sólo por su importancia en la economía regional sino porque coexisten y rivalizan en un entramado territorial que se potencia en los espacios costeros.

Al momento de la construcción del puerto de Quequén la valoración que las playas tenían para el desarrollo económico y social de la zona de Necochea y Quequén difería mucho de la importancia social, económica, recreativa y ambiental que estos ambientes tienen en la actualidad.

Hoy se produce una legítima pugna por el desarrollo entre las actividades portuarias, turísticas y recreativas, hecho que ha generado preocupación y controversia social. Consecuentemente este sector costero de la provincia de Buenos Aires ha merecido en los últimos años una destacada atención tanto por parte de la comunidad científica, como de los Organismos Públicos de control ambiental y de la misma ciudadanía.

El proceso de recuperación económica iniciado en los últimos años, ha impulsado el desarrollo y la expansión de actividades en este espacio. Este proceso ha sido de tal importancia que resulta imprescindible la articulación que coordine los usos vocacionales en él desarrollados. Los sistemas implicados, en definitiva y por la imbricación natural de todos ellos, no se circunscriben sólo al área marina-litoral sino que incluyen, por lógica y directa conexión, a los del área litoral-urbana.

A esta complejidad funcional se añade la derivada de las acciones sectoriales de los poderes y jurisdicciones de las instituciones encargadas, tanto de su preservación y desarrollo, como así también de la administración portuaria, lo que implica diversidad de regímenes jurídicos, y la distribución territorial de sus efectos.

Todo territorio precisa de una ordenada distribución de las actividades en función de su capacidad de acogida o vocación de manera tal de favorecer las interacciones entre las diferentes actividades que son complementarias evitando los conflictos entre las incompatibles (Norrild, 2006).

Un objetivo de la planificación con un fundamento ambiental es, sobre la base de los condicionantes de la oferta natural, desplegar las distintas actividades preexistentes o previstas de un modo sinérgico que potencie sus beneficios y minimice los efectos negativos o mutuamente excluyentes.

En este aporte se proponen zonificaciones en función de la vocación del territorio para el establecimiento de diversas actividades favoreciendo la radicación de usos compatibles del área costera desde Bahía de los Vientos hasta Costa Bonita.

UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica entre los 38° 33' 48" y los 38° 34' 33" de latitud Sur y desde los 58° 37' 30" hasta los 58° 41' 41" de longitud Oeste. Es un sector de 6 km de playas comprendido entre Quequén (Bahía de los Vientos) y Costa Bonita, inmediatamente al Este de la localidad de Necochea, Provincia de Buenos Aires (Figura 1)

Se encuentra localizada dentro de la zona litoral del dominio fisiográfico Pampa Interserrana (Frenguelli, 1950). Con un clima subhúmedo-seco, con nulo o pequeño exceso de agua según la clasificación de Burgos y Vidal (1951) y de acuerdo con su eficiencia térmica es mesotermal "B2". La caracterización climática se tornaría subhúmeda-húmeda, mesotermal, con nula deficiencia de agua en la actualidad debido a la tendencia incremental de las precipitaciones anuales (Kruse et al., 1996, Varela y Teruggi, 2001).

Celemin (1984) considera que las ondas frontales y los centros de baja presión próximos a la costa son los fenómenos que mayor significación tienen en la generación de temporales intensos y persistentes que llegan a producir olas de gran altura. También son responsables del desarrollo de lluvias, nieblas, tormentas eléctricas y fuertes vientos, y generalmente, desembocan en fuertes temporales del SW (Pamperos) y del SE (Sudestadas).

El régimen de marea es de tipo diurno con desigualdades semidiurnas con una amplitud astronómica máxima de 1,86 m y una duración de la bajante de 6,40 horas. Estas mareas alcanzan amplitudes medias de sicigias de 1,28 m y 0,91 m en cuadraturas (Lanfredi y D'Onofrio, 1988). Considerando un ciclo de 64 años (1918-1981) de alturas horarias de marea, Lanfredi y D'Onofrio (1988) han registrado una tendencia incremental del nivel medio del mar de 1,6 mm/año.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio está localizada dentro de la zona litoral del dominio fisiográfico "Pampa Interserrana" (Frenguelli, 1950). Esta región tiene una superficie de 4.000 km², escaso gradiente y se encuentra entre los dos cordones serranos de la provincia de Buenos Aires (Sierras Australes y Sierras Septentrionales).

Uno de los perfiles geológicos más completos de esta región costera se encuentra sobre la margen izquierda del río Quequén. Este perfil comienza con sedimentitas continentales atribuidas genéricamente al Pleistoceno superior, conocido como "Pampeano". Está compuesto por limos y limos-arenosos, con presencia de paleocauces diamictíticos y potentes niveles de toscas sobre los que encuentran depósitos de conchilla correspondientes seguramente a playas de edad Holocena y depósitos estuáricos portadores de *Tagelus plebeius* en posición de vida. La edad de esta secuencia abarca de los 7.640 ± 90 a los 5.340 años antes del presente tomada sobre dataciones en C¹⁴ (Fasano et al., 1987).

Sobre estos estratos Pleistocenos se presentan depósitos de playa y estuáricos Holocenos ya mencionados y acumulación eólica y de playa actuales.

Las dunas costeras flanquean a las playas marinas en particular en la zona de acumulación que se sitúa inmediatamente al Este de la escollera Norte del puerto de Quequén. Estas dunas que se desarrollan ininterrumpidamente a lo largo de toda la zona de estudio se encuentran total o parcialmente vegetadas y en algunos lugares se encuentran separadas del ambiente de playa por el camino costero que se extiende a lo largo de la costa.

Las formas eólicas dominantes son dunas parabólicas muy erosionadas orientadas predominantemente de E-O que presentan entre 300 a 600 m de ancho, 200 a 350 m y una altura 2 a 6 m (Teruggi et al., 2001).

ANTECEDENTES

del Río et al. (2007; 2011) consideran que la remodelación de la escollera del puerto de Quequén logró por un lado mejorar la competitividad del puerto garantizando su operatividad prácticamente durante todo el año, pero por otro lado ha generado preocupación y controversia social sobre los posibles efectos negativos (en particular la inducción de la erosión costera) de la obra sobre el ambiente costero en localidades como Quequén (Bahía de los Vientos) y Costa Bonita situadas al Este del puerto.

Isla (2011) en base a los antecedentes, la información recopilada en los talleres participativos y los resultados generados en el marco del Proyecto de Diagnóstico de la Erosión Costera de la Provincia de Buenos Aires, establece, de acuerdo con la gravedad y la vulnerabilidad de la erosión, 4 zonas con distintas jerarquías de intervención (Seguimiento, Prevención, Recuperación y Corrección) en la zona costera desde el partido de la

Costa al de Patagones. En particular el área de estudio estaría comprendida en una zona de recuperación definida como zonas con presencia actual de procesos erosivos donde, sin embargo, la tendencia expansiva está localizada.

Scalise y Schnack (2007) hablan de una alteración debida en gran medida a las acciones del hombre, y por otra parte, de los procesos naturales que permiten la existencia de ciclos de erosión y acreción, que han modificado el ancho de las playas en la costa atlántica bonaerense. Asimismo, estos autores proponen aplicar una serie de medidas correctivas que consistirían en trabajos de repoblamiento de playas, similar solución es planteada por Isla (2011) para subsanar los problemas críticos de erosión que enfrentan Mar Chiquita, General Pueyrredon y Necochea.

Isla et al. (2009) mencionan que la morfología de la costa está limitada por la escasez de arena generalizada, y que según los registros de sonar, se presenta un fondo de arena fina (ondas de arena de 1 m) con saltuarios afloramientos rocosos en las cercanías del acceso al puerto. Hacia el Este, frente a Quequén, se ubicaron fajas de arena intercaladas con fondos rocosos que a mayor profundidad, se intercalan con fajas de material más grueso (arena gruesa y conchillas) conformando óndulas. Frente a Costa Bonita, el fondo es rocoso con desniveles de hasta 3 m, con fajas de arena gruesa y con óndulas sobreimpuestas. Granulométricamente, las muestras de fondo obtenidas indican para Bahía de los Vientos la presencia de arena fina de moderada selección, encontrándose en el sector del antepuerto arena un poco más fina con moderada selección. La disponibilidad de arena en la playa sumergida entre Arenas Verdes y Bahía de los Vientos es escasa. Por el contrario, abunda arena fina hacia el oeste del estuario (Isla et al., 2009).

Spinoglio et al., (2011) en base al análisis textural de las arenas de playa y a su variación a lo largo de la costa han identificado cuatro zonas asociadas al puerto de Quequén. Una zona de acumulación localizada al oeste del puerto y las zonas protegidas, de transición y de erosión al este del mismo. Los tramos con características erosivas mostraron escaso o nulo desarrollo de playa distal, mayores pendientes de playa, tamaños de grano más grueso, peor selección granulométrica y asimetrías más negativas. Los tramos acrecionales, en tanto, revelaron pendientes de playa menores, un amplio desarrollo de playa distal, tamaños de grano más finos y mejor selección.

Fernández y Bértola (2011) plantean que desde el punto de vista de la normativa ambiental, la asignación actual de usos de suelo en la ciudad de Necochea y Quequén es ineficaz siendo la principal causa de los problemas ambientales que aquejan a ambas poblaciones. Los problemas son atribuidos principalmente al permiso de edificar sobre la línea de médano sin contemplar la pérdida de valor paisajístico que las infraestructuras balnearias ocasionan.

Marcomini et al., (2007) identificaron geoindicadores de vulnerabilidad a la erosión, mediante la caracterización morfológica e hidrodinámica del área costera. Plantean que el modelo, basado en la secuencia de los estadios morfológicos del perfil costero, podrá ser empleado como un geoindicador de vulnerabilidad a la erosión costera en la planificación y manejo del área en estudio. Asimismo el modelo pone de manifiesto la importancia que ejerce el proceso eólico en la estabilidad de los acantilados y de la playa razón por la cual deberá ser tenido en consideración frente a futuros planes de manejo y urbanización.

Características de la zona costera analizada

El sector estudiado se corresponde con un sector que abarca aproximadamente 920 hectáreas de médanos vivos, médanos vegetados y/o forestados, playas, acantilados, plataformas de abrasión, praderas con vegetación arbórea y arbustiva, gramíneas, caminos y viviendas de todo tipo que conforman un sector de importante valor social, histórico, paisajístico, económico y ecológico (Fernández y Bértola, 2011).

La playa de este sector se destaca por presentar una zona de acumulación inmediatamente al ENE de la escollera Norte del Puerto Quequén y un área con rasgos cada vez más erosivos hacia el E de esta zona, como acantilados y plataformas de abrasión labrados sobre los limos entoscados Cuaternarios. En la zona de acumulación el perfil dinámico de la playa supramareal se encuentra comprendido por una extensa playa frontal y una playa distal, que articula con una duna costera poco vegetada y móvil (del Río et al., 2004). A unos 1.500 m al Este de la escollera Norte, se extiende una plataforma de abrasión de unos 700 m de largo que luego es parcialmente cubierta por sedimentos arenosos. Esta plataforma de abrasión reaparece a los 2.500 m de distancia de dicha escollera y se extiende hacia el Este por unos 1.700 m más. Los sedimentos de las playas aledañas a la escollera, muestran una importante participación de arenas finas, tanto en la playa distal como en la frontal, como respuesta a la participación del agente eólico en el transporte de sedimentos en todos los sectores de playa. En el extremo oriental de la zona de estudio, correspondiente a la localidad de Costa Bonita, la playa distal muestra habitualmente el aspecto de playa de tormenta, con acumulaciones de rodados de tormenta. Algo semejante también se revela en las playas de bolsillo situada en las entrantes de los acantilados que se desarrollan a unos 3 km de la escollera, donde los sedimentos más comunes corresponden a una granulometría gruesa (del Río et al., 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el año 2011 se continuó con los estudios de monitoreo iniciados en el 2005 (del Río et al., 2011b), llevándose a cabo relevamientos sistemáticos para poder evaluar los ciclos estacionales del sector de playa comprendido entre la Escollera Norte y Costa Bonita situada a 6 km al NE.

Para la realización de la sectorización funcional de la zona de estudio se utilizó la zonificación geodinámica previamente realizada por del Río et al. (2011b). Las 4 unidades ambientales diferenciadas responden cada una a un espacio o tramo costero donde existen distintas condiciones sedimentarias predominantes tales que de oeste a este determinan principalmente sedimentación, transporte o erosión.

Los relevamientos se han centrado en la determinación del ancho de playa distal y frontal en condiciones de bajamar, el levantamiento de 10 perfiles de playa (Figura 1) desde la orilla (tratando de desarrollar los relevamientos poco antes de la estoa de marea, momento en el que el nivel permanece fijo en la pleamar o en la bajamar, y el inicio de la creciente) hasta la base del acantilado o pie de duna, según correspondiese, en la determinación de los cambios volumétricos de material sedimentario durante este lapso como así también el muestreo de material sedimentario.

El método de determinación de los volúmenes consistió en calcular la superficie de erosión/depositación determinado en un plano vertical entre dos perfiles relevados en tiempos sucesivos y multiplicarla por un área de influencia que está definida por el polígono conformado por el espaldón de la playa o la base del acantilado y la zona de swash y backwash (lavado y retrolavado) de la ola incidente (o la plataforma de abrasión) y la mitad de la distancia entre dos perfiles contiguos. El método utilizado es semejante al aplicado por Colado et al. (1987) y Marcomini y López (1999). El análisis de la evolución temporal de los cambios de volumen de sedimentos de los perfiles para el periodo mencionado consistió en: a) explorar la existencia de tendencias calculando las rectas que mejor ajustan a cada serie con el método de mínimos cuadrados y b) evaluar la presencia de una componente estacional con ANOVA (del Río et al., 2011a).

Se compararon los patrones de variación entre perfiles sucesivos con el coeficiente de correlación de Pearson (del Río et al., 2011b).

RESULTADOS

Las características del medio natural suelen ser condicionantes de los usos del suelo de un territorio (Mc Harg, 2000), motivo por el cual la zonificación funcional propuesta se basa esencialmente en una sectorización geodinámica (Figura 2).

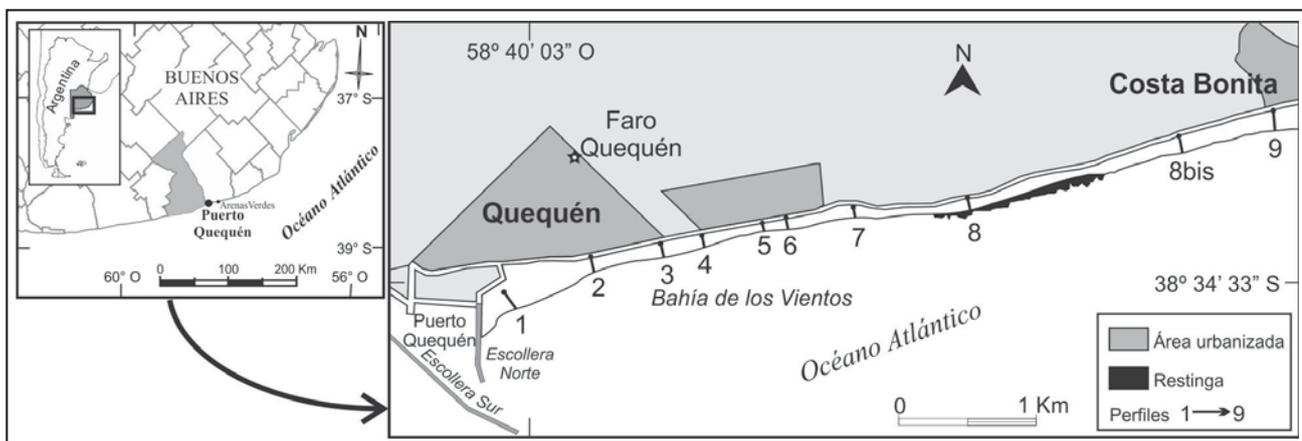


Figura 1. Mapa de ubicación.

En el periodo en el cual se han desarrollado los estudios de monitoreo, se ha observado un comportamiento de la dinámica de playa de mayor diversidad y complejidad que la mera agudización de un proceso de erosión de playa y costero en la zona situada al Este de la escollera.

Los relevamientos periódicos realizados y apoyados en datos preexistentes indican que los cambios en el ancho de la playa son diferentes en todos los perfiles (*del Río et al., 2009, 2011b*).

Por otro lado si bien no se perciben variaciones con un patrón estacional, ocurren variaciones de perfil en perfil que difieren en magnitud y en carácter. Sólo en el perfil 1, el más cercano a la escollera (Figura 1), hay evidencias estadísticamente consistentes de un aumento del ancho de playa en el periodo considerado. Los restantes perfiles relevados no muestran tendencias definitivas (*del Río et al. 2011b*).

En base al cálculo de volúmenes de material sedimentario, para toda el área de estudio, se ha podido establecer que los mayores valores de acumulación, de mayor a menor, se registraron en los años 2007, 2008 y 2005 (Valores del orden de los 7.000.000 a los 5.000.000 m³). Por otro lado, tanto el año 2006 como el 2009 registraron saldos negativos (533.530,19 m³ y 83.315,85 m³, respectivamente). El trimestre otoñal es el que ha mostrado las mayores pérdidas de arena en todo el sector

analizado y que, en contraposición, corresponde al verano las mayores acumulaciones de sedimentos (*del Río et al. 2010*).

Es destacable remarcar que desde el punto de vista granulométrico, las playas de los perfiles extremos 1 y 9 presentan un aspecto muy contrastante. En efecto, en la primera hay una importante participación de arenas finas tanto en la playa distal como en la frontal como respuesta a la participación del agente eólico en el transporte de sedimentos en todos los sectores de playa.

Es decir que en el sector más próximo a la escollera la participación eólica en los procesos es más significativo mientras que en el extremo oriental de la zona de estudio dominan las olas en condiciones de alta energía.

Sectorización Funcional

A través del tiempo, sobre la base de las condiciones dinámicas costeras mencionadas, se han cimentado distintos tipos de uso del territorio costero, donde cada uno posee condiciones particulares como recurso territorial turístico básico. Características, que sin ser desnaturalizadas, pueden ser dinamizadas incrementando su potencialidad teniendo en cuenta, además de los procesos geodinámicos dominantes, la accesibilidad, el equipamiento y las áreas ya presentes con sus usos determinados. Considerando estos conceptos se propone los ocho sectores funcionales (Figura 3).

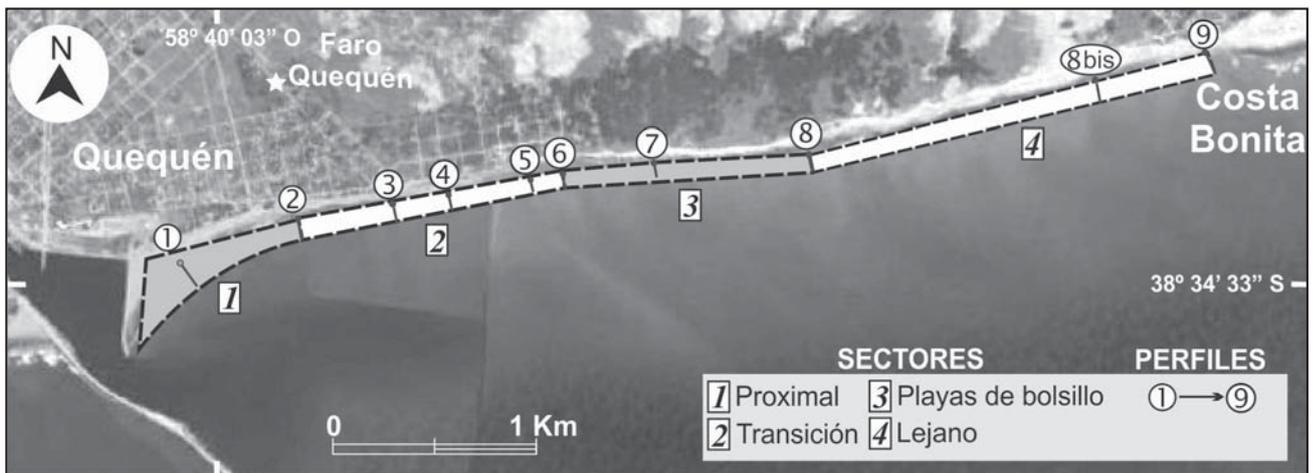


Figura 2. Sectorización geodinámica (*del Río et al., 2011b*).

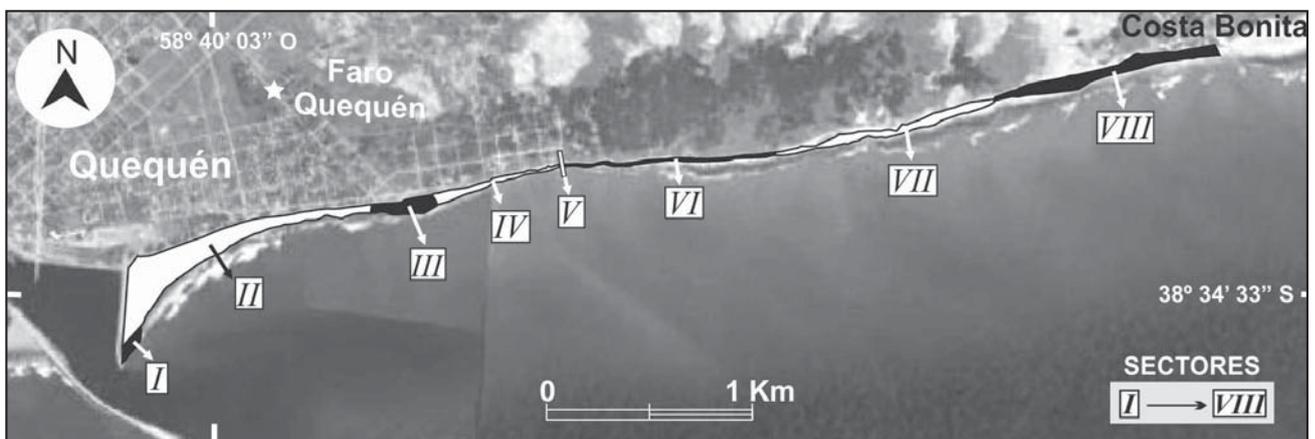


Figura 3. Sectorización funcional

Sector I

En ese sector se ha verificado que por efecto de una contra deriva litoral parcial proveniente norte y la difracción de las olas en la escollera sur se produce una importante acumulación de arenas que genera complicaciones para el sostenimiento lateral del canal de acceso al puerto, que potencialmente obligan a mayores esfuerzos de dragado. Estas arenas que colmatan la posición más extrema del perfil 1 (Figura 3) podrían ser destinadas a la alimentación de otras playas del sector de estudio (Figura 4) en lugar de ser dragadas y dispuestas fuera de la zona costera.

Sector II

Este sector corresponde al área donde se ha verificado un incremento sostenido de la longitud de playa y procesos depositacionales de arenas medianas y finas (Figura 3). Corresponde de algún modo al tramo comprendido entre la escollera noreste y la posición intermedia entre los perfiles 2 y 3. Por estas características y el uso del ambiente ya establecido o vocacional, es que este sector se ha orientado a la explotación de la

costa como recurso turístico de sol y playa (Figura 5a y 5b). En el mismo las actividades recomendables son aquellas vinculadas con la instalación de balnearios y accesos públicos para el uso recreativo del ambiente de playa.

Sector III

Es el sector comprendido entre la línea equidistante entre el perfil 2 y 3; y entre este último y el perfil 4. Esta zona se caracteriza por una importante dinámica de los perfiles de playa y la presencia constante de una plataforma de abrasión expuesta en bajamar (Figura 3). Este es uno de los sectores donde tradicionalmente se ha visto un intenso uso deportivo orientado a distintas actividades relacionadas al uso de las olas, aunque con alto predominio del surfing (Figura 6a). La presencia de un acantilado de poca altura, que opera como un escenario natural ha permitido que la actividad deportiva acuática goce de un punto panorámico favoreciendo el desarrollo de espectáculos o eventos deportivos (Figura 6b). Por tales motivos consideramos que el sector III debería estar especialmente destinado a este tipo de actividades (Figura 6).

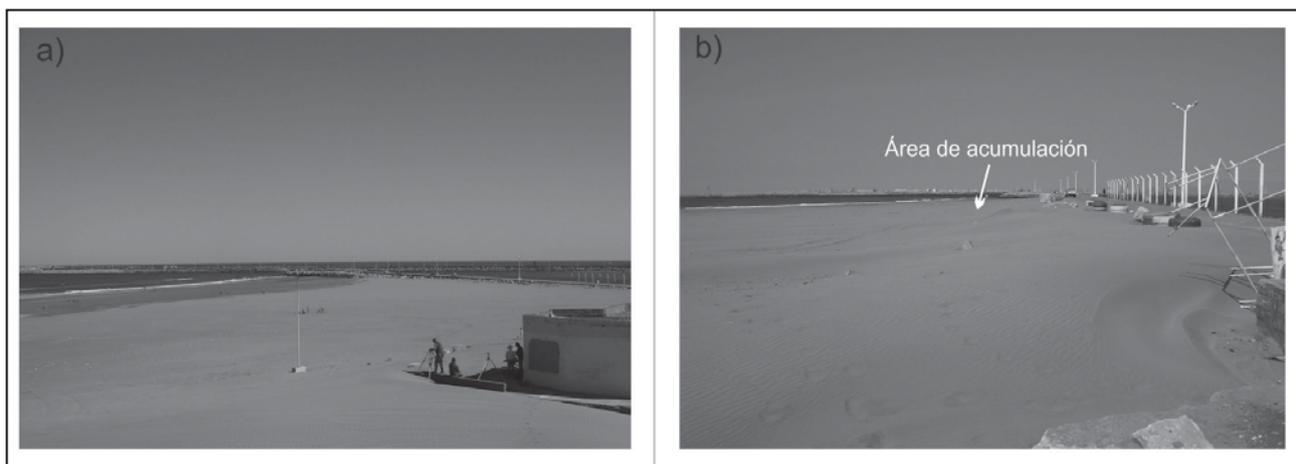


Figura 4. Playa característica del Sector I: a) Vista panorámica desde Perfil 1 y b) Zona de acumulación de sedimentos.

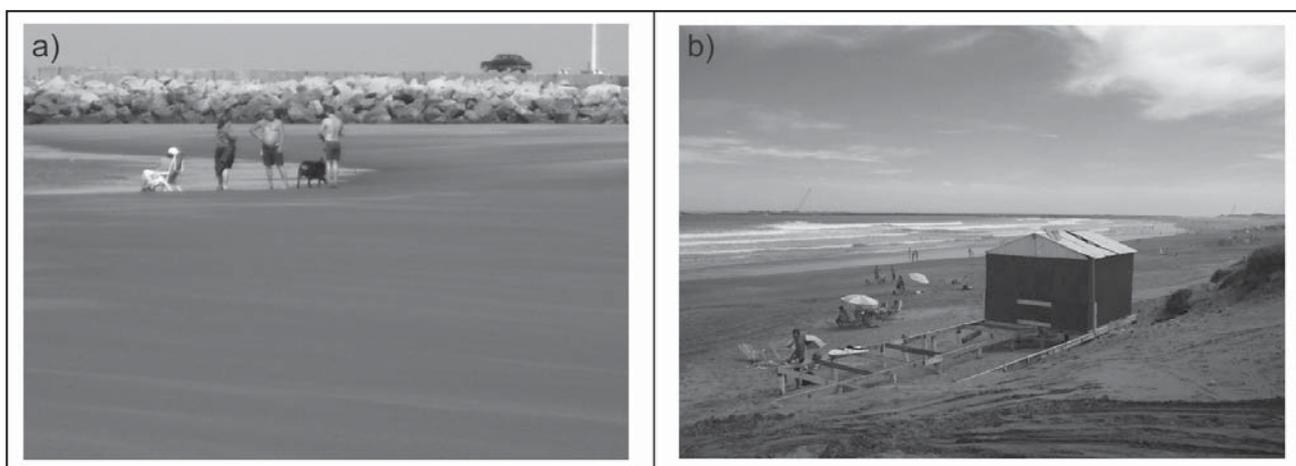


Figura 5. Sector destinado al uso balneario: a) Perfil 1, b) Perfil 2.

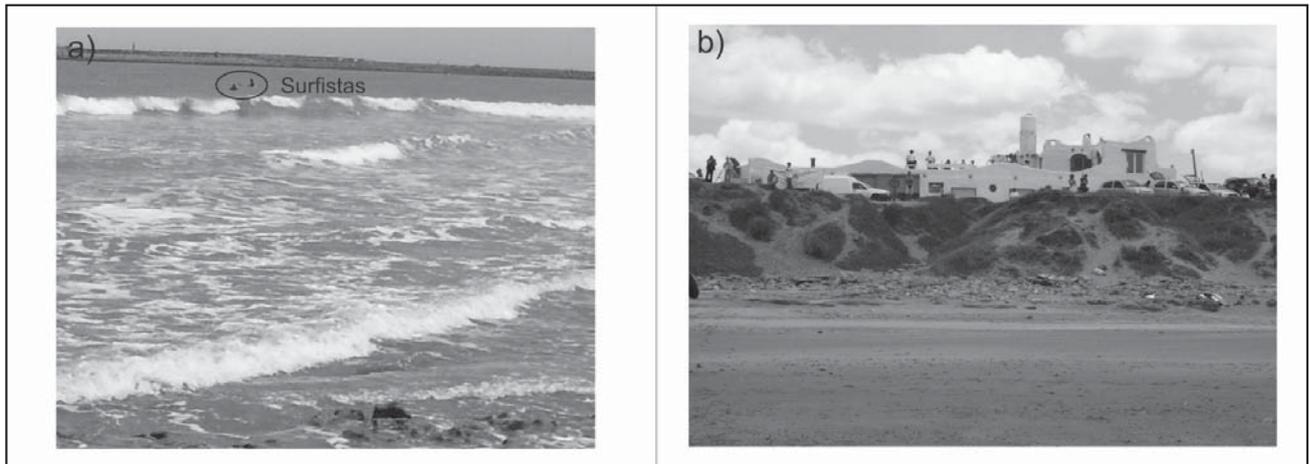


Figura 6. Características del sector costero y actividades relacionadas al uso deportivo: a) Surfistas, b) Vista hacia el acantilado.

Sector IV

Corresponde al tramo comprendido entre la línea equidistante entre el perfil 3 y 4 y desde esta línea hasta la posición del perfil 6 (Figura 3). Este sector está dominado por una fuerte dinámica del perfil de playa, con transporte de arenas tanto lateral como *onshore - offshore*. Este comportamiento tiene como resultado directo que las playas en este tramo sean en general expuestas sólo durante el hemisiciclo de bajar mar como se ha constatado en un gran número de relevamientos. Es decir que estas playas relativamente cortas, y a veces ausentes, sólo son utilizables parcialmente a lo largo de un día. Consideramos que esta restricción de uso es en gran medida minimizable mediante la alimentación de playa con arenas excedentarias depositadas en el perfil 1.

Aprovechando los accesos a la playa realizados para las obras de protección del pie de acantilado (pedraplen, Figura 7a y b, c y d), es posible realizar una alimentación estacional, sincrónica con el inicio del ciclo estival, mediante la extracción y transporte de las arenas que colmatan la posición más extrema del perfil 1.

De aplicarse este modelo de gestión de playas, extracción de excedentes en el sector I y alimentación de playas en el sector IV, se obtendría un efecto sinérgico positivo en la estabilización de playas de los sectores II y III.

Las playas generadas con estos materiales (granulométricamente más finos) no serían seguramente permanentes y requerirían un proceso continuo de alimentación para sostener su nueva condición. La nueva playa tendería a tener una menor pendiente y dada su extensión, relativamente corta, podría ser adecuada para receptor equipamientos específicos que garanticen la accesibilidad universal (discapacitados motrices, personas de tercera edad, etc.) a la playa y al mar.

Sector V

Este sector corresponde únicamente a una alineación coincidente con el perfil 6, es decir con la calle 561. Es el punto de quiebre entre dos sectores geodinámicamente importantes como son la zona de transición y el inicio de las playas de bolsillo y acantilados.

Corresponde al sector afectado fundamentalmente por la difracción de las olas en la escollera Sur (Figura 2). Caracteri-

zado por una gran variabilidad tanto en la extensión de las playas, como en el balance erosión-depositación.

El sector V es un área de uso frecuente por parte de pescadores deportivos, los cuales realizan sus actividades directamente desde la playa (Figura 8). Esta actividad podría ser potenciada con equipamientos específicos, como por ejemplo un muelle de pesca. Esta propuesta generaría un nuevo foco de atención y de atracción para el turismo interesado en esta actividad toda vez que su eventual construcción conlleve al desarrollo de los equipamientos adecuados desde una perspectiva de seguridad y sanitaria. Sin embargo su viabilidad deberá ser estudios y análisis específicos y particulares a nivel proyectual.

Sector VI

Este sector se extiende desde el perfil 6, a lo largo de la continuación del camino costero, hasta un punto equidistante o cercano a la zona del perfil 8 (área de descarga cloacal, Figura 3). Las playas tienen abundante presencia de material pefítico (Perfiles 7 y 8), son de pequeño desarrollo, con porciones distales muy pobremente desarrolladas o ausentes, y con amplio desarrollo de plataformas de abrasión.

En este tramo la primera intervención propuesta es inducir a la regeneración de la duna colgada, que fuera obliterada para la construcción del camino costero, mediante una primera etapa de aporte de arenas y relleno de la traza situada en la porción cuspidal de los acantilados. La eliminación de esa duna ha permitido el desarrollo, concurrente con la acción marina, de fenómenos de escurrimiento superficial canalizado, con el desarrollo de cárcavas que potencian los fenómenos de retroceso del acantilado (Figura 9a, b, c y d). Es decir que a nuestro juicio el camino costero es inductor antrópico de la erosión costera en este tramo. Por tanto la recuperación de la duna sería un inhibidor de este fenómeno.

Para la realización de esta acción se debería efectuar la apertura de un nuevo camino más interior (quizás en continuidad de las calles 504 ó 506). La nueva traza de este camino deberá ser motivo de un estudio particular para que no se pierda la conectividad entre Bahía de los Vientos y Costa Bonita.

El material a utilizar, en primer término, serían las arenas voladoras que complican el mantenimiento de las calles de la ciudad de Necochea y en parte material acumulado sobre el veril oriental del canal de acceso al puerto en las proximidades del sector del perfil 1.

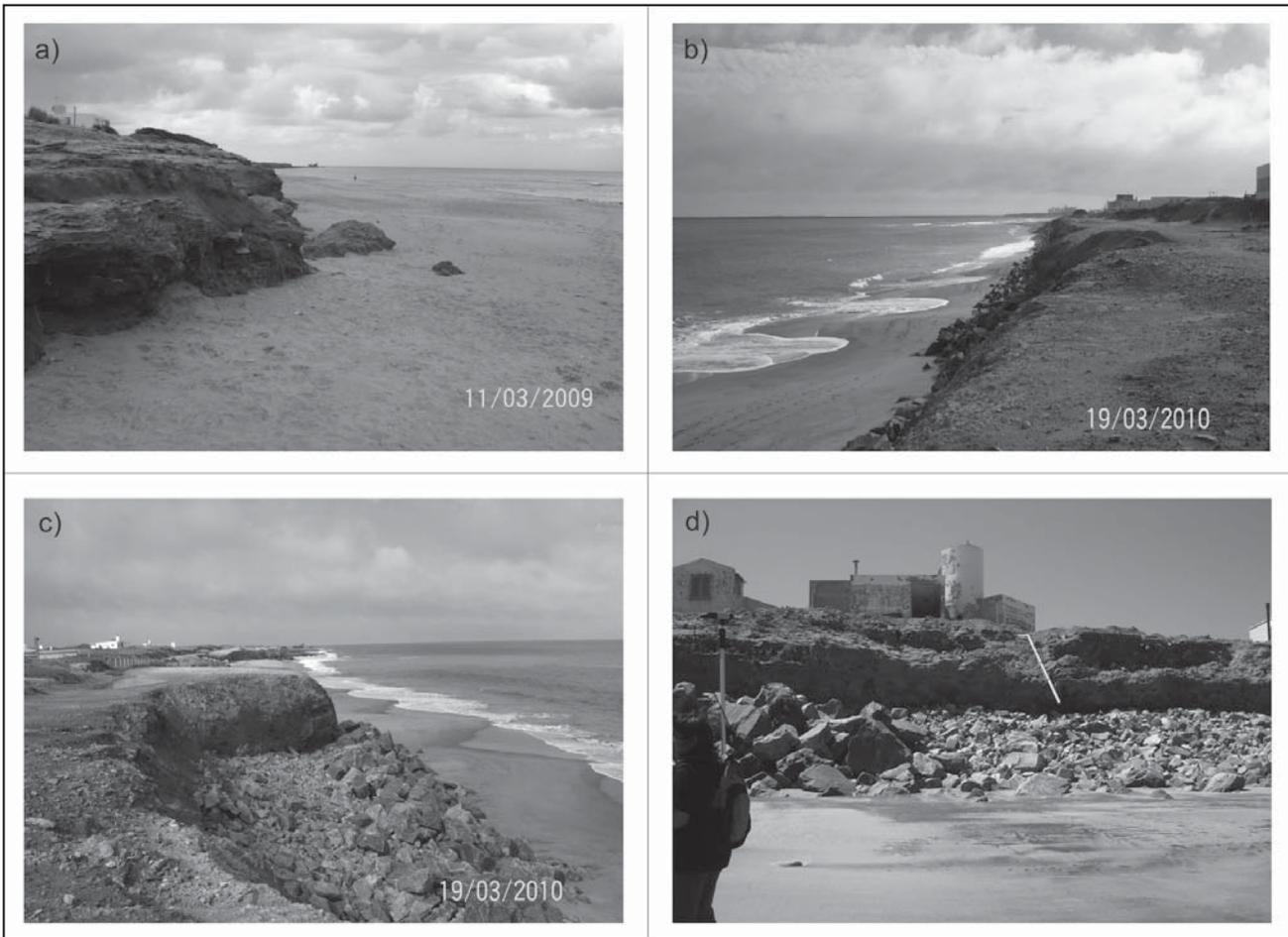


Figura 7. Vista de la costa y la playa: a) antes de la construcción del pedraplén, b) Vista del pedraplén desde el Perfil 6, c) Pedraplen en Perfil 5, d) Vista hacia el pedraplén y acantilado en Perfil 5.



Figura 8. Características y usos del sector costero V (Pesca deportiva).



Figura 9. Cárcavas que potencian el retroceso del acantilado: a) y b) Cárcavas en camino costero entre perfiles 7 y 8, c) Perfil 7, d) Acantilado y media caña en las proximidades del Perfil 7.

Sector VII

Este sector costero corresponde al tramo acantilado con playas arenosas, estables, bien desarrolladas, con fuerte presencia de rodados de playa en la porción distal, en general son estables y con presencia de plataformas de abrasión (Figura 2).

Se inicia en el ámbito que rodea la descarga cloacal de la ciudad de Necochea (Figura 3). *Tablado et al. (1994)* explican que la red colectora, por la cual circulan los efluentes producidos en Necochea y Quequén, vuelca los líquidos cloacales sobre la plataforma de abrasión que queda expuesta en cada bajamar (Figura 10a, b y c). Dado que según estos autores "*No existe ninguna planta de tratamiento sino simplemente una estación de bombeo ubicada dentro del casco urbano...*" indican que las alteraciones detectadas en las comunidades biológicas costeras se podrían revertir realizando un tratamiento a los efluentes cloacales con el objeto de disminuir su contenido de materia orgánica y descargando los efluentes a través de una cañería submarina que desemboque lejos de la costa y de la superficie del océano. Las actividades recreativas deportivas y de cualquier tipo que

puedan exponer a la población a potenciales contaminantes deben estar taxativamente prohibidas en este sector (Figura 10d).

Por tal motivo la eliminación de parte del camino costero implicaría además una acción de restricción costera o inhibición de uso, ya que reduciría el acceso a esta zona de posible riesgo sanitario.

Sector VIII

Esta zona, donde se encuentran los perfiles 8 bis y 9, presenta una playa distal con típico aspecto de playa de tormenta, donde además de los sedimentos objeto de muestreo se destacan las importantes acumulaciones de material pefítico (> 2 mm), conocidas como rodados de tormenta (*del Río et al., 2010*).

En esta zona sería altamente recomendable continuar con las tareas de reconstrucción de dunas ya comenzado por el municipio en Costa Bonita (Figuras 3 y 11) lo que permitiría una recomposición de la dinámica de este sector.



Figura 10. Descarga cloacal: a) Descarga cloacal sobre plataforma de abrasión, b) Detalle de la cañería de descarga de efluentes, c) Aves marinas alimentándose en la zona de descarga y d) Restos depositadas en la playa del Perfil 8.



Figura 11. Pantalla de vegetación para reconstrucción de dunas en Costa Bonita.

CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado, en el lapso considerado, tanto estacional como espacialmente, se ha podido detectar el comportamiento sinérgico de la zona costera del sector de estudio, y teniendo en cuenta los componentes ambientales y socioeconómicos, en ella insertos, ha sido posible proponer un accionar no sólo para la conservación de los espacios naturales o su recuperación, sino también para el desarrollo de las actividades turísticas y recreativas actualmente presentes en ella.

La sectorización funcional ha permitido comprender que las actividades que se desarrollan en el sector, se verían optimizadas tanto desde el punto de vista del espacio recreativo y turístico, como de la seguridad y protección sanitaria.

Esta propuesta de zonificación del territorio, tiene en cuenta el uso actual y el tipo de manejo, así como las actividades socioeconómicas predominantes, los centros poblados insertos en el área y sus vinculaciones territoriales funcionales.

Como en toda región de múltiples usos, es necesario establecer directrices y lineamientos que permitan garantizar una

adecuada actuación dentro del dominio público terrestre de la zona costera, por lo que esta sectorización no solo apunta a la protección y recuperación de las playas, como espacios con altos valores ambientales, sino también a la optimización de su uso de un modo más sustentable, con fines recreativos y socio-culturales vinculados a ella.

Sería recomendable a fin de potenciar esta propuesta de sectorización, realizar una evaluación de la capacidad de carga del territorio y desarrollar índices e indicadores para monitorear y asegurar la conservación de los recursos que sustentan las actividades hoy presentes, asegurando la calidad de vida y el desarrollo económico de la sociedad local.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los profesionales y las autoridades del Consorcio de Puerto Quequén por las facilidades aportadas y la autorización para utilizar y publicar los datos emergentes del contrato de asistencia técnica con la UNMDP.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BURGOS J.J. y A.L. VIDAL, 1951.

Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite, en *Meteoros: Revista de Meteorología y Geofísica del Servicio Meteorológico Nacional*, n° 1: 3-32.

CELEMIN, A.H., 1984.

Meteorología Práctica.

Edit. del Autor. 313 pp.

COLADO U.R., DEL RÍO J.L., GAIDO E. y C. WAGNER, 1987.

Dinámica sedimentaria de la zona de la desembocadura del Río Negro.

Informe inédito para el Ministerio de Recursos Naturales de la Prov. de Río Negro. 53pp.

DEL RÍO J.L., LÓPEZ DE ARMENTIA A., ÁLVAREZ J.R., BÓ M.J., MARTÍNEZ ARCA J. y M. CAMINO, 2004.

Erosión costera por inducción antrópica en Quequén-Costa Bonita, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Actas del IV Congreso Uruguayo de Geología - II Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial*, en CD.

DEL RÍO J.L., ALPERÍN M., ÁLVAREZ J.R., LÓPEZ DE ARMENTIA A., BÓ M.J. y M. CAMINO, 2007.

Variación temporal del ancho de playa en la costa de Quequén.

Actas 2º Seminario Internacional, Desarrollo costero sustentable. UTN-Orion, Resumen en CD.

DEL RÍO J.L., LÓPEZ DE ARMENTIA A., BÓ M.J., ALVAREZ J., ALPERIN M., BAZZINI S. y M. CAMINO, 2010.

Auditoria Geoambiental y Monitoreo Sistemático Estacional de las playas de Quequén, Prov. de Buenos Aires. *Informe Inédito. Consorcio de Gestión del Puerto Quequén – UNMDP. pp 213.*

DEL RÍO J.L., LÓPEZ DE ARMENTIA A., BÓ M.J., ALVAREZ J., ALPERIN M. y S. BAZZINI, 2011a.

Análisis estacional de las playas de Quequén, Provincia de Buenos Aires.

In: Leanza, Franchini, Impiccini, Pettinari, Sigismondi, Pons y Tunik. (Eds). Actas del XVIII Congreso Geológico Argentino: 267-268.

DEL RÍO J.L., ALPERIN M., BÓ M.J., LÓPEZ DE ARMENTIA A., ALVAREZ J., CAMINO M. y S. BAZZINI, 2011b.

Cambios inducidos por obras portuarias en ambientes de playa, Quequén Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev. Geol. Apl. Ing. Amb. N° 26: 53 - 62.*

FASANO J.L., ISLA F.I., MOOK W.G. y O. VAN DE PLASSCHE, 1987.

Máximo transgresivo postglacial de 7.000 años en Quequén, Provincia de Buenos Aires.

Rev. Asoc. Geol. Arg. XLII(3-4): 475-477.

FERNÁNDEZ, J.M. y G.R. BÉRTOLA, 2011.

Evolución de la línea de costa y de la urbanización entre Quequén y Costa Bonita.

Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 8. N° 15. ISSN 1668-5180 Resistencia, Chaco. Publicado en formato digital en: <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default.htm>.

FRENGUELLI J., 1950.

Rasgos generales de la morfología y geología de la Provincia de Buenos Aires,

LEMIT, Serie 2 (33): 1-72.

- ISLA F.I., BÉRTOLA G., MERLOTTO A., FERRANTE A. Y L. CORTIZO, 2009.
Requerimientos y disponibilidad de arenas para la defensa de las playas de Necochea y Lobería.
Rev. Asoc. Geol. Argent. 65 (3): 446- 456.
- ISLA, F.I., 2011.
Zonificación y plan de acción.
Disponibile en: <http://www.erosioncoasterapba.com.ar/plan-estrategico/zonificacion-y-plan-de-accion.pdf> último acceso 6 de Julio de 2012.
- KRUSE E., ROJO A. Y P. LAURENCENA, 1996.
Escenarios geoambientales en la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires.
En: *Caracterización ambiental de la provincia de Buenos Aires. C.I.C. La Plata, Año II, 15: 13-31.*
- LANFREDI N.W. AND E.E. D'ONOFRIO, 1988.
Variations of the mean sea level in the southwest Atlantic Ocean.
Continental Shelf Res. 3: 1211-1220.
- MARCOMINI, S. C. Y R. A. LÓPEZ, 1999.
Alteración de la dinámica costera por efecto de la explotación de arena de playa, partidos de General Alvarado y Lobería, provincia de Buenos Aires.
Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología. 6(1-2): 1 - 18.
- MARCOMINI S., LÓPEZ R. Y A. SPINOGLIO, 2007.
Uso de la Morfología Costera como Geoindicador de Susceptibilidad a la Erosión en Costas Cohesivas, Necochea, Buenos Aires.
Rev. Asoc. Geol. Argent. 62(3):396-404.
- NORRILD, J. A., 2006.
Planificación territorial del turismo. Salvador Antón Clavé y Francesc González Reverté (coordinadores).
Editorial UOC, Barcelona, España. 216 pp.
- SCALISE, A. H. Y E. J. SCHNACK, 2007.
Estudio para la recuperación y manejo de playas del litoral atlántico bonaerense.
Informe inédito, Consejo Federal de Inversiones, 218 pp.
- SPINOGLIO, B. A., MARCOMINI, S. C. Y R. A. LÓPEZ, 2011.
Caracterización textural de arenas de playa y espaldón, y su relación con la hidrodinámica costera, Necochea-Quequén, Provincia de Buenos Aires.
XVIII Congreso Geológico Argentino Actas: 307-308. Neuquén.
- TABLADO, A., LÓPEZ GAPPA, J.J. Y N.H. MAGALDI, 1994.
Growth of the pulmonate limpet *Siphonaria lessona* (Blainville) in a rocky intertidal area affected by sewage pollution.
Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 175: 211-226.
- TERUGGI L.B., DEL RÍO J.L., MARTÍNEZ G.A. Y E. M. TOMÁS, 2001.
Geomorfología e composizione tessiturale delle dune costier del sud-est della provincia di Buenos Aires, Argentina.
GeoSed 2001. Riunione del Gruppo Informale di Sedimentologia del CNR. 92-95.
- VARELA L.B. Y L.B. TERUGGI, 2001.
Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires.
In Teruggi L. (Ed) *Manejo Integral de Cuencas Hidrográfica y Planificación Territorial. Relieve, Mar del Plata, pp 19-29.*



Avaliação do terreno em cartografia geotécnica expedita para planejamento urbano: exemplo de ilha Solteira (Brasil)

Terrain evaluation in fast engineering geological mapping for urban planning: example in Ilha Solteira (Brazil)

de Lollo, José Augusto ¹ ✉ - Mendonça dos Santos, Franciane ² - Suman Curti, Juliano ³

Recibido: 18 de Junio de 2012 • Aceptado: 24 de Junio de 2013

Resumen

El conocimiento de las condiciones del medio es fundamental para la planificación urbana. Más recientemente instrumentos legales han sido propuestos por el gobierno brasileño para ordenar la planificación para las áreas urbanas visando proyectos urbanos más apropiados a los condicionantes geológicos y la reducción de daños debidos a desastres naturales. La Cartografía del Medio es la alternativa más viable para el levantamiento y representación espacial de tales informaciones, sea para previsión de comportamiento sea para identificación de impactos y riesgos en situaciones variadas, pero su aplicación por veces representa altos costes, en particular cuando los datos fundamentales acerca del medio (suelos, rocas, relieve, aguas y uso del suelo) no tienen calidad pertinente. El uso de la técnica de evaluación del terreno ha se mostrado eficiente para el levantamiento de las condiciones de ocurrencia de rocas e suelos. La aplicación de la técnica en la de expansión urbana de Ilha Solteira (en la escala 1:10.000) resultó una carta preliminar eficaz para identificar los condicionantes de los principales problemas existentes en el área, especialmente ocurrencia de erosión e colapso de suelos.

Palabras-clave: Cartografía Geotécnica, Planificación Urbana, Formas de relieve, Ilha Solteira.

Resumo

O conhecimento das condições do meio físico é fundamental para o planejamento urbano. Mais recentemente instrumentos legais têm sido propostos pelo governo brasileiro para disciplinar o planejamento para as áreas urbanas visando melhor adequação dos projetos urbanos aos condicionantes geológicos e redução de danos decorrentes de desastres naturais. A Cartografia Geotécnica é a alternativa mais viável para o levantamento e representação espacial de tais informações, tanto para previsão de comportamento como para identificação de impactos e riscos em situações variadas, mas sua aplicação por vezes representa altos custos na elaboração de tais estudos, em particular quando os dados fundamentais acerca do meio (solos, rochas, relevo, águas e uso do solo) não têm qualidade apropriada. O uso da técnica de avaliação do

1. Professor Titular, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP.

✉ lolloja@dec.feis.unesp.br

2. Mestranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, Alameda Bahia, 550, CEP 15.385-000, Ilha Solteira - SP, Brasil.

3. Aluno, Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, Alameda Bahia, 550, CEP 15.385-000, Ilha Solteira - SP, Brasil.

terreno como mecanismo preliminar de caracterização do meio físico tem se mostrado eficiente para o levantamento das condições de ocorrência do substrato rochoso e de materiais inconsolidados. A aplicação da técnica na área de expansão urbana de Ilha Solteira (na escala 1:10.000) resultou um zoneamento preliminar do meio físico eficaz para identificar os condicionantes dos principais problemas geotécnicos existentes na área, especialmente ocorrência de materiais inconsolidados colapsíveis e erodíveis.

Palavras chaves: Cartografia Geotécnica, Planejamento Urbano, Formas de Relevo, Ilha Solteira.

Abstract

Urban planning requires knowing the conditions of the environment. Legal instruments have recently been proposed by the Brazilian government to control the planning of urban areas in order to better integrate the urban projects to the geological conditions and to reduce the damage ensuing from natural disasters. Engineering Geological Mapping is the most viable alternative for the survey and spatial distribution of such information, in order to predict behavior as well as to identify impacts and risks in various situations. However, its application can represent high costs when such studies are prepared, particularly when the key data about the environment (soil, rocks, relief, water and land use) do not have suitable quality. The use of the terrain evaluation as a preliminary mechanism to characterize the physical environment has proven to be effective to survey the conditions of occurrence of bedrock and unconsolidated materials. The application of the technique in the urban expansion area of Ilha Solteira (scale of 1:10.000) resulted in a preliminary zoning of the physical environment that was effective to identify the determinants of the main geotechnical problems in the area, especially the occurrence of collapsible and erodible materials.

Keywords: Engineering Geological Maps, Urban Planning, Landforms, Ilha Solteira.

INTRODUÇÃO

A importância do conhecimento das condições do meio físico (solos, rochas, águas superficiais e subterrâneas) para o planejamento urbano é matéria consagrada na literatura científica por todo o mundo e considerada na legislação brasileira que trata dos projetos de parcelamento do solo desde a década de 30.

Mais recentemente instrumentos legais têm sido propostos pelo governo brasileiro para disciplinar o planejamento para as áreas urbanas como a Medida Provisória 547/2011 (*Brasil, 2011*), que “institui o cadastro nacional de municípios com áreas propícias à ocorrência de escorregamentos de grande impacto ou processos geológicos correlatos” e define que os municípios devem “elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo urbano”.

A Cartografia Geotécnica é a alternativa mais viável para o levantamento e representação espacial de tais informações, tanto para previsão de comportamento como para identificação de impactos e riscos em situações variadas. Podem ser citados exemplos de levantamento e avaliação de atributos para o planejamento regional e urbano em locais onde se disponha das informações necessárias para tais análises, como *Martin-Duque et. al. (2003)*, *Rodrigues e Lollo (2007)*, *Hadmoko et. al. (2010)*, e *Mendes e Lorandi (2010)*.

Desde o início do uso da técnica da elaboração de trabalhos de cartografia geotécnica seus executores têm a preocupação de tornar ágeis as atividades de levantamentos e definição de unidades do meio físico. O conhecimento geomorfológico permitiu o desenvolvimento de um processo de análise viável para tal finalidade.

O uso de formas de relevo (*landforms*) para uma caracterização preliminar das condições do meio físico com vistas à

avaliação de propostas de implantação de obras de engenharia teve seu início na década de 1940.

Os trabalhos pioneiros se concentravam no uso desta ferramenta exclusivamente para a avaliação de condições de implantação de obras lineares (estradas principalmente). Apenas a partir da década de 1970 estes trabalhos passaram a ser efetuados abrangendo maiores áreas e com uma preocupação de avaliação regional das condições do meio físico, visando o planejamento regional da ocupação do meio físico.

A técnica tem sido bastante usada no Brasil para a avaliação regional das condições do meio físico, havendo poucas tentativas de aplicação da mesma para levantamentos de áreas urbanas e de expansão urbana, mesmo sabendo-se que a técnica apresenta imenso potencial de aplicação nesta área já que permite que se efetuem levantamentos preliminares ágeis e eficazes das condições do meio físico, pressuposto básico para a aplicação de qualquer processo de avaliação de ocupação destas áreas.

A principal razão para a adoção da técnica em escala urbana é a falta de informações prévias do meio físico, o que pode significar altos custos na elaboração dos estudos, em particular quando os dados fundamentais do meio (solos, rochas, relevo, águas e uso do solo) não se encontram disponíveis ou não estão devidamente atualizados.

A técnica de avaliação do terreno, conforme sistematizada por *Lollo (1996)* e *Griffiths e Stokes (2008)*, reúne as condições para permitir o zoneamento e caracterização das unidades do meio físico com baixos custos e rapidez, além de fornecer as informações para amostragem orientada dos materiais para estudo de seu comportamento.

No presente artigo a técnica foi aplicada na área urbana e de expansão urbana de Ilha Solteira (Estado de São Paulo, Brasil) uma cidade, que a exemplo de tantas outras cidades brasileiras, teve a instalação de seu núcleo urbano inicial e sua

posterior expansão realizada sem a devida consideração dos condicionantes naturais.

Com o objetivo de apresentar as informações básicas para que se possam avaliar as condições de ocorrência de solos na área de expansão urbana do município de forma a planejar adequadamente a ocupação, foi elaborada uma Carta de Elementos de Terreno (escala 1:10.000), com base na técnica de avaliação do terreno e em resultados de levantamentos de campo e consulta a boletins de sondagem a percussão (Processo FAPESP 2012/07842-4).

A TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO TERRENO

A técnica de avaliação do terreno é que a mesma se baseia no reconhecimento, interpretação e análise de feições do relevo (denominadas landforms) considerando que as mesmas, por serem reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, devem refletir as condições dos mesmos.

Os primeiros trabalhos de aplicação de landforms como critério de descrição regional se devem a *Herberson (1905, apud Grant, 1970)* e *Fenneman (1916, apud Grant, 1970)*, porém, a primeira discussão do uso destes elementos para o zoneamento regional se deve a *Bourne (1931)*. A interligação entre os elementos da paisagem e as condições de solos e rochas e, como consequência, as condições geotécnicas se deve a *Belcher (1942a; 1942b; e 1943)*.

Após estes trabalhos, foram desenvolvidos estudos visando à utilização de fotografias aéreas para a identificação de landforms e sua aplicação em projetos de engenharia civil, como em *Belcher et al (1943)*, *Belcher (1946)*, *Jenkins et al. (1946)* e *Hittle (1949)*.

A partir do início da década de 50, houve uma proliferação de trabalhos desta natureza cujo principal enfoque era a elaboração, a partir de fotos aéreas, de mapas utilizados para o zoneamento geral multifinalidade de determinada área, como nos trabalhos de *Miles (1951)*, *Mintzer e Frost (1952)*, *Christian e Stewart (1953)*, *Beckett e Webster (1962)* e *Miles (1962)*. Deste ponto em diante a técnica de popularizou por todo o mundo passando a ser utilizada para diversas finalidades de avaliação das condições do meio físico para implantação de obras civis.

A técnica baseia-se na possibilidade de dividir a área estudada em parcelas, em função de sua uniformidade fisiográfica, partindo-se do pressuposto que estas feições do relevo (landforms) são o reflexo do conjunto de processos de dinâmica externa atuantes no passado e no tempo atual, condicionando não só sua forma, mas também os materiais nela presentes. O procedimento usual envolve a interpretação de fotografias aéreas, podendo-se aplicar a técnica lançando-se mão unicamente de trabalhos de campo, porém esta última opção significa longos trabalhos de campo, sendo, portanto pouco utilizada, a não ser que o trabalho envolva área de dimensões reduzidas.

De acordo com as dimensões que o landform analisado apresenta e com o enfoque que se pretende dar à análise, são usados três níveis hierárquicos: sistema de terreno (land system); unidade de terreno (land unit); e elemento de terreno (land element).

Maior dentre os níveis hierárquicos de landform, o sistema de terreno corresponde a uma associação de formas de relevo e é delimitado por trabalhos de aerofotointerpretação (sistemática de reconhecimento e identificação de características

dos terrenos), visando um reconhecimento das grandes expressões geomorfológicas observadas.

A unidade de terreno corresponde a uma forma individual que compõe um sistema, sendo reconhecida em trabalhos de aerofotoanálise (reconhecimento e delimitação de feições em padrões ou unidades).

O elemento de terreno corresponde a uma parcela da unidade de terreno, e sua delimitação é feita a partir da técnica de aerofotodedução (associação das informações coletadas com o conhecimento do intérprete sobre o terreno e os materiais nele presentes).

A etapa de trabalhos de campo objetiva a verificação dos resultados obtidos da interpretação das fotos aéreas, de forma a proporcionar maior precisão ao zoneamento estabelecido e possibilitar as atividades de generalização. Consiste do levantamento de seções-tipo dos landforms identificados, nas quais se busca uma caracterização dos materiais existentes bem como de sua variabilidade vertical e lateral, permitindo uma identificação de condições de materiais que sejam típicas dos landforms identificados.

A caracterização geotécnica dos materiais presentes nos landforms de dá através do uso de informações anteriores e de ensaios de campo e laboratório, com uma amostragem orientada às áreas-chave selecionadas previamente ou a locais onde tenham sido levantadas as seções-tipo das unidades. Esta relação entre áreas-chave, seções-tipo e amostragem proporciona as bases para as interpolações ou extrapolações que são posteriormente efetuadas.

Descrições pormenorizadas do histórico e evolução da técnica de avaliação do terreno, bem como de seus mecanismos, podem ser encontradas em *Aitchison e Grant (1968)*, *Edwards (1982)*, *Cooke e Doornkamp (1990)*, *Zuquette (1991)*, e *Lollo (1996)*.

As aplicações efetuadas em escala regional permitem a avaliação de qualquer tipo de finalidade de uso proposto para a área estudada, porém, em função das dimensões das áreas (normalmente da ordem de centenas de quilômetros quadrados) e do tipo de produto de sensores remotos comumente utilizados (fotos aéreas em escala 1:60.000), a aplicação da avaliação do terreno fica restrita a, no máximo, o nível hierárquico unidade de terreno.

Isto faz com que trabalhos desta natureza apenas permitam uma avaliação preliminar quando se trata de analisar projetos ou obras específicos, uma vez que as áreas abrangidas por estas propostas de ocupação são extensas. O resultado de aplicações com estas características (escala regional) é um mapa (ou conjunto de mapas) onde se apresenta as formas de relevo presentes e os materiais a elas associados, acompanhados de um texto ou quadro síntese das unidades.

Os problemas relacionados à escala fazem com que, neste caso, a análise de propostas específicas de uso ou zoneamento ambiental só seja possível com a realização de extensos levantamentos locais complementares, os quais podem ainda lançar mão do uso da técnica de avaliação do terreno, porém partindo-se do uso de produtos de sensores remotos em maiores escalas. Alguns exemplos deste tipo de aplicação no *Brasil* são *Souza (1992)*, *Collares (1994)*, *Saraiva (1994)*, *Collares (1995a e 1995b)*, *Aguilar (1996)*, e *Lollo (1996)*.

Nas aplicações em áreas urbanas ou de expansão urbana além da necessidade de utilização de produtos de sensores

remotos em maiores escalas (as mais utilizadas têm sido 1:25.000, 1:20.000, e 1:10.000) os estudos também são mais aprofundados, em virtude de se efetuar o zoneamento das áreas estudadas até o nível hierárquico elemento de terreno.

O maior detalhe requerido por este tipo de análise (seja na etapa de fotointerpretação seja na etapa de trabalhos de campo) proporciona a produção de mapas mais completos (do ponto de vista da qualidade da informação apresentada) permitindo análises de propostas de implantação de projetos e obras locais.

Exemplos deste tipo de aplicação podem ser encontrados em *Ávila et. al. (1985)* e *Zuquette et. al. (1992)*, onde, os autores apresentam, a par das finalidades diferentes para as quais cada trabalho foi apresentado, informações bastante completas não só dos landforms presentes, mas, principalmente, análises de condições de ocupação mais adequadas para as áreas parceladas.

ÁREA ESTUDADA

O fato da ocupação inicial da área urbana da cidade de Ilha Solteira ter se dado, na década de 60, em função da necessidade de instalação dos trabalhadores responsáveis pela construção da U.H.E. de Ilha Solteira, se constituindo portanto num provisório (já que o núcleo urbano deveria atender exclusivamente às necessidades da obra e ser posteriormente desativado), fez com que as análises para este início de implantação se dessem de forma superficial.

Porém o desenvolvimento das atividades comercial e agropecuária, aliadas à fundação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista criaram condições para que a cidade crescesse e se desenvolvesse de forma a se tornar um núcleo urbano definitivo.

Apesar desta transformação, a cidade continuou, durante todo este período, com um modelo de crescimento que é característico dos núcleos urbanos brasileiros, sem a devida

consideração das condições do meio físico de interesse para um correto planejamento urbano. Este crescimento consolidou-se (do ponto de vista administrativo) no ano de 1991 com a emancipação política da cidade, vindo a constituir o atual município de Ilha Solteira. A localização da área estudada pode ser observada na Figura 1.

A elevação da cidade à categoria de município resultou significativa expansão de sua área urbana e trouxe consigo a necessidade de construção de diversas obras de infraestrutura, atividades estas desenvolvidas sem as devidas considerações das condições naturais envolvidas no processo.

A cidade de Ilha Solteira (SP), bem como grande parte das regiões oeste e centro do Estado de São Paulo, está situada num contexto geológico da Bacia do Paraná que compreende a presença de unidades estratigráficas do Grupo Bauru e de Coberturas Cenozóicas indiferenciadas, compostos por litologias que quando intemperizadas apresentam a tendência de desenvolvimento de solos arenosos finos de grande porosidade, com potencial de desenvolvimento de processos erosivos e de colapso de solos.

A ocorrência destes solos no município tem ocasionado, ao longo dos anos, grandes despesas com obras de recuperação de residências e imóveis comerciais danificados por processos de recalques em elementos de fundação, processos estes que poderiam ter sido evitados caso os projetos de fundações tivessem levado em conta as características dos solos.

Com o objetivo de apresentar as informações básicas para que se possam avaliar as condições de ocorrência de solos na área de expansão urbana do município e que, a partir destas informações, o poder público possa planejar adequadamente a ocupação destas áreas de expansão, foi realizado o presente trabalho, cujo objetivo foi levantar as informações de interesse e representá-las na forma de mapa e relatório das condições de ocorrência de solos na área considerada.

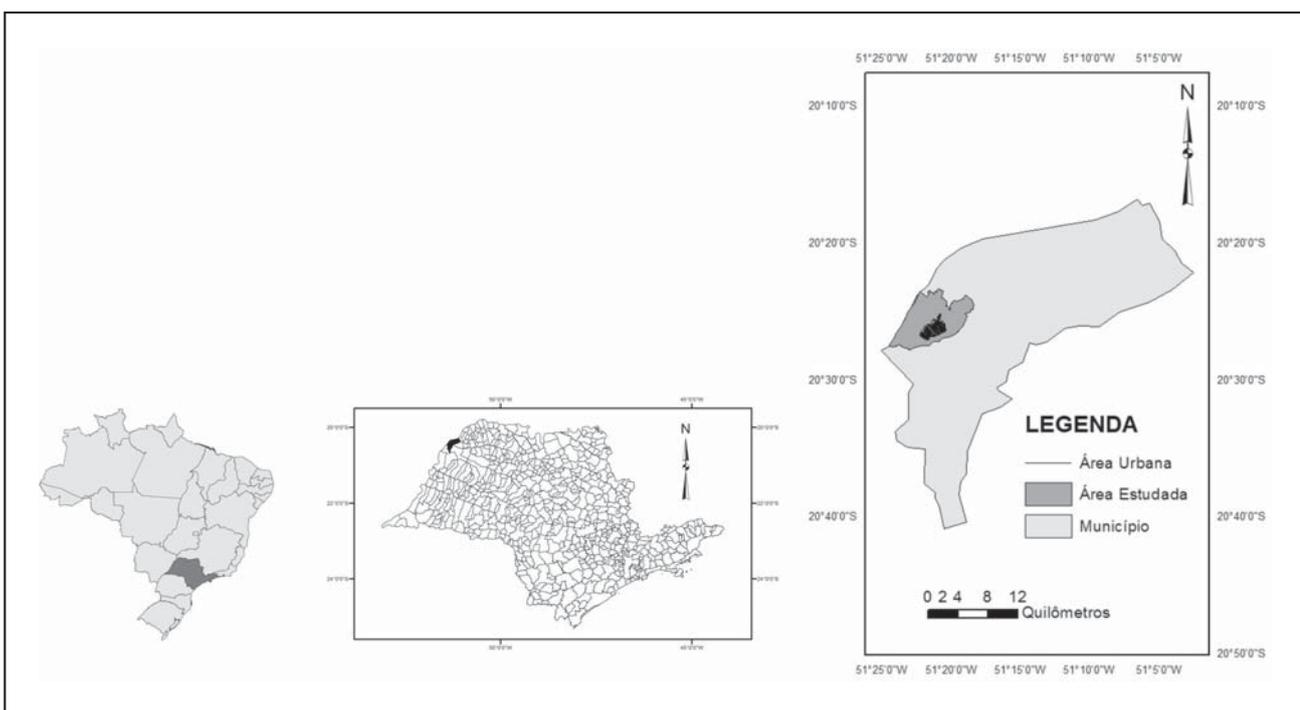


Figura 1. Localização da área estudada.

As condições naturais da área concorreram para que o resultado dos tipos de perfis de alteração de solos desenvolvidos não pudesse ser diferente disso. As unidades do substrato rochoso, inseridas no contexto da Bacia do Paraná, apresentam basaltos da Formação Serra Geral nas áreas de vales e tipos arenosos nas porções mais elevadas do relevo (colina suave ondulada). Estes litotipos arenosos são representados por arenitos com cimentação carbonática pertencentes ao Grupo Bauru. As figuras 2 e 3 ilustram a distribuição das unidades do substrato rochoso na área e uma coluna estratigráfica simplificada das unidades do substrato presentes na área.



Figura 2. Distribuição das unidades estratigráficas do substrato na área estudada.

O clima subtropical quente e úmido com altos índices de pluviosidade associado a um relevo suave que favorece fortemente a infiltração das águas pluviais também foi fator importante para o desenvolvimento dos atuais perfis de alteração de solos. Este conjunto de fatores (principalmente a ação dos

condicionantes climáticos e a presença de cimento carbonático) foi fator determinante no desenvolvimento dos materiais inconsolidados presentes na área, altamente porosos e pouco estruturados.

Fruto da ausência de planejamento da ocupação do território e das condições geotécnicas desfavoráveis anteriormente descritas uma série de fenômenos indesejáveis do ponto de vista ambiental e administrativo tem ocorrido no município.

Estes problemas podem ser divididos em duas categorias: enquanto alguns são relativamente antigos e datam da época da implantação do núcleo urbano, outros já existiam e foram potencializados por intervenções posteriores.

No primeiro grupo encontram-se os problemas decorrentes de colapso de solos. A região apresenta solos colapsíveis, e o problema é agravado pelo fato de que nas obras de implantação do núcleo urbano foram utilizadas manilhas de cerâmica para a rede de esgoto, manilhas estas que se rompem facilmente favorecendo a saturação do solo e seu conseqüente colapso. Este fenômeno tem sido bastante estudado no município, como se pode verificar em Mellios (1985), Carvalho e Souza (1990), Ferreira, Peres, e Benvenuto (1990), Lollo e Morais (1993), e Menezes (1997).

No segundo grupo podem ser incluídos os problemas relacionados à erosão de solos. A alta porosidade existente na maioria dos solos presentes no município associada ao seu estado fofo faz com que os mesmos apresentem um grande potencial à erosão desde que não adequadamente manejados. A intensificação da ocupação urbana, efetuada muitas vezes com cortes no terreno com perfil ou altura inadequados tem facilitado a presença de processos erosivos.

SISTEMÁTICA APLICADA

A sistemática utilizada para o levantamento das condições do meio físico da área estudada teve como base a proposta de Lollo (1996) a qual já havia apresentado resultados bastante positivos quando aplicada em escala regional. No trabalho ora apresentado teve-se o cuidado de incluir nesta sistemática as etapas relacionadas ao zoneamento da área em termos de elementos de terreno (nível hierárquico não considerado nos trabalhos efetuados em escala regional). A síntese desta sistemática é apresentada a seguir.

A. Levantamento de Informações e Materiais:

obtenção de sensores remotos, mapas existentes, e informações de investigações geotécnicas anteriores executadas na área estudada e obtenção ou elaboração da base cartográfica.

Idade (M.a.)	Período	Unidade Estratigráfica	Litologia
100	Cretáceo	Grupo Bauru (Ksb)	Arenitos médios a finos, maciços, com cimentação carbonática e cor vermelha.
150			
200	Jurássico	Formação Serra Geral (JKsg)	Basaltos toleíticos em derrames tabulares, textura vesicular e compacta.

Figura 3. Coluna estratigráfica esquemática das unidades estratigráficas presentes na área estudada.

B. Uso de Fotos Aéreas / Avaliação do Terreno :

b.1 Montagem do Fotomosaico

b.2 Delimitação de Sistemas de Terreno :

interpretação do fotomosaico
fotointerpretação preliminar
uso de mapas topográficos
generalizações
fotointerpretação final
mapa de sistemas de terreno

b.3 Delimitação de Unidades de Terreno :

fotoanálise preliminar
trabalho de campo (seções-tipo)
generalizações
fotoanálise final
mapa de unidades de terreno

b.4 Delimitação de Elementos de Terreno :

fotodedução preliminar
trabalho de campo (seções-tipo)
generalizações
fotodedução final
mapa de elementos de terreno

C. Uso de Mapas Anteriores :

checagem e análise

D. Caracterização Geotécnica das Unidades :

amostragem e ensaios

E. Elaboração de Mapas e Documentos Relacionados

RESULTADOS

O trabalho consistiu do levantamento de toda a área do município utilizando-se fotografias aéreas na escala 1:20.000. Na área do município foram identificados dois sistemas de terreno (denominados A e B), sendo o primeiro deles composto por duas unidades de terreno (A.1 e A.2) e o segundo (sistema B) composto por três unidades de terreno (B.1, B.2 e B.3). A Unidade B.2 apesar de presente no município de Ilha Solteira, não ocorre na área urbana nem na área de expansão urbana, razão pela qual não é registrada na área em estudo.

Na área de expansão urbana o levantamento foi detalhado até o nível elemento de terreno proporcionando um total de dez elementos de terreno sendo três deles pertencentes à unidade A.1 (elementos A.1.1, A.1.2 e A.1.3), dois pertencentes à unidade A.2 (elementos A.2.1 e A.2.2), três pertencentes à unidade B.1 (B.1.1, B.1.2 e B.1.3), e dois pertencentes à unidade B.3 (elementos de terreno B.3.1 e B.3.2).

Além dos trabalhos de fotointerpretação foram efetuados trabalhos de campo para a confirmação das análises efetuadas na avaliação do terreno e o completo conhecimento dos land-forms em termos dos perfis de alteração de solos associados a cada um deles. Apresenta-se a seguir as descrições de cada uma destas formas de relevo, cuja distribuição na área pode ser observada na Figura 1.

Sistema A: colinas médias suave onduladas com encostas convexas e média frequência de canais associadas a vales pequenos e profundos com encostas convexas, com alta frequência de canais e presença de ravinas. As formas presentes neste

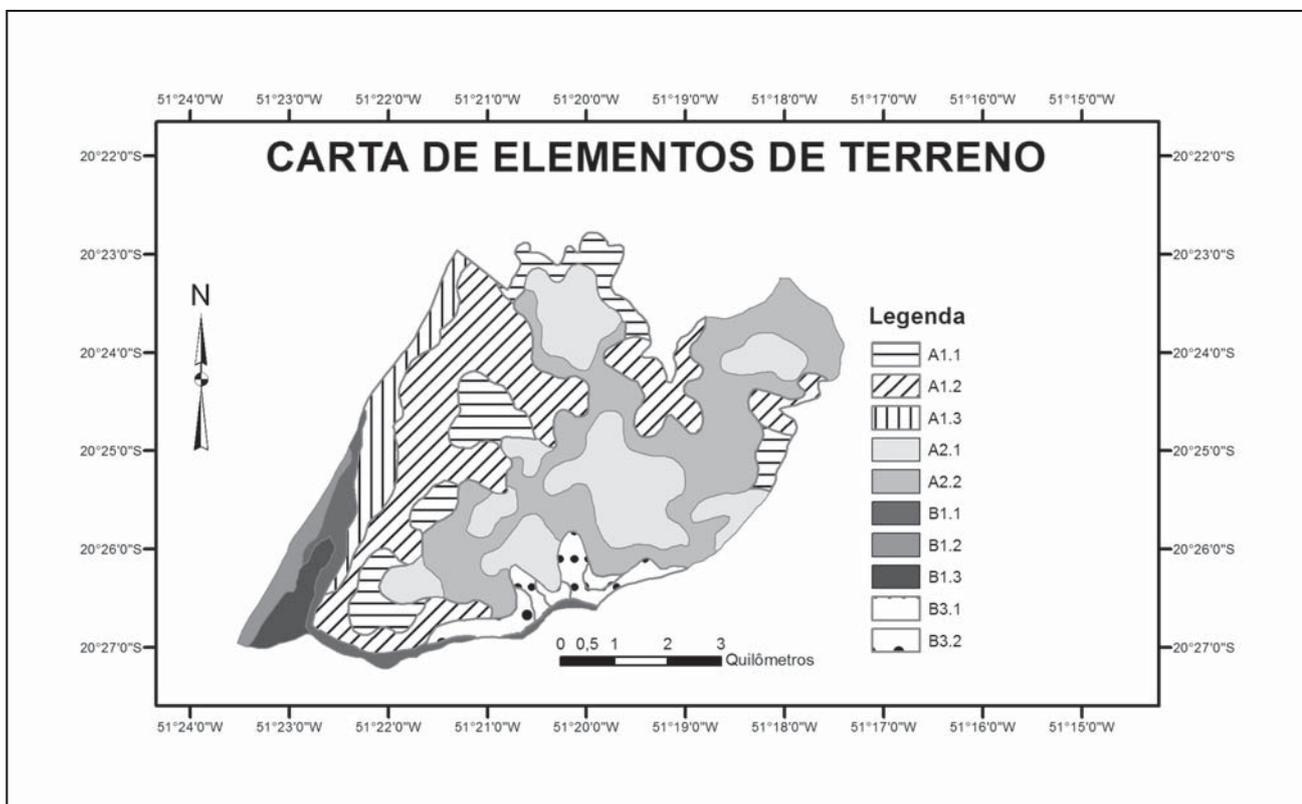


Figura 4. Carta de Elementos de Terreno para a área urbana e de expansão urbana de Ilha Solteira.

sistema e os trabalhos de campo efetuados permitem afirmar que o substrato rochoso do mesmo são os arenitos do Grupo Bauru.

Unidade A.1: vales pequenos profundos com encostas convexas, evidências de processos erosivos na porção inferior das encostas, frequência de canais média a alta e presença de ravinhas. Materiais inconsolidados arenosos finos homogêneos pouco espessos (espessuras raramente superiores a 5m).

Elemento A.1.1: porção superior das encostas, formas convexas pouco íngremes, ausência de ravinhas e média frequência de canais, perfis de alteração mais espessos (chegando a atingir espessuras de até 7m).

Elemento A.1.2: porção inferior das encostas, formas retilíneas evoluindo para côncavas, bastante íngremes, alta frequência de canais e intenso ravinamento. Os materiais inconsolidados são pouco espessos (espessuras variando entre 2 e 5m).

Elemento A.1.3: fundo dos vales, forma retilínea, alta frequência de canais com coalescência de pequenos vales, com arrasamento das encostas e formas planas. Os perfis de materiais inconsolidados são bastante rasos (< 2m) chegando-se mesmo a ter exposição do substrato rochoso em alguns locais.

Unidade A.2: colinas médias suave onduladas com encostas convexas com média frequência de canais. As formas mais suaves sugeriam presença de perfis de alteração de solos bem desenvolvidos e bastante espessos o que foi confirmado nos trabalhos de campo ao se verificar a presença de perfis de alteração com grandes espessuras (muitas vezes superiores a 20m) de solos arenosos finos homogêneos.

Elemento A.2.1: metade superior e topo das colinas, formas convexas e topo relativamente aplainado, baixa frequência de canais. Perfis de materiais inconsolidados arenosos fofos com espessuras comumente superiores a 20m.

Elemento A.2.2: porção inferior das colinas, formas convexas e com média frequência de canais. Materiais inconsolidados com perfis menos espessos (espessuras raramente superiores a 10m).

Sistema B: vales amplos e médios, pouco profundos com encostas retilíneas a côncavas, e frequência de canais alta a média.

Unidade B.1: vales amplos com encostas côncavas, alta frequência de canais, encostas abruptas suavizando-se em direção à drenagem, extensos depósitos aluviais na base. Localmente tem-se a presença de terraços aluviais na porção mais alta (terço superior) apresentando pequenas porções convexas. Os depósitos aluviais são pouco espessos porém os terraços apresentam espessuras de até 10m.

Elemento B.1.1: planícies aluviais recentes e depósitos aluviais em canais abandonados. Os materiais inconsolidados compreendem depósitos aluviais arenosos finos pouco espessos (no máximo 5m de espessura) com lentes de argila decimétricas.

Elemento B.1.2: terraços aluviais em porções superiores de encostas (perfil convexo). Os perfis de materiais inconsolidados são homogêneos e bastante espessos (até 10m de espessura) apresentando depósitos arenosos finos.

Elemento B.1.3: vales amplos com encostas côncavas, bastante dissecados, alta frequência de canais. Este elemento apresenta perfis de materiais inconsolidados bastante rasos (espessuras inferiores a 2m) fruto de processos erosivos.

Unidade B.2: colinas médias a amplas, suave onduladas, com encostas convexas na sua metade superior a côncava na metade inferior com baixa frequência de canais. Apresenta perfis de materiais inconsolidados arenosos finos homogêneos pouco espessos (espessuras menores que 5m). Tal unidade não apresenta ocorrência na área em estudo.

Unidade B.3: vales médios com encostas côncavas a retilíneas, média frequência de canais, sem evidência de depósitos aluviais, e espessuras médias de perfis de alteração de solos (5 a 10m). Os materiais inconsolidados presentes são francamente argilosos e bem estruturados.

Elemento B.3.1: metade inferior das encostas, formas côncavas íngremes tendendo a retilíneas. Perfis de materiais inconsolidados menos espessos (espessuras geralmente em torno de 5 a 6m).

Elemento B.3.2: metade superior das encostas, formas convexas tendendo a côncavas pouco íngremes. Porções mais suaves da encosta com perfis de alteração de solos argilosos homogêneos bem desenvolvidos (chegando a atingir 10m de espessura).

Um dos aspectos fundamentais a serem analisados quando se efetua zoneamento do meio físico para fins geotécnicos é a relação unidades do meio físico x comportamento geotécnico dos materiais presentes nestas unidades.

Os resultados apresentados no tópico anterior mostram que sob este aspecto o uso da técnica de avaliação do terreno proporcionou um zoneamento eficiente uma vez que aos landforms identificados foi possível associar, com muita eficiência, condições geotécnicas bem definidas, tanto em termos de substrato rochoso como em termos de materiais inconsolidados.

Porém apenas esta constatação não é suficiente uma vez que o trabalho também se propunha a estabelecer, frente aos problemas de ordem geotécnica existentes na área estudada, principalmente áreas urbana e de expansão urbana, as condições geotécnicas nas quais os mesmos se dão. Assim sendo, cada um dos problemas identificados será, a seguir, relacionado com as condições do meio físico identificadas no presente trabalho.

CONCLUSÕES

Com relação à ocorrência de solos colapsíveis, verifica-se que o local escolhido para a implantação do núcleo urbano foi o fator predisponente fundamental e sobre o qual inclusive pouco se pode fazer uma vez que tal núcleo já está implantado.

A área escolhida para tal finalidade representa, como se pode verificar na Figura 1, a principal área de ocorrência da Unidade A.2 que se caracteriza justamente pela ocorrência de perfis espessos de solos arenosos fofos com alto potencial de colapsividade. O mesmo ocorre para grande parte da área de expansão urbana hoje existente e em condições de ocupação mais imediata.

As características do meio físico desta parcela da área, porém não podem ser simplesmente consideradas como definitivamente desfavoráveis uma vez que análises mais acuradas do problema mostram que esta ocupação é perfeitamente viável desde que se considere a maneira correta de proceder nesta área. Neste caso devem ser consideradas diferentes soluções técnicas para projetos de fundação.

A Unidade de Terreno A.2 apresenta dois elementos de terreno com diferentes características de espessura de perfil de alteração do solo.

O Elemento de Terreno A.2.1 apresenta perfis de materiais inconsolidados mais espessos (chegando a atingir mais de dez metros de espessura) e neste caso a única solução possível é a adoção, para construções térreas ou de dois pavimentos, de projetos de fundação mais adequados a esta condição, com menor distribuição de carga por elemento de fundação utilizado no projeto. Já para construções de edifícios o problema pode ser contornado com a adoção de elementos de fundação mais profundos, que tenham sua base apoiada abaixo do limite inferior desta camada de solo.

Para as áreas de ocorrência do Elemento de Terreno A.2.2 a solução adotada pode ser mais simples. Como neste elemento os perfis de materiais inconsolidados apresentam menores espessuras (raramente superiores à 4m) basta que a base dos elementos de fundação utilizados situe-se abaixo desta profundidade.

É óbvio que tais soluções também devem estar acompanhadas de projetos de redes de utilidade (água e esgoto) e de drenagem superficial que não favoreçam a saturação do solo (mecanismo desencadeador do colapso do solo).

Os problemas erosivos identificados na área situam-se em locais de ocorrência da Unidade de Terreno B.3 (Elementos B.3.1 e B.3.2) e o processo, em todos os casos estudados, foi desencadeado pela execução inadequada de condutos de redes pluviais em pontos de descarga em drenagens nesta Unidade de Terreno.

O fato de que a unidade de terreno em questão apresenta substrato rochoso composto por basaltos (vesiculares e compactos) da Formação Serra Geral a profundidades pequenas (raramente superiores à 5m) faz com que os processos erosivos instalados não apresentem forte evolução em termos de incisão vertical evoluindo principalmente por alargamento do canal de drenagem por desabamentos de encostas quase verticais com base solapada pela erosão.

Estes processos erosivos, no entanto podem ser facilmente controlados através de obras corretas de descarga dos condutos de drenagem pluvial nos canais, com a execução conjunta de obras de dissipação de energia destas descargas.

TRABALHOS CITADOS NO TEXTO

- AGUIAR, A.D.C. 1996.
Mapeamento Geotécnico da Folha de Conchal - SP: escala 1:50.000.
São Carlos, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- AITCHISON, G.D.; GRANT, K. 1968.
Terrain Evaluation for Engineering.
Division of Soil Mechanics Research Paper - CSIRO, Sydnal, 107.
- ÁVILA, I.G.; IWASA, O.Y.; PRANDINI, F.L.; FORNASSARI FILHO, N.; PONÇANO, W.L. 1985.
Carta Geotécnica da Grande São Paulo.
São Paulo, DMGA-IPT, Publicação 1618.
- BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. 1962.
The Storage and Collation of Information on Terrain.
Military Engineering Experimental Establishment Interim Report 871, Christchurch.
- BELCHER, D.J. 1942a.
The Use of Soil Maps in Highway Engineering.
American Road Scholl, Proceedings, Purdue University, Engineering Bulletin n. 26, p. 64.
- BELCHER, D.J. 1942b.
Use of Aerial Photographs in War Time Engineering.
Rds. Str., 85-7.
- BELCHER, D.J. 1943.
The Engineering Significance of Soil Patterns.
Annual Meeting of Highway Research Board, 1943, Proceedings.
- BELCHER, D.J. 1946.
Engineering Applications of Aerial Reconnaissance.
Geological Society of America Bulletin, New York, 57-8.
- BELCHER, D.J.; GREGG, L.S. & WOODS, K.B. 1943.
The Formation, Distribution and Engineering Characteristics of Soils.
Highway Research Bulletin, Research Series n. 87.
- BRASIL, 2011.
MP 547/11, de 11 de Outubro de 2011. Altera as Leis 6.766/79, 10.257/01, e 12.340/10.
Diário Oficial da União, 13 de outubro de 2011.
- BOURNE, R. 1931.
Regional Survey and its Relation to Stocktaking of Agricultural and Forest Resources of the British Empire.
Ox. For. Mem., 13.
- CARVALHO, D.; SOUZA, A. 1990.
Análise do efeito de umedecimento do solo em fundações rasas e profundas em solos porosos.
Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Salvador, 1990, Anais, Salvador, ABMS, v. 2, p. 109-114.

- CHRISTIAN, C.S. & STEWART, G.A. 1953.
General Report on Survey of the Katherine-Darwin Region.
Sidney. Australian Land Research Series - CSIRO.
- COLLARES E.G. 1994.
Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Bragança Paulista (escala 1:50.000) : ênfase nos materiais inconsolidados.
São Carlos, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- COLLARES E.G. 1995a.
Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Pinhal : escala 1:50.000.
Relatório Interno do Projeto Mapeamento Geotécnico do Centro-leste do Estado de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- COLLARES E.G. 1995b.
Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Valinhos : escala 1:50.000.
Relatório Interno do Projeto Mapeamento Geotécnico do Centro-leste do Estado de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. 1990.
Mapping Geomorphology.
In: COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. Geomorphology in Environmental Management: a new introduction. New York, Clarendon Press.
- EDWARDS, R.J.G. 1982.
Land Surface Evaluation for Engineering Practice. report by a work party under the auspices of the Geological Society.
Quarterly Journal of Engineering Geology, 15-4.
- FERREIRA, R.C.; PERES, J.E.E. & BENVENUTO, C. 1990.
Uma análise de modelos geotécnicos para a previsão de recalques em solos colapsíveis.
Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Salvador, 1990, Anais, Salvador, ABMS, v. 2, p. 73-79.
- GRANT, K. 1970.
Terrain Evaluation: a logical extension of Engineering Geology.
International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Paris, 1970, Proceedings, Paris, IAEG, v. 2, p. 971-980.
- GRIFFITHS, J.S., STOKES, M., 2008.
Engineering geomorphological input to ground models: an approach based on Earth systems.
Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 41, p. 73-91.
- HADMOKO, D.S., LAVIGNE, F., SARTOHADI, J., HADI, P., 2010.
Landslide hazard and risk assessment and their application in risk management and land use planning in eastern flank of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia.
Natural Hazards, Vol. 54, p. 623-642.
- HITTLE, J.E. 1949.
Airphoto Interpretation of Engineering Sites and Materials.
Photogramm. Engng., 15.
- JENKINS, D.S.; BELCHER, D.J.; GREGG, L.E. & WOODS, K.B. 1946.
The Origin, Distribution and Airphoto Identification of United States Soils.
U.S. Dept. of Commerce, Washington.
- LOLLO, J.A. 1996.
O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na Quadricula de Campinas.
São Carlos, Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- LOLLO, J.A. & MORAIS, A.S. 1993.
Caracterização de solos potencialmente colapsíveis a partir de ensaios de reconhecimento.
Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Ilhéus (BA), 1993, Anais, Ilhéus, SBEA, v. 1, p. 63-71.
- MARTIN-DUQUE, J.F., PEDRAZA, J., SANZ, M.A., BODOQUE, J.M., GODFREY, A.E., DIEZ, A., CARRASCO, R.M., 2003.
Landform classification for land use planning in developed areas: an example in Segovia Province (Central Spain).
Environmental Management, Vol. 32, p. 488-498.
- MELLIOS, G.A. 1985.
Provas de carga em solos porosos.
Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, São Paulo, Anais, São Paulo, ABMS, 1985, v. 2, p. 73-102.

- MENDES, R.M., LORANDI, R., 2010.
Geospatial Analysis of Geotechnical Data Applied to Urban Infrastructure Planning.
Journal of Geographic Information System, Vol. 2, p. 23-31.
- MENEZES, S.M. 1997.
Análise do comportamento de estacas pré-moldadas em solo de alta porosidade do interior do Estado de São Paulo.
São Paulo, Tese (Doutorado), Escola Politécnica.
- MILES, R.D. 1951.
Application of Aerial Photographs to Preliminary Engineering Soil Surveys.
Symposium on Surface and Subsurface Reconnaissance, 1951, Symposium, [s.l.], American Society Testing Materials, p. 57.
- MILES, R.D. 1962.
A Concept of Land Forms, Parent Materials and Soils in Airphoto Interpretation Studies for Engineering Purposes.
Symposium on Photo Interpretation, 1962, Transactions, Delft, International Society for Photogrammetry, p. 462-476.
- MINTZER, O.W. & FROST, R.E. 1952.
How to Use Air-photos and Maps for Material Survey.
Highway Research Board Bulletin, Washington, 62.
- RODRIGUES, R.A., LOLLO, J.A., 2007.
Influence of domestic sewage leakage on the collapse of tropical soils.
Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 66, p. 215-223.
- SARAIVA R.M. 1994.
Mapeamento Geotécnico da Folha de Socorro com base na Análise das Formas de Relevo ("landform").
São Carlos, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- SOUZA, N.C.D.C. 1992.
Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguaí : com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração.
São Carlos, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- ZUQUETTE, L.V. 1991.
Mapeamento Geotécnico: uma nova abordagem.
Ribeirão Preto, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; SINELLI, O.; & GANDOLFI, N. 1992.
Carta de Riscos Potenciais de Erosão - Cidade de Franca (SP) - escala 1:25.000.
Simpósio Latino-Americano de Risco Geológico Urbano, Pereira, 1992, Pereira.



Patologías en rocas que componen algunos monumentos funerarios del cementerio de la Recoleta, Buenos Aires, Argentina

Pathologies in rocks that make up some tombstones in the cemetery of Recoleta, Buenos Aires, Argentina

Ponce, María Beatriz

Recibido: 05 de Julio de 2012 • Aceptado: 24 de Junio de 2013

Resumen

A medida que avanzan los estudios en distintos monumentos funerarios del cementerio de la Recoleta, se amplía el conocimiento sobre los factores que inciden en la durabilidad de los materiales pétreos empleados en los mismos. Las tareas de limpieza y conservación las realiza la Dirección General de Patrimonio e Instituto Histórico, Dirección General Cementerio perteneciente al Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires en el marco del "Programa de Conservación y Restauración del Cementerio de la Recoleta". El INTEMIN (Instituto de Tecnología Minera) colabora con el citado organismo en el estudio y análisis de los monumentos.

Se refieren aquí nueve obras con diferentes grados de avance en los estudios con el objetivo de completar datos sobre los materiales, estado de conservación y patologías detectadas. Los procedimientos analíticos incluyen microscopía óptica destinada a determinar la petrografía de las piedras empleadas, difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis de microsonda de energía dispersiva EDAX.

Se efectúa el reconocimiento de los factores ambientales que actúan en el deterioro de los materiales de cada obra determinando las patologías generadas.

El objetivo inmediato consiste en detectar las patologías presentes en cada obra con la finalidad de contar con datos que permitan seleccionar el tratamiento más adecuado sea de limpieza y/o conservación. El otro objetivo a largo plazo es incorporar la información a un documento relacionado a cada obra con la finalidad de contar con una memoria de la misma en materiales, estado de deterioro y posibles tratamientos a los que fue sometida.

Palabras clave: patologías, monumentos funerarios, Recoleta, Argentina.

Abstract

As long as there is an advance in the studies of the different tombstones in Recoleta cemetery, there is a growth in the knowledge about the factors that affect the durability of stone

INTEMIN-SEGEMAR Av. Gral. Paz 5445, edificio 14 SEGEMAR,
1650, San Martín, Buenos Aires

✉ beatriz.ponce@segemar.gov.ar

materials used in them. The cleaning and preservation tasks are performed by the General Direction of Heritage and Historical Institute, Cemetery General Direction that belongs to the Government of Buenos Aires City as part of the "Program for Conservation and Restoration of Recoleta Cemetery". The INTEMIN (Institute of Mining Technology) collaborates with the cited Organism in the study and analysis of the monuments.

Here are referred nine works with different state of progress in the studies, with the objective of complete data on materials, conservation state and pathologies detected. Analytical procedures include optical microscopy used to determine the petrography of the stones used, X-ray diffractometry (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and microprobe analysis of dispersive energy (EDAX).

It is performed the recognition of environmental factors acting on the deterioration of the materials of each work identifying pathologies generated.

The immediate objective is to detect the pathologies present in each work in order to have data to select the most appropriate treatment, that is cleaning and/or preservation. The other long-term goal is to incorporate the information into a document related to each work in order to have a memory of it in materials, state of deterioration and possible treatments to which it was subjected.

Keywords: pathologies, tombstones, Recoleta, Argentina

INTRODUCCION

El cuidado del patrimonio en cualquiera de sus manifestaciones representa un interés cada vez mayor por parte de diversas instituciones. Para cumplir con este objetivo es necesario conocer los procesos por los cuales se produce el deterioro de aquello que se desea conservar, para implementar los procedimientos adecuados en cada caso.

Los estudios desarrollados forman parte de trabajos efectuados conjuntamente con la Dirección General de Patrimonio e Instituto Histórico, Dirección General Cementerio perteneciente al Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires en el marco del "Programa de Conservación y Restauración del Cementerio de la Recoleta". El INTEMIN (Instituto de Tecnología Minera) dependiente del Servicio Geológico Minero Argentino, colabora en los análisis y estudios de cada obra.

Se inscriben en este trabajo nueve monumentos funerarios, pertenecientes al cementerio de la Recoleta de la ciudad de Buenos Aires, mencionando que cuatro de ellos (Olivera de Pignetto, Nicolás Avellaneda, Estanislao Soler y Federico Brandsen) han sido estudiados exclusivamente, por el desarrollo de costras negras; tres (Virgilio Tedín, Luis María Campos y Father Fahy) en la determinación de la petrografía de sus materiales pétreos y el efecto del paso del tiempo en los mismos y uno (Rufina de Cambaceres) en el empleo de un biocida en tareas de limpieza con relación a los organismos presentes, para evaluar la efectividad del producto empleado.

Todos los monumentos mencionados en este trabajo están siendo monitoreados para evaluar las tareas realizadas a las cuales se incorporan nuevos estudios, con el fin de complementar la información con datos referidos a sus materiales, estado de conservación, tratamientos a los que fueron sometidos y cualquier otra intervención que se considere importante en futuras tareas de limpieza y restauración.

Todas las obras descritas presentan distintos tipos de rocas, siendo su antigüedad promedio cercana a los 100 años razón por la cual, se considera que un estudio efectuado sobre la durabilidad de tales materiales pétreos, puede ofrecer resultados factibles de ser interpretados en el marco del intemperismo al cual se encuentran sometidas. También se toman en consideración

las características de la ubicación geográfica del cementerio, el cual se halla situado en una zona céntrica de la ciudad de Buenos Aires rodeado de calles con intenso tránsito automotor, lo que genera el desarrollo de un microclima dentro del mismo. Su proximidad a la costa del río de la Plata, estimada entre 1000 y 1500 metros, influye en las condiciones ambientales del cementerio.

Las obras objeto de estudio poseen rocas carbonáticas como mármol, dolomita y caliza y otras de tipo ígneo como granito, gabro y diorita.

El objetivo inmediato que se persigue en este trabajo, es la detección de las patologías presentes en cada monumento, en tanto que el objetivo a más largo plazo, consiste en contar con un documento integrador de todos los estudios efectuados y sus resultados de cada obra, con la finalidad de disponer de la información correspondiente a la petrografía, grado de deterioro, patologías, intervenciones, mantenimiento realizado y eventualmente, el tratamiento al que hayan sido sometidas. La información compilada se constituirá en la memoria de cada monumento.

Los métodos de estudio aplicados incluyen exámenes petrográficos mediante corte delgado, difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica (SEM) y análisis de microsonda de energía dispersiva (EDAX).

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL CEMENTERIO DE LA RECOLETA

El cementerio de la Recoleta se halla ubicado en una zona céntrica de la ciudad de Buenos Aires, próxima al río de la Plata, determinando un tipo de clima templado húmedo. En invierno la temperatura promedio es de 10 °C y en verano de 27 °C. El régimen de lluvias es de 1000 mm/año con una humedad relativa del 70 % o más.

La cercanía al río del cementerio se estima entre 1000 y 1500 metros de la costa. Tal ubicación produce que dicha área esté afectada por las lluvias y vientos que presentan una orientación predominante del cuadrante Sur-Este, lo que ocasiona durante las tormentas el fenómeno denominado localmente como "sudestadas".

Los factores climáticos unidos a los generados por la contaminación ambiental, son los principales responsables de la degradación de las piedras empleadas en los monumentos históricos del cementerio, a los que según el caso, se suma la falta de mantenimiento adecuado.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Tabla 1 se muestran las obras relevadas y estudiadas, estableciendo su escultora, año de ejecución, variedad petrográfica utilizadas y ubicación de las obras.

Tabla 1. Detalle de los monumentos funerarios estudiados.

Monumento	Autor	Fecha	Varietades petrográficas	Otras consideraciones
1. Francisca Olivera de Pignetto	Luis Perloti	1928	Dolomita Granito pegmatítico	Orientación sur. En proximidad al pórtico de ingreso (calle Junín 1760)
2. Nicolás Avellaneda	Jules Coután	1905	Mármol	Ubicado contra una pared perimetral del cementerio (calle Vicente López)
3. Estanislao Soler	Torcuato Taso	1929	Mármol	Inmediato a la entrada sin vegetación circundante
4. Carlos Federico Brandsen	Robairone /de la Serna	1905	Mármol	Cercano a la entrada sin vegetación circundante
5. Luis María Campos	Jules Coután	1915	Mármol Gabro	Contra una pared perimetral del cementerio (calle Vicente López)
6. José C. Paz	Jules Coután	1905	Mármol	Granito alcalifeldespático Cercano al Cristo de ubicación central
7. Rufina de Cambaceres	Sin datos	1903/1908?	Mármol (variedad homogénea y vetado)	Zona central sin vegetación circundante
8. Virgilio Tedín	Vincenzo Sansebastiano	1899Aprox.	Caliza fosilífera Mármol Cuarzodiorita	Contra pared perimetral del cementerio (calle Azcuénaga)
9. Father Fahy	Sin datos	1912 Aprox.	Mármol Granito Caliza bioclástica	A un costado del Cristo central, rodeado de vegetación

1. FRANCISCA OLIVERA DE PIGNETTO

Ubicación: Sección 9 T, de orientación sur contra el muro perimetral del cementerio que da a la calle Junín en la cual se encuentra la entrada al cementerio. El sepulcro por su ubicación local entre construcciones más elevadas provoca la formación de un ambiente húmedo con escasa circulación de aire.

Composición del monumento: Se compone de una placa superior vertical apoyada sobre otra horizontal ambas de dolomita. En la primera, el autor ha esculpido una figura femenina de perfil vestida con una túnica con pliegues, apoyada sobre un fondo de roca texturado (Figura 1). Ambas placas, a su vez, descansan sobre un pedestal de granito. En el tratamiento superficial el escultor ha trabajado con un cincel.

Tipo de roca: Ambas placas vertical y horizontal fueron realizadas en dolomía, en tanto que el pedestal sobre el que se apoyan, corresponde a un granito pegmatítico. Ambas variedades petrográficas fueron estudiadas mediante microscopio óptico en corte delgado.

La dolomía está formada esencialmente por calcita (carbonato de calcio) y ankerita (carbonato de calcio con hierro y magnesio en cantidades variables). El granito del pedestal se presenta de color gris medio con un importante desarrollo de cristales de feldespato potásico mostrando por sectores cierta orientación.



Figura 1. Detalle del rostro femenino esculpido en dolomita.

Patologías detectadas: La ubicación del monumento genera la concentración de humedad, razón por la cual en las placas dolomíticas se desarrollan áreas de variedad cromática en la forma de pátinas, que cambian según la época del año entre el color negro, el pardo rojizo y el neutro cálido.

También en la dolomita, se ha producido por procesos de disolución a consecuencia de la lluvia y agentes atmosféricos, junto a la acción biológica de líquenes y hongos. En la Figura 2 se muestra cristales de dolomita corroídos.

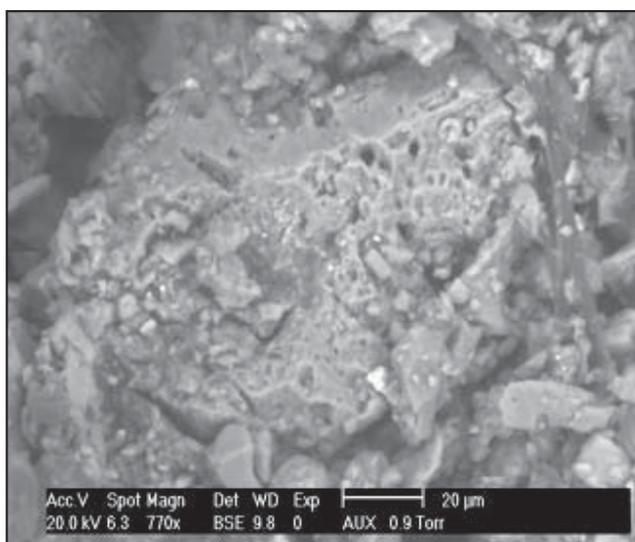


Figura 2. Cristales de dolomita corroídos (X 770).

Se desarrollan pátinas con espesores hasta 0,05 mm de color pardo rojizas y zonas ennegrecidas hasta formar un recubrimiento crustiforme. Parte de este material fue identificado mediante difracción de rayos X que detectó la presencia de yeso, corroborado también por EDAX (Crespo et al, 2001).

Dadas las características del área del sepulcro, la humedad ha intervenido como incentivo para que exista actividad biológica generando films donde se reconocen líquenes y hongos. Estos últimos producen corrosión superficial provocando disrupción entre los cristales de dolomita, evidenciados en la observación por microscopio electrónico (SEM) (Figura 3).



Figura 3. Inserción de líquenes en el sector central entre los cristales de dolomita (X1323).

En las pátinas que presentan color pardo rojizo desarrolladas en la dolomita, mediante EDAX se detectaron valores significativos de hierro y presencia de elementos relacionados con la actividad biológica como C, Si, P y S.

Granito: Se observó el desarrollo de una pátina negra que al ser analizada por EDAX muestra una significativa cantidad de hierro. Los fenocristales de feldespato observados con SEM también manifiestan cierto grado de corrosión.

2. NICOLÁS AVELLANEDA

Ubicación: Sección 20 Tablón 9 ubicado sobre el paredón perimetral que da a la calle Vicente López, con orientación su-reste.

Composición del monumento: Posee una escultura de bulto ubicada en el centro del monumento representando La Elocuencia, todo apoyado sobre un pedestal. En la parte superior ha sido colocado el busto de Nicolás Avellaneda (Figura 4).



Figura 4. Monumento a Nicolás Avellaneda.

Tipo de roca: El sepulcro está realizado en mármol de Carrara (según registros del cementerio). El resto de la obra que corresponde al apoyo inferior de la escultura (a nivel de la vereda), ha sido realizada en mampostería.

Patologías detectadas: El mármol está formado por carbonato de calcio (calcita), que al estar expuesto al intemperismo genera un aumento de la porosidad superficial, favoreciendo el desarrollo de pátinas de polvo y partículas compuestas por cenosferas (de composición carbonosa), costras negras, áreas de biofilm y depósitos de elementos metálicos como Pb, Zn, Ti, Cu, Zr, Sr, y Ni, además de otros elementos como C, P, Cl y Si producto de la actividad de los organismos, S presente en la

formación de yeso y Fe (origen ambiental), todo detectado por EDAX (Figura 5) (Ponce, 2010).

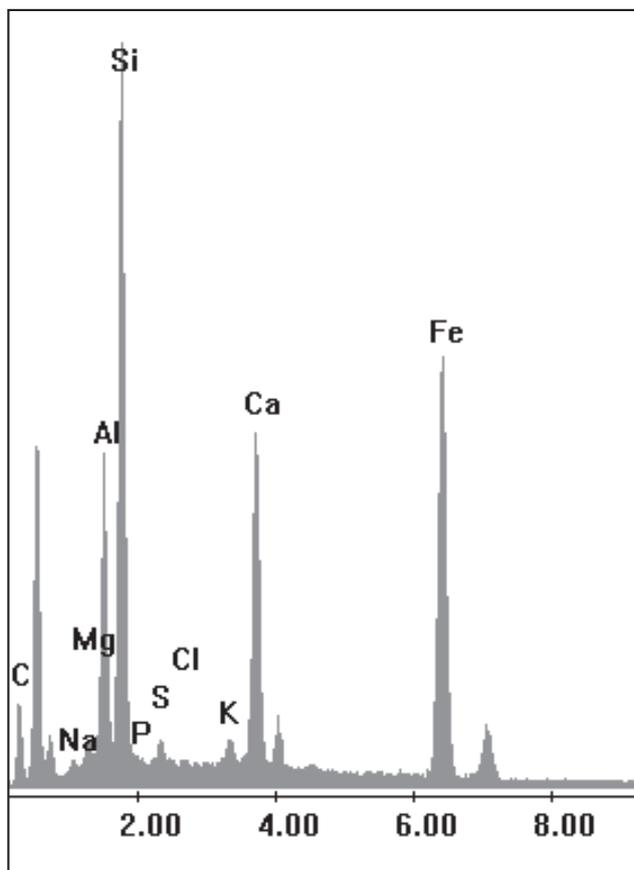


Figura 5. EDAX donde se muestra C y Si (actividad orgánica), Fe (partícula ambiental).

Otra de las patologías encontradas corresponden a costras formadas por yeso y whewelita (oxalato de calcio) como minerales extraños a la composición de la roca (mármol) (Crespo y Ponce, 2002).

Se observaron sectores donde faltan algunos fragmentos del monumento, posiblemente producto de la acción antrópica.

La actividad biológica se manifiesta por la presencia de líquenes que se insertan en la capa supraepilítica deteriorando la cohesión superficial de los cristales de naturaleza carbonática (Figura 6). A todo esto debe agregarse acciones producto de la mala ejecución en las reparaciones de algunos sectores marmóreos (Figura 7).

3. ESTANISLAO SOLER

Ubicación: Sección 9, Tablón 1, Fracción 11+12. Aproximadamente a 4 metros de la entrada sin vegetación circundante (Figura 8), orientación norte.

Composición del monumento: Escultura de bulto, con talla de una mujer esculpida en mármol de Carrara (según registro del cementerio) apoyada en pedestal de la misma roca.

Tipo de roca: Mármol de color blanco constituido por calcita.

Patologías detectadas: Desarrollo de pátinas ennegrecidas y otras de color verdoso producidas por movilización de hidróxidos a partir de una placa de bronce.

Hay formación de costras negras donde se ha identificado la presencia de yeso y oxalato de calcio, como también zonas húmedas con desarrollo de organismos (líquenes).

Es interesante apuntar que mediante análisis de EDAX se han detectado elementos químicos vinculados a la contaminación ambiental tales como Pb, Fe, Ti, Sn y Zn.

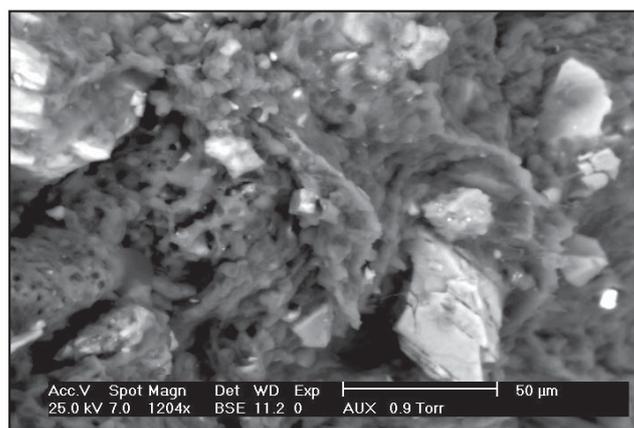


Figura 6. Detalle de la inserción de organismos que provocan el deterioro de la superficie epilítica de la roca (X1204).

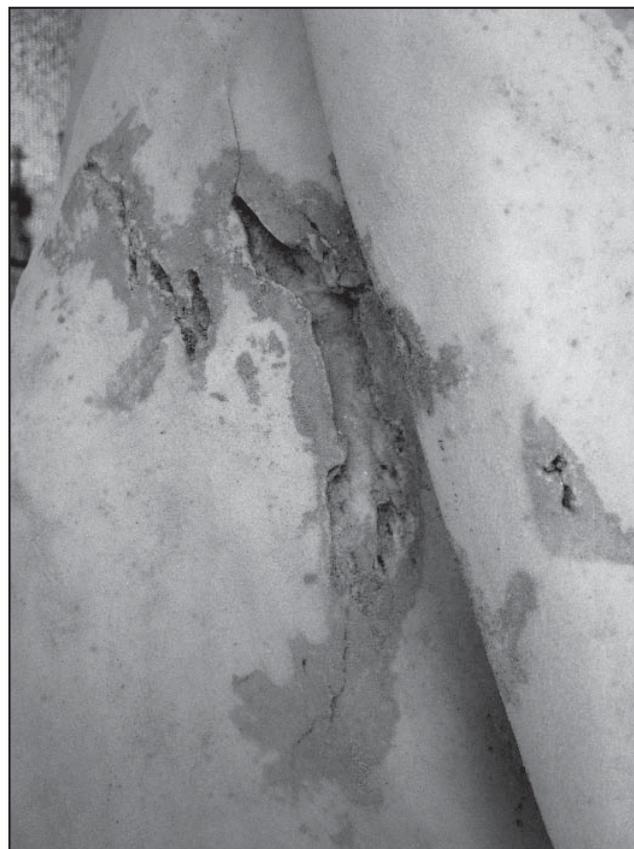


Figura 7. Deficiente implementación y ejecución de las reparaciones realizadas



Figura 8. Monumento a Estanislao Soler.

4. CARLOS FEDERICO BRANDSEN

Ubicación: Sección 9, Tablón 1, separación 9/11, situación cercano a la entrada, sin vegetación circundante (Figura 9).

Composición del monumento: Está realizado en un conjunto integrado por una alegoría que representa La Gloria con un busto en la parte superior del prócer todo realizado en mármol, mientras que en el sector inferior se hallan en bronce una espada y una palma.

Tipo de roca: Íntegramente realizado en mármol de Carrara (según registros del cementerio).

Patologías detectadas: De acuerdo a observaciones y resultados analíticos muestran patologías similares con los monumentos a Carlos Federico Brandsen y a Estanislao Soler.

Además de la formación crustiforme (yeso + oxalato de calcio) también existe un componente biológico que modifica el color blanco de la roca oscureciéndola (Figura 10) alterando la capa supraepitética de la misma. Mediante microsonda se encontraron elementos pertenecientes a la contaminación ambiental tales como los metálicos Pb, Fe, Ti, Zn, Zr y Sr, además de aquellos resultantes de la actividad biológica como P y Si (productos ácidos precipitados).

5. LUIS MARÍA CAMPOS

Ubicación: Cercano a la pared perimetral del cementerio que da a la calle Vicente López, con orientación norte.



Figura 9: Monumento a Carlos Federico Brandsen.

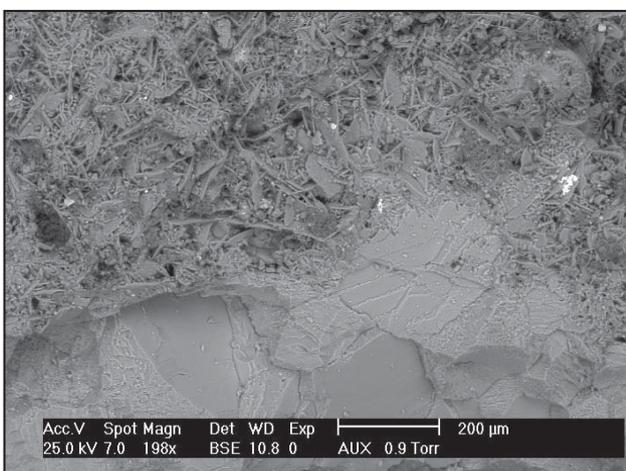


Figura 10. Detalle de las partículas acumuladas en la superficie del mármol (X198).

Composición del monumento: La figura central del General Campos está realizada en mármol blanco con suave vetado en gris azulado. El resto de la obra, también mármol pero de aspecto homogéneo de color blanco está constituido por una figura femenina alada en el sector superior y dos en el inferior, representando estas últimas a la Patria y a la esposa del general. Todo el conjunto se halla recostado en un basamento de gabro color negro (Figura 11).

Tipo de roca: Todo el monumento con excepción de la base, es de mármol vetiforme evidente en la escultura del general. En corte delgado bajo microscopio, evidencia la textura



Figura 11. Monumento a Luis María Campos].

granoblática de granos anhedral de calcita, observándose escasos óxidos e hidróxidos de hierro.

El basamento fue identificado como gabro compuesto esencialmente por plagioclasa y piroxeno, el cual se halla alterado a tremolita que en ocasiones se muestra rodeada por clorita. También se observa que el piroxeno puede pasar a biotita. Como minerales secundarios presenta opacos y biotita, en tanto como accesorios se halla apatita y cuarzo el cual ocupa los espacios entre los cristales máficos (Figura 12).

Patologías detectadas: Se evidencia en el mármol vetiforme de la figura del general y los de las figuras femeninas un comportamiento diferente frente al intemperismo. En el primero es posible ver a simple vista el desarrollo de fisuras de tamaño variado entre 10 y 30 mm de largo, llegando a los 3 mm de ancho y oquedades distribuidas en toda la obra en el orden de varios milímetros (0,5 – 3) (Figura 13), así como presencia de eflorescencias salinas. Estas últimas fueron identificadas por difracción de rayos X, como una asociación mineral anhídrita-calcita (Figura 14).

El gabro del pedestal muestra acumulación superficial de partículas ambientales cuya identificación con EDAX indica la presencia de elementos como Pb, Fe, Zn, S y C, P, y Cl producto de la actividad orgánica (Figura 15).

6. JOSÉ C. PAZ

Ubicación: En el centro del cementerio, cercano al Cristo. La orientación es sureste.

Composición del monumento: El monumento se compone de tres figuras aladas, una superior y dos inferiores de már-

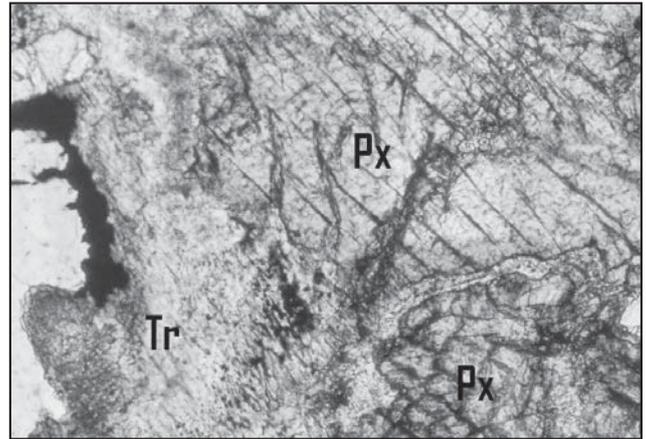


Figura 12. Detalle del reemplazo centripeto de tremolita (Tr) a partir de un piroxeno (Px) (X 200).



Figura 13. Oquedades y eflorescencias salinas en la escultura del Gral. Campos.

mol de color blanco. Se apoya en una base granítica de color gris oscuro (Figura 16).

Tipo de roca: Las figuras marmóreas están constituidas por una variedad pétrea de tipo homogéneo en color y textura que según los registros del cementerio sería originario de las canteras de Carrara.

La base de apoyo ha sido identificada como granito que presenta ocasionales variaciones texturales formadas por cristales feldespáticos (que llegan hasta el centímetro de desarrollo) en forma de lineamientos restringidos a tales cristales y que corresponden a los planos de clivaje o maclas. Según la clasificación de la IUGS (Unión Internacional de Geociencias) en el diagrama QAPF, corresponde a la variedad *alcalifeldespática*, ya que el feldespato alcalino es el mineral principal y secundariamente el cuarzo (aproximadamente en un 28%)

Patologías detectadas: Tal como se ha descrito en otras obras marmóreas, se observa que los poros superficiales han sido afectados por su exposición al ambiente, aumentando su capacidad de absorción. También la aparición de puntos y manchas de coloración rojiza.

Mediante EDAX se ha detectado la presencia de partículas ambientales y de colonización biológica con presencia de bacterias, hongos y líquenes (Guimet et al., 2011).

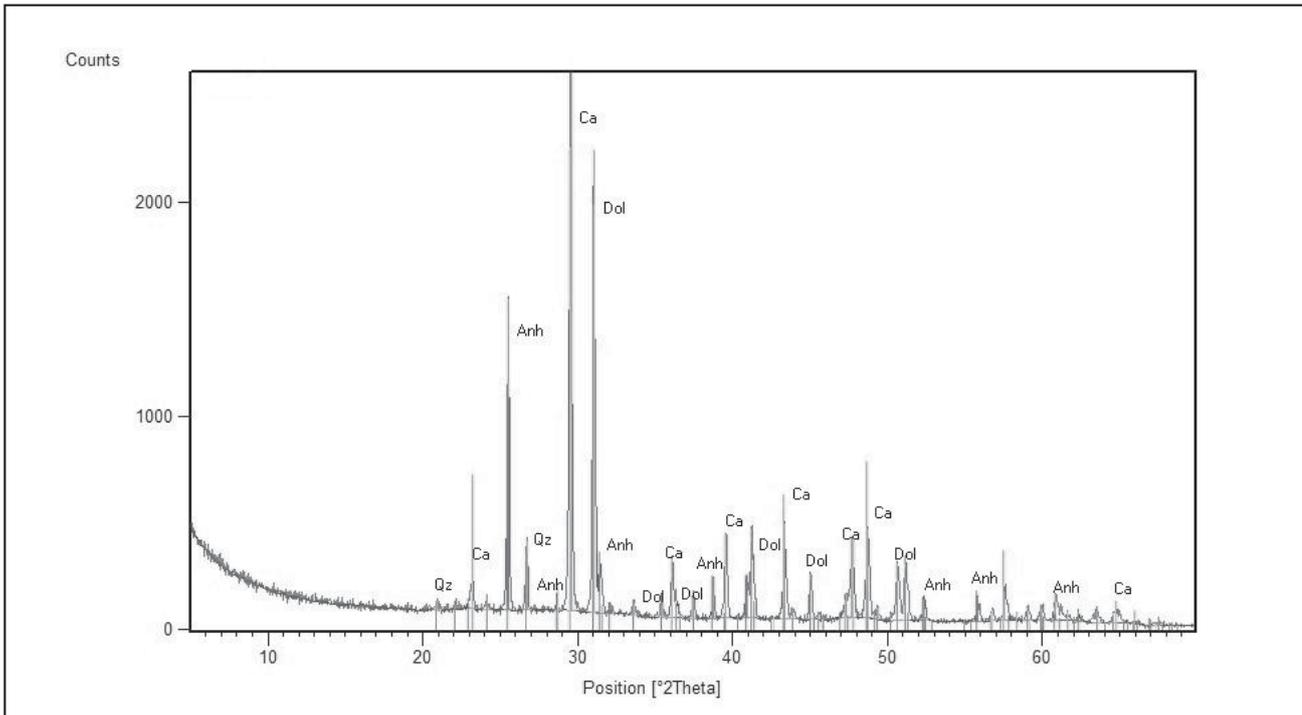


Figura 14. Determinación de anhidrita y calcita mediante difracción de rayos X

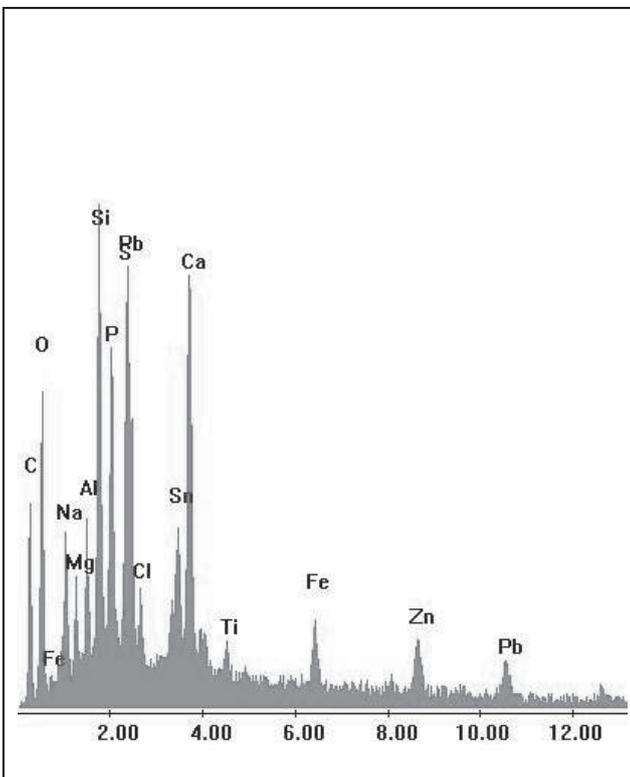


Figura 15. Determinación mediante EDAX de los elementos provenientes de la contaminación ambiental (Pb, Fe, Zn, S) y de la actividad orgánica (C, P y Cl) presentes en el gabro.



Figura 16. Monumento a José C. Paz.

En algunos sectores se observa la generación de microfisuras y pérdida de cohesión producto de las patologías mencionadas.

En el pedestal granítico, la actividad biológica fue corroborada mediante el análisis por EDAX, que evidencia la presencia preponderante de elementos como C, Si, P y Cl. No obstante, se detectó la presencia de Pb sin encontrarse otros elementos metálicos (Figura 17).

7. RUFINA DE CAMBACERES

Ubicación: En el sector central del cementerio libre de vegetación. La orientación de la bóveda es sureste y ocupa una esquina entre calles.

Composición del monumento: La obra está formada por una figura femenina realizada en mármol blanco que parece estar asomada a la puerta del sepulcro (Figura 18). El resto de la bóveda también se halla revestido en placas marmóreas de color blanco.

Tipo de roca: Corresponde a un mármol de color blanco homogéneo (estatuario ?) para el caso de la figura femenina; los revestimientos de las paredes externas de la bóveda también han sido realizados en placas de mármol de color blanco.

Patologías detectadas: En los aplacados de las paredes exteriores de la bóveda se observan manchas rojizas así como parte de los ornamentos especialmente en los sectores superiores de la misma. La alteración cromática estaría asociada a la actividad biológica (Guimet et al., 2011) donde fueron identificadas

especies de hongos que poseen pigmentos biogénicos que pueden impartir coloración a las rocas.

La alterabilidad de la roca marmórea se manifiesta con el desarrollo de pequeños orificios en la figura de la joven, pérdida de lustre de la superficie original y la aparición de eflorescencias salinas de composición yeso (Figura 19), especie mineral identificada mediante difracción de rayos X.

8. VIRGILIO TEDÍN

Ubicación: Sobre la pared perimetral del cementerio que a la calle Azcuénaga. La orientación de la obra se encuentra en el cuadrante NW.

Composición del monumento: Considerando el conjunto de forma vertical frontal y de arriba hacia abajo, se compone de ornatos, figura sentada que representa a la Justicia y un ángel de pie. Este conjunto se apoya en una placa ubicada a espaldas del pedestal realizada con una caliza color ocre, la que se repite en el sector inferior del pedestal donde se han grabado leyendas referidas al prócer (Figura 20).

Toda la obra está apoyada en un nivel de escalones cuya composición es la misma que la correspondiente al basamento y sillón, compuesta por un mármol de color gris.

Finalmente, el nivel más bajo de escalones (igual nivel de la vereda) están realizados en una roca ígnea.

Tipo de roca: Todo el conjunto se encuentra realizado en tres variedades petrográficas: caliza, mármol y diorita.

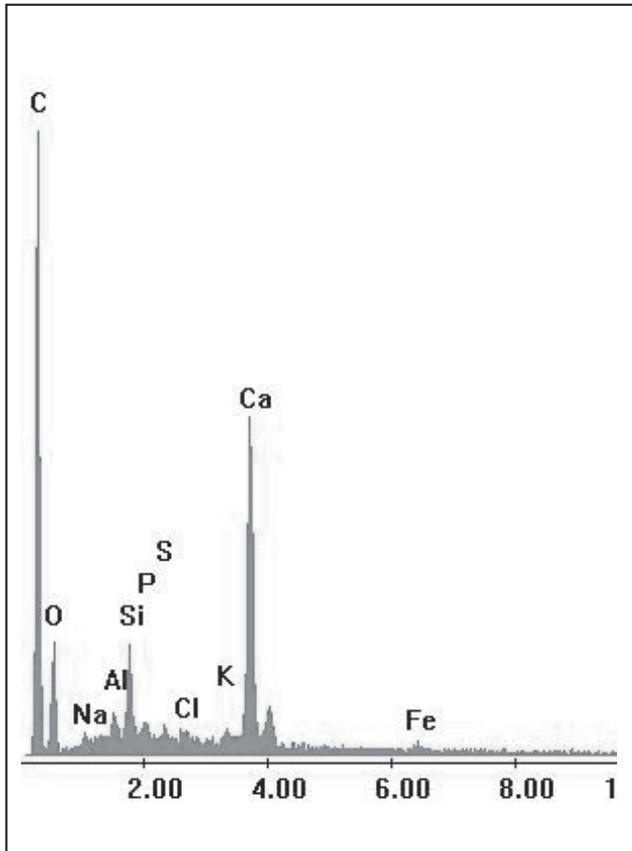


Figura 17: Elementos ligados a la actividad biológica (C, P, S y Cl) establecidos mediante EDAX



Figura 18. Bóveda Rufina de Cambaceres.

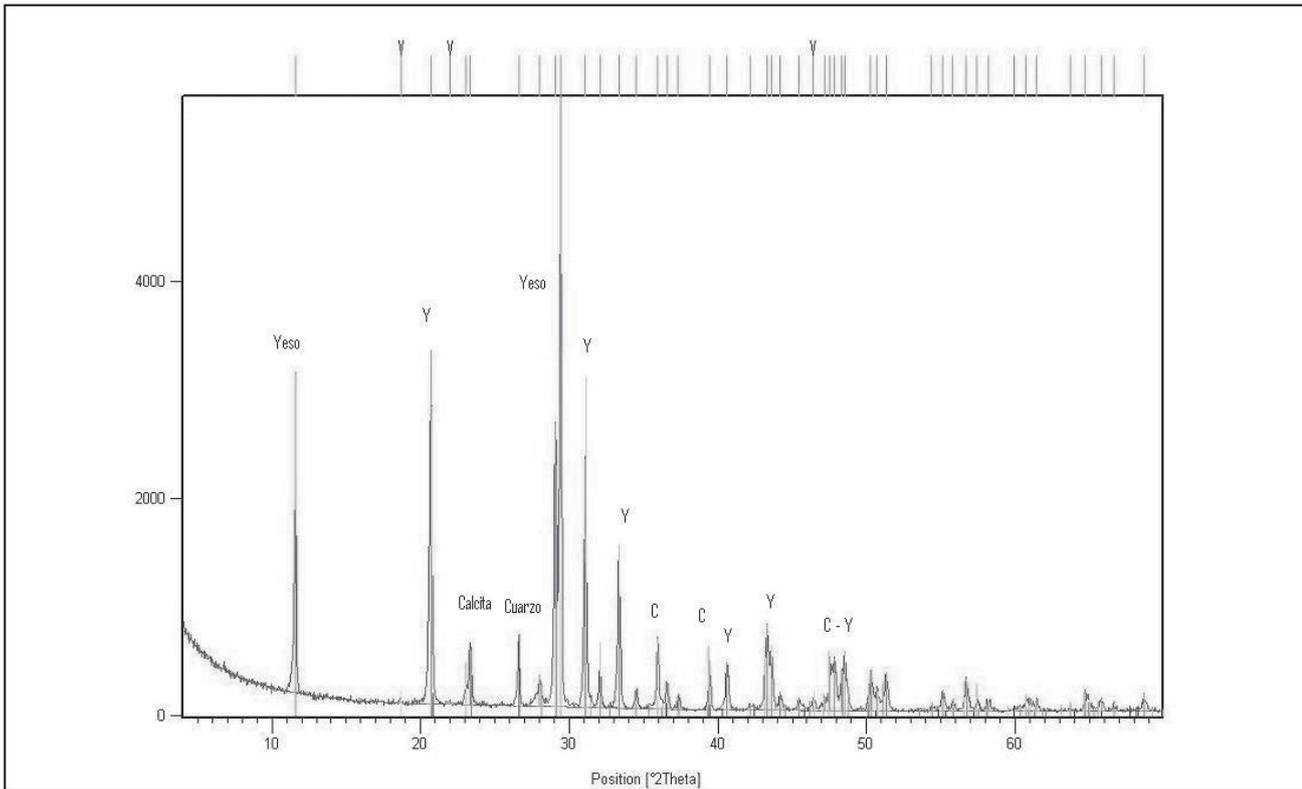


Figura 19. DRX donde se detecta formación de yeso.



Figura 20. Monumento a Virgilio Tedin.

La caliza es de color ocre (señalada a en el monumento) y está formada por una abundante cantidad de partículas esqueléticas en una proporción cercana al 40%, con formas alargadas y curvadas, en parte amorfas, con una composición de micrita, microesparita y esparita (Figura 21). Existe proporción de material vegetal inferior al 10% y material aglomerante cuya composición responde a carbonato micrítico de color rojizo (35%). La clasificación de esta caliza es: caliza fosilífera.

El mármol (señalada como b en el monumento) es la roca en la cual se esculpió el ángel en el frente del monumento y la Justicia (sentada), todo en la variedad de color blanco homogéneo. La textura es granoblástica formada por calcita con cristales cuyo tamaño promedio es 360 μm , mostrando un marcado clivaje romboédrico. También se observó presencia de óxidos de hierro.

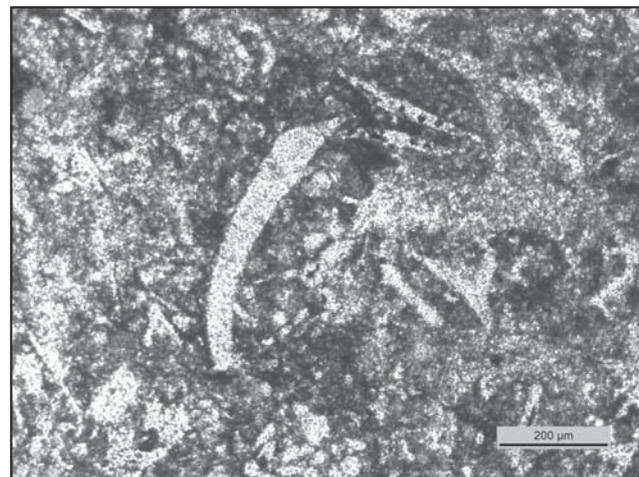


Figura 21. Detalle de la textura de la caliza fosilífera.

Los escalones superiores, el basamento y el sillón (señalado como c en el monumento) fueron realizados en una roca carbonática de color gris, compuesta por calcita. Se observó presencia de óxidos de hierro en especial en los planos de clivaje y en los límites intergranulares. Esta roca ha sido clasificada como mármol.

Los escalones inferiores (señalados como d en el monumento) están constituidos por una roca con textura granosa media compuesta esencialmente por plagioclasa y secundariamente por cuarzo. Las plagioclasas se muestran leve a moderadamente alteradas a argilominerales. Como minerales accesorios aparecen feldespato potásico, biotita, moscovita, clinozoisita y circón. Las biotitas muestran procesos de deferrización, que genera óxidos e hidróxidos de hierro y la clinozoisita se presenta con fracturación avanzada. Esta variedad pétreo ha sido clasificada como cuarzdiorita.

Patologías detectadas: La observación de estas esculturas en mármol de color blanco, permite determinar que se ha producido lixiviación que delimita la circulación de agua, generando pequeños canales de escorrentía pluvial; se relevó la presencia de manchas de color rojizo, en especial en la alegoría que se halla de pié. Otras manchas son de color azulado por oxidación de una corona de laureles de bronce, hoy faltante. Se han desarrollado costras negras en áreas protegidas de la lluvia y puntos amarillentos en diferentes lugares de las esculturas.

En los sectores correspondientes a la variedad marmórea de color gris se detectaron zonas de alta porosidad, pérdida de material y de cohesión. En las placas de ubicación horizontal se ha desarrollado una superficie que por sus características y aspecto ha sido denominada “piel de elefante” (Figura 22).

En el sector a espaldas del monumento (frente al paredón perimetral del cementerio) existe un biofilm el cual se ha visto favorecido en su desarrollo, por períodos sucesivos de alta humedad y escasa ventilación.

La caliza de color ocre se muestra un avanzado estado de deterioro evidentes en la pérdida de material y de la cohesión (Ponce *et al.*, 2011).

9. FATHER FAHY

Ubicación: En el centro del cementerio rodeado de araucarias.

Composición del monumento: Se forma con una estructura central con columnas y bolas decorativas en granito rosado; en el sector superior una cruz céltica y está flanqueado por dos ángeles y al frente un arcángel. Estos tres últimos en mármol blanco (Figura 24).

Tipo de roca: Según antecedentes consultados, todas las variedades pétreas serían originarias de canteras irlandesas (www.stonedevopment.ie).

Los ángeles de los laterales se encuentran esculpidos en mármol de color blanco, que en corte delgado al microscopio se reconoce como mineral principal calcita granoblástica, con eventuales pátinas ferruginosas y minerales accesorios como minerales opacos y cuarzo.

En el caso de la alegoría frontal (arcángel) la composición mineralógica también corresponde a calcita, pero está acompañada de dolomita en forma de gránulos cristalinos con tamaño promedio de 90 μm (Figura 25).



Figura 22. Mármol gris con aspecto de “piel de elefante”.



Figura 23. Aspecto de la caliza color ocre.



Figura 24. Monumento al Father Fahy.

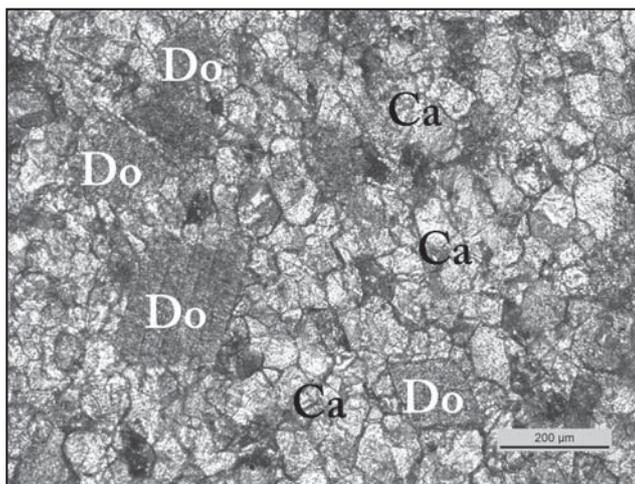


Figura 25. Textura de la roca que constituye el Arcángel. Cristales de dolomita ehuedral inmersa en una matriz formada por calcita.

Las columnas y bolas decorativas han sido realizadas en granito rosado el que presenta abundante cuarzo, feldespato potásico, biotita y minerales opacos. La terminación es pulido brillante.

El basamento y la cruz se hallan realizados en una caliza que posee la característica de contener pelmas de crinoideos, que en corte delgado se muestran junto a cristales de dolomita y un material cementante de tipo carbonático (Figura 26). Los bioclastos son de composición calcárea con formas redondeadas y tamaños máximos de 2 mm. Es posible observar que algunos contienen un centro de calcita recristalizada o de dolomita. Se ven pátinas ferruginosas (Figura 27). Las características petrográficas encontradas coinciden con la caliza Irish Blue explotada en canteras de Kilkenny, Irlanda (www.stonedevopment.ie). La clasificación otorgada a esta roca es caliza bioclástica.

Patologías detectadas: El mármol de las esculturas laterales se ve con una porosidad mayor y desarrollo de puntos amarillentos, con relación a la figura del frente, donde no se detectan tales evidencias. Es probable que la presencia de dolomita en el arcángel haya contribuido a la mejor conservación de la escultura.

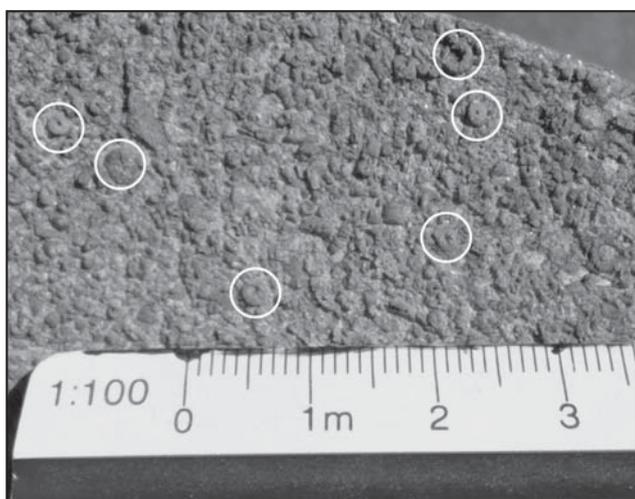


Figura 26. Aspecto de la caliza con crinoideos.

El resto de los materiales pétreos constituidos por granito y caliza bioclástica sólo presentan depósitos de partículas superficiales.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios referidos a los monumentos funerarios expuestos en este trabajo, permiten realizar una diferenciación de patologías según sea el tipo de roca. De esta forma, es posible agrupar aquellas cuya composición es de tipo carbonática tales como dolomita/mármol/caliza de las que se identificaron como cuarzodiorita/gabro/granito.

En el caso de las rocas carbonáticas se han registrado las siguientes patologías:

- **Pátinas ennegrecidas/costras negras:** Formadas por polvo y partículas superficiales, contaminación atmosférica y/o zonas donde no llega el agua de lluvia. En el caso especial de los mármoles el desarrollo de costras negras se produce por la acción de la lluvia ácida producto de la combinación de dióxido de carbono y el dióxido de azufre atmosféricos con el vapor de agua formando ácido sulfúrico y ácido carbónico que actúa sobre el carbonato de la roca disolviéndolo, este último es lixiviado y trasladado en forma de solución, la cual puede depositarse en la superficie pétreo formando un compuesto de yeso y oxalato de calcio tal como sucede en los casos de los monumentos Avellaneda, Soler, Campos y Cambaceres.
- **Pérdida del pulido original.** Debido a la acción de las lluvias y por la heterogeneidad mineralógica. La presencia de vetas de tipo arcilloso produce una superficie irregular por degradación diferencial ante los agentes agresivos que actúan sobre la roca.
- **Aumento de la porosidad superficial** por disolución química de los minerales carbonáticos que constituyen la roca o producto de la acción biológica.
- **Fisuración** a escala microscópica (microfisuración) como consecuencia de la acción de los agentes ambientales. Las fisuras observables a simple vista (macrofisuras) el origen puede ser estructural o antropogénico.

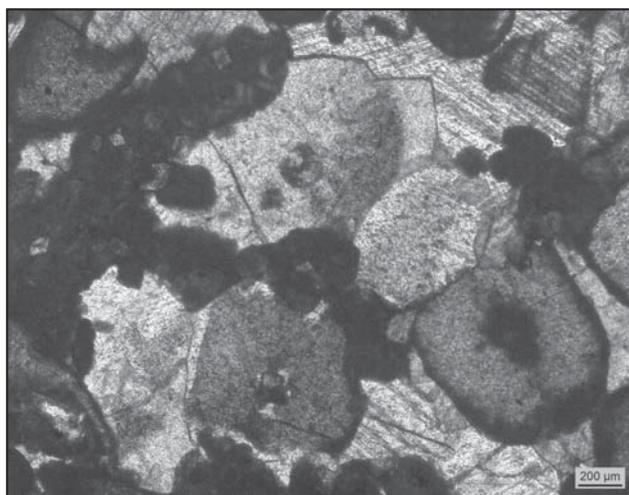


Figura 27. Sección delgada en la cual se observa la estructura de crinoideos.

- **Descamación/oquedades.** Las causas pueden deberse a efectos de ritmos de humectación/desecación, proceso que da lugar a la formación de cristales de yeso, a veces acompañado de oxalatos de calcio, que producen presión sobre la capa superficial de la roca provocando el “estallido” en forma de láminas/placas de la misma. También el desarrollo de orificios (del orden del mm) observados en varios mármoles a veces asociados con aureolas amarillentas. Estas patologías son observadas especialmente en los mármoles que constituyen las esculturas de Luis M. Campos y Rufina de Cambaceres.
- **Manchas:** De diversos colores como amarillento/rojo por la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro o acción biológica. Las de color verdoso (o azulado) suelen aparecer por la oxidación de elementos decorativos de bronce que posea el monumento.
- **Pátinas orgánicas o biofilm.** Los organismos que suelen encontrarse en muchos de los monumentos compuestos por líquenes, hongos y musgos son los responsables de la retención de humedad favoreciendo la colonización y produciendo a su vez ácido que ataca al sustrato, provocando degradación tanto física como química. Los excrementos de las aves que producen ácido nítrico y fosfórico también son responsables de contribuir al deterioro de la roca.
- **Restauraciones deficientes.** Arreglos donde se ha empleado el cemento gris en mármol (Nicolás Avellaneda) quedando como parches que alteran la estética de la obra.
- **Eflorescencias:** En condiciones ambientales, la humedad y temperatura son los factores que controlan los procesos de disolución y precipitación que generan los depósitos de sales, cristalizadas en la superficie, oquedades, microfisuras y contactos intergranulares. La naturaleza composicional de las sales puede vincularse a la solubilización de elementos contenidos en la roca o poseer una composición diferente debido a la interacción de la fase fluida y los componentes atmosféricos (Díaz Vera y Coavoy Ferro, 2006). Mediante EDAX se determinó la presencia de calcita, yeso y anhidrita en diferentes obras analizadas.

A diferencia de los anteriores, las rocas ígneas empleadas en las ejecuciones de los distintos monumentos, clasificadas como granito, gabro y cuarzdiorita, en general presentan escasas patologías asociadas por estar formadas por minerales más resistentes a los agentes agresivos.

- **Microfisuración.** Se observa en los cortes delgados realizados de las litologías ígneas microfisuras intragranulares producto de la alteración incipiente de los feldespatos y minerales ferromagnesianos.
- **Pátinas oscurecidas** por polvo, partículas y concentración de compuestos orgánicos.
- **Cambio cromático:** La alteración de los minerales primarios presentes en las rocas en condiciones de intemperismo, genera fases minerales de neoformación estables a las nuevas condiciones que provocan una modificación cromática distintiva en las áreas afectadas. Por ejemplo, en las plagioclasas parcialmente afectadas por el proceso de hidrólisis, los argilominerales que la reemplazan le imparten una coloración más blanquecina.

Se debe señalar que entre las rocas plutónicas de los monumentos correspondientes a Olivera de Pignetto, Nicolás

Avellaneda, Carlos Brandsen y Luis M. Campos todos ellos situados en áreas perimetrales cercanos a la pared del cementerio mostraron en análisis por EDAX, presencia de elementos metálicos como Pb, Ti, Zn, Fe y eventualmente Cu, Sr y Zr. La presencia y abundancia de los elementos metálicos determinados sugiere que la fuente proviene de los gases generados por el tránsito automotor, el cual es muy intenso en inmediaciones del cementerio. No debe dejar de mencionarse, la contribución aportada por la numerosa cantidad de incineradores de los edificios circundantes, que si bien sólo funcionaron hasta la década del 70 no es extraño encontrar partículas y elementos químicos mencionados, ya que recién aproximadamente en los últimos diez años se lleva cabo la intervención en los monumentos funerarios como tareas de limpieza y mantenimiento.

En el monumento a José C. Paz, ubicado en la zona central del cementerio, no fueron detectados elementos metálicos.

No se hace mención de las obras pertenecientes a Virgilio Tedín y Father Fahy porque a la fecha no se efectuaron estudios por EDAX.

CONCLUSIONES

Mediante las interpretaciones de los diferentes análisis realizados se puede concluir sobre la relación directa que existe entre la vulnerabilidad al intemperismo y la petrografía. Este hecho es evidente en los diferentes grupos escultóricos realizados en mármol y caliza quienes muestran un mayor deterioro que las rocas de origen ígneo, considerando que han sido sometidos a iguales condiciones de exigencia a los factores ambientales.

Las rocas de composición carbonáticas experimentan solubilización de alguna proporción de su composición hecho que genera una mayor superficie de poros a la acción de la lluvia. Este proceso no se produce en las rocas ígneas.

Los minerales ferromagnesianos presentes pueden experimentar, tal como sucede con algunos tipos de biotitas, oxidación por sustitución del Al^{3+} por Fe^{3+} .

La acción de organismos sobre las rocas especialmente carbonáticas, pueden llegar a producir un deterioro superficial, al generarse un incremento en la superficie de poros, hecho que da lugar al acceso de agua.

En el estudio de la durabilidad de las rocas y en el desarrollo de patologías también influye la técnica escultórica aplicada por el autor en los diferentes monumentos. En aquellas obras donde la terminación es de una superficie pulida resisten mejor la acción de los agentes atmosféricos que aquellas donde el trabajo superficial ha sido realizado con tallado o texturado con alguna herramienta.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta con relación a la aparición de patologías, se refiere a elección de los bloques originalmente seleccionados por el escultor, que no ha sido en función de sus características de calidad y ha primado la estética (color u aspecto). Es por ello que se evidencian casos de esculturas con aparición de oquedades e incluso fisuras cuando se trata de mármoles con vetas comparativamente a los más homogéneos (ejemplo Luis M. Campos).

El intemperismo que se produce en el cementerio de la Recoleta, corresponde al ambiente urbano evidente en la formación de eflorescencias salinas (mostradas en el monumento a Luis M. Campos) en cuya composición interviene el azufre con formación de yeso; y en la aparición de elementos metálicos propios de la contaminación ambiental.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CRESPO, M. Y PONCE, M.B., 2002.

Incidencia del deterioro de las costras negras en monumentos pétreos del cementerio de la Recoleta.
VI Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio, Ayolas, Paraguay.

DÍAZ VERA, T. DE J.Y COAVOY FERRO, D., 2006.

Estudio de los efectos contaminantes atmosféricos en los monumentos líticos y patrimonio cultural pictórico de la ciudad de Cusco.

Informe final, nov. 2006

GUIAMET, P.; CRESPO, M.; LAVIN, P.; PONCE, M. B.; GAYLARDE, C., 2011.

Biodeterioration of Funeral Sculptures in Recoleta Cemetery, Buenos Aires, Argentina.

Pre and Post Intervention Studies. XV International Symposium Of Biodeterioration and Biodegradation, IBBS. Sept., Viena, Austria.

PONCE, M.B., 2010.

Alteraciones superficiales desarrolladas en rocas de ambientes urbanos y naturales.

Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 6 (4): 529-534, Buenos Aires.

PONCE, M.B; DÍAZ NAVARRO, J.; AYA PORTOCARRERO, M.A.; CRESPO, M., 2011.

Efectos diacrónicos en la lectura integral de tres monumentos históricos nacionales del cementerio de la Recoleta, Buenos Aires, Argentina.

2° Cong. Iberoam. y X Jorn. Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio. COBREICOPA, La Plata, Buenos Aires.

<http://www.stoneddevelopments.ie/contracting/materials/irish-blue-limestone/chiselled-finish.php>



Análisis de la actividad de movimientos de ladera mediante láser escáner terrestre en el suroeste de la Cordillera Bética (España)

Landslide activity analysis using terrestrial laser scanning at southwest of the Betic Cordillera (Spain)

Irigaray, C. ✉ - Palenzuela, J.A.

Recibido: 26 de Abril de 2013 • Aceptado: 02 de Julio de 2013

Resumen

Para el análisis de de la evolución diacrónica de los movimientos de ladera es necesario conocer su grado de actividad y desarrollo, velocidad, volumen y localización de escarpes y zonas de acumulación o reducción de la masa desplazada. Una de las herramientas más efectivas para la monitorización, caracterización y cuantificación de la evolución del relieve, incluyendo los movimientos de ladera, es la tecnología TLS (Terrestrial Laser Scanning). Mediante esta técnica se puede detectar y cuantificar las variaciones tridimensionales de la morfología de una ladera mediante el tratamiento y análisis de los datos registrados a lo largo del tiempo. Este trabajo presenta la metodología y los resultados obtenidos mediante la combinación de las técnicas TLS y GNSS (Global Navigation Satellite Systems) en la detección y evaluación de reactivaciones y desplazamientos diferenciales de dos deslizamientos localizados en la cuenca del río Guadalfeo al SO de Sierra Nevada (Granada, España) desde 2008 hasta 2010. En el primer deslizamiento (Almegijar) se ha detectado un desplazamiento descendente de hasta 1,8 m, con un gradiente máximo de 1,04 m/año. El volumen de masa desplazada es de 49090 m³, afectando a una superficie de casi 20000 m². En el segundo deslizamiento (Borincho), se han detectado desplazamientos descendientes con gradientes comprendidos entre 0,32 m/año y 0,56 m/año, en una zona afectada de 2610 m². El uso combinado de las técnicas TLS y GNSS ha permitido cuantificar y cartografiar rasgos geomorfológicos de los movimientos de ladera que se consideran de interés para la previsión de la actividad y evolución de dichos movimientos de ladera. El análisis de los datos obtenidos indica que las intensas lluvias registradas entre diciembre de 2009 y marzo de 2010 han actuado como agente activador en los dos deslizamientos estudiados. Se establece el umbral de precipitación necesario para que se inicie la reactivación, comprendido entre 190 mm/mes y 287 mm/mes en el primer deslizamiento y entre 157 mm/mes y 236 mm/mes en el segundo.

Palabras clave: actividad, movimiento de ladera, láser escáner terrestre (TLS), factor desencadenante.

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Granada,
Avda. Fuentenueva s/n, 18071 Granada, España.

✉ clemente@ugr.es

Abstract

For the analysis of the diachronic evolution of slope movements it is necessary to know the degree of activity and development, velocity, volume and location of scarps and zones of reduction and accumulation of displaced mass. One of the most effective tools for monitoring, characterizing, and quantifying the relief evolution, including landslides, is Terrestrial Laser Scanning (TLS). By means of this technique, the three-dimensional variation of the slope features are detected and quantified by the treatment and analysis of data sequences gathered over a given time. This paper presents the methodology and results found combining TLS and GNSS (Global Navigation Satellite Systems) in the detection and assessment of reactivations and differential displacements of two landslides located at the Guadalfeo river basin, at the SW of Sierra Nevada (Granada, Spain) between 2008 and 2010. In the first landslide (Almegijar) a maximum value of downward movement of 1.8 m was measured, with a maximum displacement gradient of 1.04 m/year. The volume of displaced mass is 49090 m³, affecting almost 20,000 m² in extension. In the second landslide (Borincho) downward displacements with gradients between 0.32 m and 0.56 m/year were established and the zone affected by this subsidence covers 2610 m². The combined use of TLS and GNSS permitted a quantification and mapping of complementary terrain features which are considered of interested in the forecasting of further activity and slope evolution of these landslides. The analysis of the data compiled indicates that the intensive rainfall gathered between December 2009 and March 2010 activated the two landslides studied. The rainfall threshold necessary for reactivation has been established at between 190 mm/month and 287 mm/month for the first slide and between 157 mm/month and 236 mm/month for the second one.

Keywords: activity, landslide, Terrestrial Laser Scanning (TLS), triggering factor.

INTRODUCCIÓN

Para evaluar la peligrosidad a los movimientos de ladera es necesario conocer la distribución espacial de los fenómenos de inestabilidad, los datos referentes a su recurrencia temporal así como la capacidad destructiva de los mismos (Chacón *et al.*, 2006). La evolución diacrónica de los movimientos de ladera implica conocer su grado de actividad y desarrollo, frecuencia de nuevas reactivaciones, velocidad de desplazamiento, la localización de las zonas de acumulación o reducción, el área y volumen de la masa desplazada, así como la aparición, distribución y evolución de grietas de tensión y escarpes en retroceso (WP/WLI, 1993; WP/WLI, 1995; Cruden y Varnes, 1996; Fell *et al.*, 2008; Corominas y Moya, 2008; Fernández *et al.*, 2009; Chacón *et al.*, 2010; Chacón 2012).

Una de las herramientas más efectivas para la monitorización, caracterización y cuantificación de la evolución del relieve, incluyendo los movimientos de ladera, es la tecnología LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) mediante el empleo de un láser terrestre TLS (*Terrestrial Laser Scanning*) (Teza *et al.*, 2008; Dunninget *et al.*, 2009; Abellán *et al.*, 2010; Dunninget *et al.*, 2010). Esta técnica proporciona, en tiempo real, una nube de alta densidad de puntos capturados sobre la superficie del terreno en función del tiempo medido entre la emisión y captura de un pulso láser en una determinada dirección, lo que permite detectar y cuantificar las variaciones tridimensionales de la superficie del terreno a lo largo del tiempo sin necesidad de acceder directamente al área afectada por el movimiento de ladera (Lim *et al.*, 2005; Rosser *et al.*, 2005; Oppikofer *et al.*, 2009).

Esta técnica se ha aplicado a diferentes casos de estudio relacionados con la evolución de movimientos de ladera, tales como la detección de la deformación del talud previa a la generación de desprendimientos rocosos (Abellán *et al.*, 2010), la cuantificación del desplazamiento de laderas (Teza *et al.*, 2007; Oppikofer *et al.*, 2009) y otras características morfológicas y geométricas de los movimientos de ladera (Dunning *et al.*, 2009; Dunning *et al.*, 2010).

En este trabajo se presenta la metodología y los resultados obtenidos en relación a la identificación y cuantificación de rasgos morfológicos indicativos de cambios en el terreno asociados a reactivaciones y desplazamientos diferenciales de movimientos de ladera mediante la combinación de las técnicas TLS y GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). La metodología se ha aplicado a dos deslizamientos planares (deslizamiento de Almegijar y deslizamiento de Borincho), localizados en el SO de Sierra Nevada (Granada, sur de España), representativos de un área afectada por numerosos fenómenos de inestabilidad y alta susceptibilidad (Chacón *et al.*, 2006; Irigaray *et al.*, 2007; El Hamdouniet *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2003; Jimenez-Perálvarez *et al.*, 2011).

Los resultados previos obtenidos en el deslizamiento de Almegijar (Fernández *et al.*, 2011; Palenzuela *et al.*, 2011) sugieren una actividad no uniforme con una escala de duración diacrónica de VIII (Chacón *et al.*, 2010), correspondiente a movimientos de ladera con una actividad irregular, alternando fases de baja o nula actividad con reactivaciones debidas principalmente a las fuertes lluvias o tormentas esporádicas, como las que confirman los datos pluviométricos recogidos en el periodo transcurrido entre las dos últimas fechas de adquisición de datos con TLS en este trabajo (03/10/2009 y 06/11/2010).

ZONA DE ESTUDIO

Los deslizamientos planares de Almegijar y Borincho se sitúan en el Complejo Alpujárride, perteneciente al conjunto de unidades mayores de las Zonas Internas de la Cordillera Bética (Figura 1) y constituido principalmente por filitas, esquistos calcáreos, calizas y dolomías localmente recristalizadas, y mármoles del Pérmico Superior y Triásico (Gómez-Pugnaire *et al.*, 2004), aflorando en una franja orientada de NE a SO en el sur de España a lo largo del borde mediterráneo. En concreto, el deslizamiento de Almegijar se ubica en una zona donde afloran filitas con intercalaciones locales de calcoesquistos y cuarcitas de edad Permo-Trías, mientras que el deslizamiento de Borincho ocupa una zona formada predominantemente por

calizas concordantes sobre un lecho de filitas de edad pérmico-triásico. Ambos movimientos de ladera se localizan en la provincia de Granada, en el margen SO de Sierra Nevada y en la parte norte de la cuenca del río Guadalfeo, en una región alomada a fuertemente montañosa, seccionada por los canales afluentes de este río y presentando abundantes movimientos de ladera de diversa tipología (Jiménez-Perálvarez *et al.*, 2009).

Estos dos deslizamientos afectan entre un 40% y un 60% de las laderas donde se sitúan, constituidas sobre un macizo rocoso de baja resistencia y muy baja permeabilidad, dos condiciones que favorecen el proceso de inestabilidad.

Las Figuras 2 y 3 muestran una imagen, con indicación de los principales rasgos geomorfológicos, de cada uno de los deslizamientos estudiados.

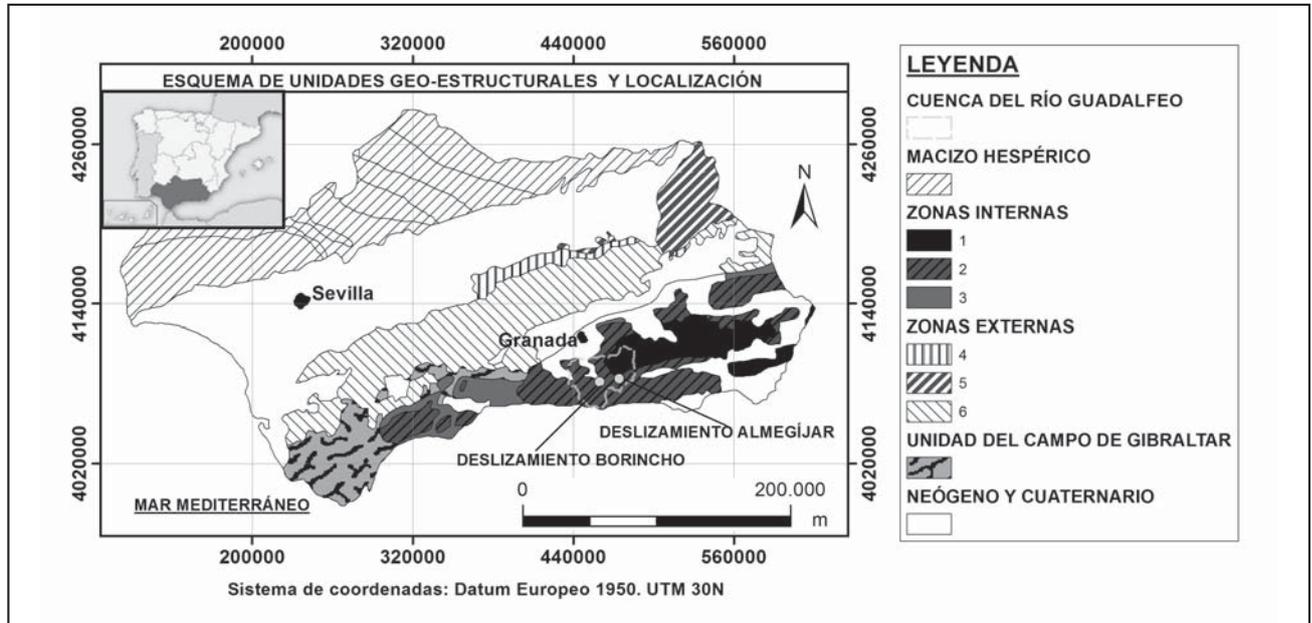


Figura 1. Esquema tectónico de las principales unidades geoestructurales de la Cordillera Bética, con la localización de la cuenca del río Guadalfeo y los dos deslizamientos estudiados. 1. Complejo Nevado-Filábride; 2. Complejo Alpujárride; 3. Unidades Maláguide y Dorsal; 4. Unidades intermedias; 5. Zona Prebética; 6. Zonas Subbética y Penibética.

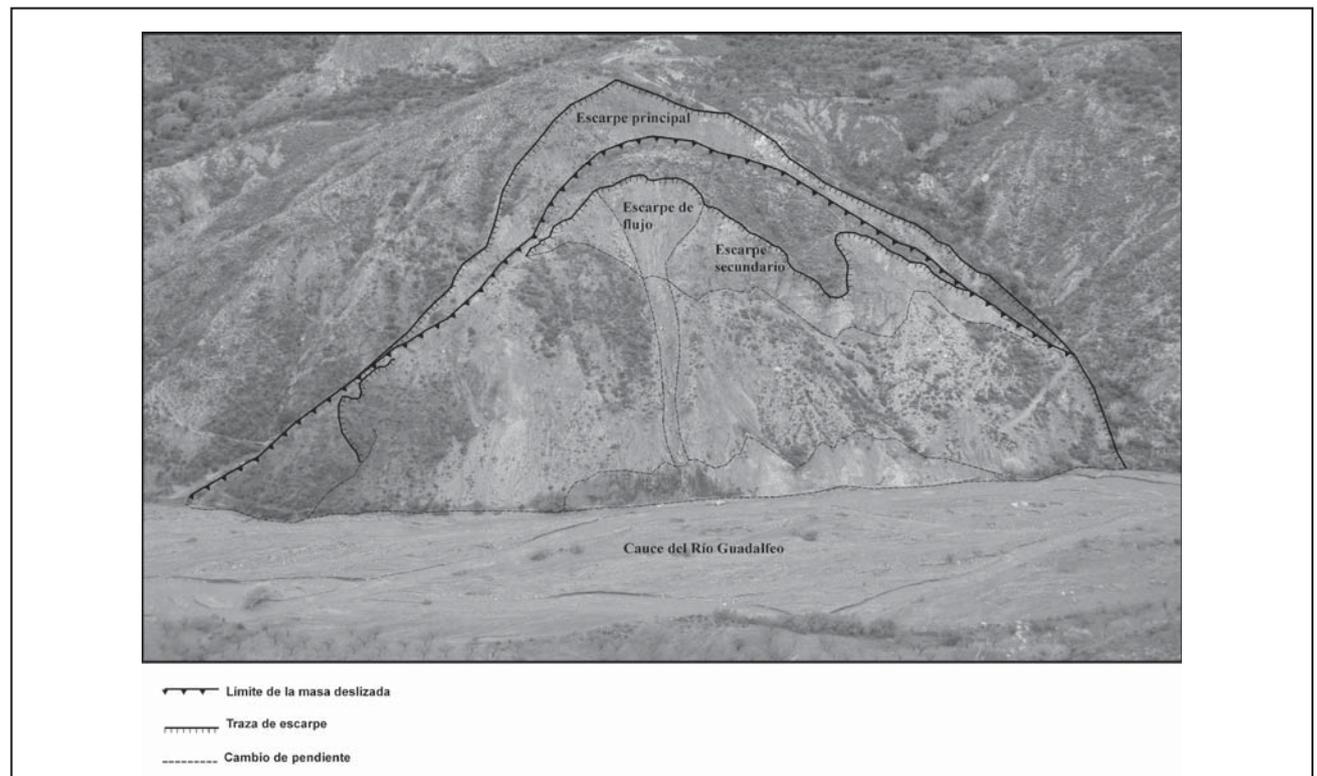


Figura 2. Deslizamiento de Almegíjar con indicación de los principales rasgos geomorfológicos.

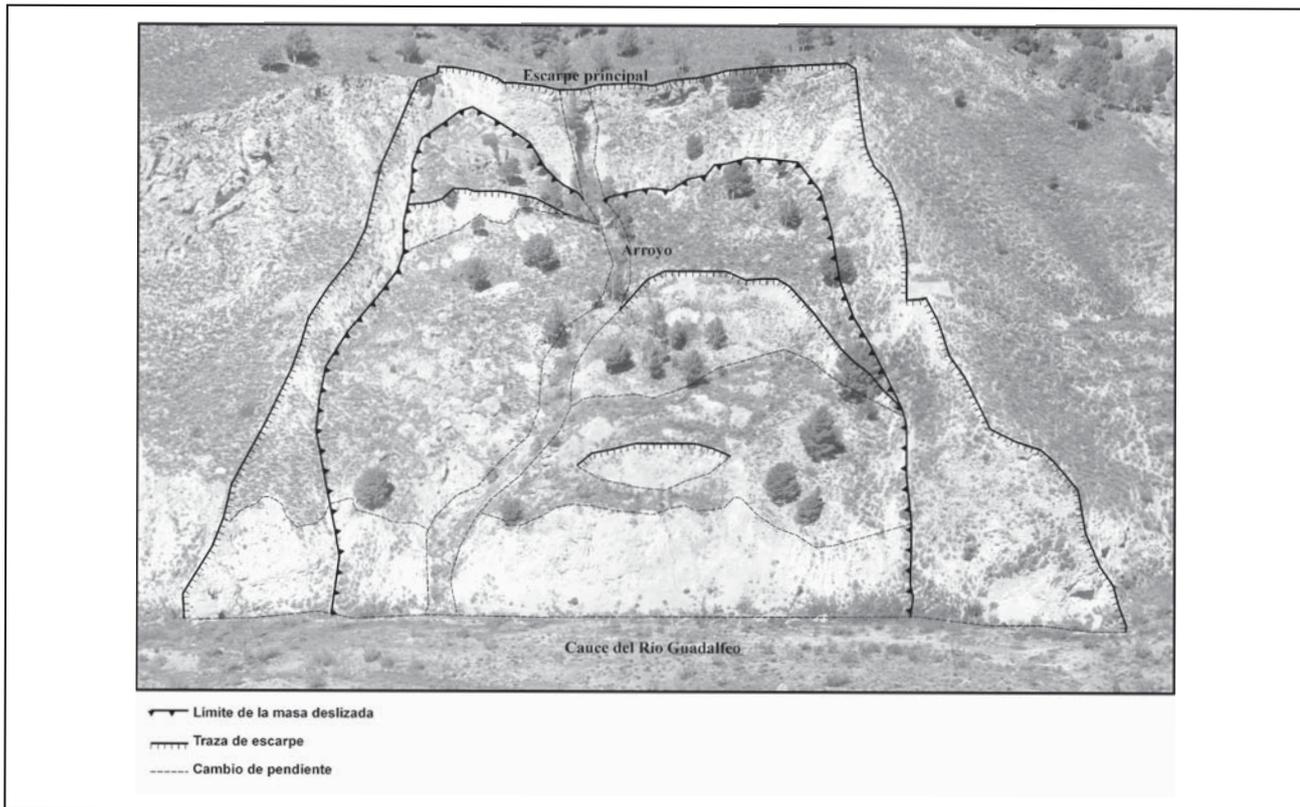


Figura 3. Deslizamiento de Borincho con indicación de los principales rasgos geomorfológicos.

MÉTODOS Y MATERIALES

En esta investigación, se ha utilizado un sistema TLS Riegl 420 i (Riegl, 2011) para la observación remota mediante la técnica de LIDAR terrestre compuesto por un explorador del tipo TOF (*Time Of Flight*), el cual proporciona datos sobre distancias, así como del posicionamiento de los puntos medidos en los sistemas de coordenadas esférico y cartesiano (Teza et al., 2007). Esta tecnología proporciona una alta densidad de medidas (miles de puntos por segundo) con precisión y exactitud centimétrica, permitiendo la exploración de toda la superficie escaneada y la detección de rasgos de pequeño tamaño (Abellán et al., 2011).

El error o la fiabilidad de la medida de posicionamiento en un plano perpendicular a la dirección del rayo láser está determinada por la distancia hasta el objetivo de observación y la divergencia angular del rayo láser (Lichti y Jamtscho, 2006; Riegl, 2011), que alcanza los 0,25 mrad/50 metros en el equipo de medida utilizado. Por otra parte, el error lineal en la distancia medida hasta el objetivo alcanza 1 cm más la proporción de 20 ppm de la distancia resultante. En las laderas estudiadas, con distancias de observación de menos de 600 metros, los errores en la distancia de medida fueron menores de 22 mm, y la dispersión en la posición del punto menor de 125 mm.

Además de las medidas de la distancia, se implementó una georreferenciación directa en coordenadas absolutas (Scaioni, 2005), basada en el método estático de posicionamiento con GNSS de exactitud milimétrica, por la corrección de las mediciones registradas en dos estaciones de observación de referencia permanentes con coordenadas geodésicas exactamente conocidas de la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP). De esta manera se lograron exactitudes mínimas referidas al posicionamiento global de 11mm para la componente horizontal

y 17 mm para la componente vertical para el deslizamiento de Almegñar; y de 37mm y 51 mm, respectivamente, para el deslizamiento de Borincho.

A efectos de cuantificación de los cambios o nuevas formas extraídas de este análisis, se han usado los datos procesados del TLS, los cuales permiten construir modelos más resolutivos y que reproducen mejor la realidad física del relieve. Para ello, se ha empleado una metodología con las siguientes etapas (Figura 4):

Planificación

En esta etapa se seleccionan los movimientos para ser estudiados y se fija la temporización para el escaneo y posicionamiento de medidas (Figura 4.1). Comprende las siguientes tareas:

Selección de los deslizamientos de estudio

A partir de la revisión de los mapas de inventario y susceptibilidad a los movimientos de ladera con información referente a la actividad y el grado de desarrollo (Chacón et al., 2006; Chacón, 2012) disponibles en la región, se seleccionan aquellos que tienen un mayor grado de actividad y se encuentran en la etapa inicial de su desarrollo. En la región de estudio se ha aplicado la metodología basada en el análisis estadístico bivalente mediante una matriz de variables establecidas en un Sistema de Información Geográfica (Irigaray, 1995; Cross 1998; Irigaray et al., 1999; Irigaray et al., 2007; Jiménez-Perálvarez et al., 2009) recientemente optimizado (Jiménez-Perálvarez et al., 2011; Jiménez-Perálvarez, 2012) para establecer y asignar la susceptibilidad relativa. El modelo de procesamiento se construyó con la aplicación de automatización de ArcGIS, ModelBuilder, y fue calibrado (Remondo et al., 2003; Guzzetti et al., 2006) y

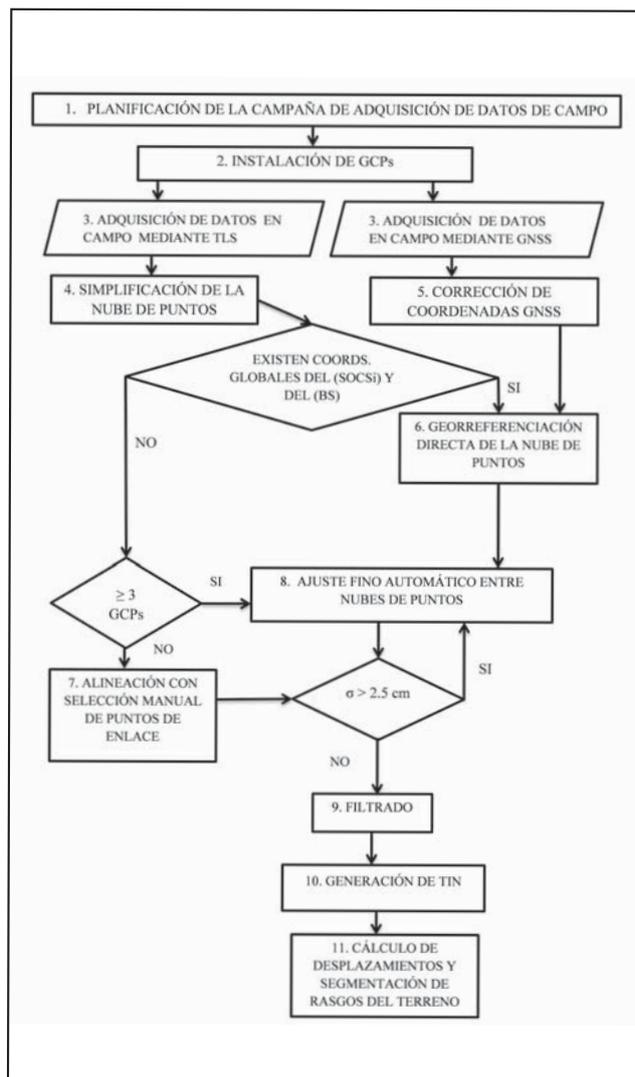


Figura 4. Diagrama de flujo con indicación de las etapas de la metodología desarrollada.

validado mediante el grado de ajuste entre un conjunto de movimientos de ladera (no incluido en el análisis de susceptibilidad) y el mapa de susceptibilidad resultante para la zona afectada por los mismos (Goodchild, 1986; Irigaray et al., 1999; Irigaray et al., 2007).

Determinación de puntos de análisis

La ubicación correcta de los puntos de escaneo permite que las mediciones cubran la mayor parte del objetivo de estudio, minimizando el error acumulativo durante la alineación de los diferentes registros de datos y la minimización de las zonas de sombra.

Temporización de los escaneos

Para el deslizamiento de Almegjjar se realizaron tres secuencias de escaneos en las siguientes fechas: 15 de julio de 2008, 3 de octubre de 2009 y 6 de noviembre de 2010, mientras que para el deslizamiento de Borincho, se realizaron dos sesiones de escaneo, la primera el 3 de diciembre de 2009 y la segunda el 15 de junio de 2010.

Registro de datos de campo

Ubicación y colocación de puntos de control sobre el terreno

Teniendo en cuenta los límites morfológicos de los deslizamientos en aquellas partes de fácil acceso, se usaron puntos de control sobre el terreno (GCPs - *Ground Control Points*), exteriores e interiores a éstos, de forma dispersa y desalineada, como apoyo para lograr una buena correlación entre los datos de enlace de los conjuntos de datos que conforman cada nube de puntos escaneada cuando por alguna circunstancia técnica no se dispone de datos para su georreferenciación directa (posicionamiento con GNSS), o cuando se pretende trabajar con el conjunto global de datos en un sistema de coordenadas relativo propio de una de las posiciones de escaneo (Figura 4.2). Los objetivos o targets para los puntos de control se construyeron con material altamente reflectante y claramente diferenciables entre los puntos de la nube escaneada, con objeto de facilitar una rápida fusión de conjuntos de datos de igual o diferente fecha, sin incluir a los afectados por desplazamientos durante el intervalo de tiempo en el último caso. Los puntos de control, situados en la parte exterior del deslizamiento y en zonas donde los desplazamientos por cualquier otra causa no superan el rango de sensibilidad de la técnica en cuestión (principalmente sobre bloques de roca suficientemente estables), se destinaron a correlacionar las nubes de puntos adquiridas durante diferentes fechas, mientras que los puntos de enlace internos se utilizaron para la alineación de los datos registrados en la misma fecha. Los GCPs se instalaron buscando la mayor visibilidad entre ellos y con las posiciones de escaneo en cada zona de estudio.

Adquisición de datos TLS y GNSS

En esta etapa el escáner fue instalado en diversas posiciones referentes a cada origen de los sistemas de coordenadas propios de escáner (SOCSi - *Scanner's Own Coordinate System*), entre 500 y 600 m de distancia, desde las que fueron capturados los datos (ver posiciones en Figuras 5 y 6). Además, en algunos de los estacionamientos, se dispuso de receptor GNSS para realizar una georreferenciación directa en el sistema de coordenadas global (GLCS - *Global Coordinate System*) a través de la orientación con un punto de vista atrás (BS - *Back Sight*), con el correspondiente registro de sus coordenadas geodésicas mediante un segundo receptor GNSS (Figura 4.3).

Procesamiento de datos

Esta es la etapa más importante de la metodología. Incluye la preparación de los datos brutos, la fusión de la nube de puntos global, su ajuste y construcción del modelo digital del terreno final. El resultado depende fuertemente de la calidad de las alineaciones y de los ajustes entre los diferentes conjuntos de datos. Al final de esta etapa se concluye con la comparación de información e interpretación de resultados.

La reducción de la nube de puntos

La aplicación de un filtro con estructura de árbol octante se usa para minimizar la dispersión de cada conjunto de datos temporales y alcanzar un tamaño manejable por el equipo software y hardware disponible, manteniendo la representatividad de la superficie real por los centros de gravedad de los cubos que constituyen la estructura jerárquica octante con una longitud mínima de 0,1 m manteniendo un espaciado centimétrico dentro de la nube de puntos utilizada para modelar la superficie del terreno. (Figura 4.4).

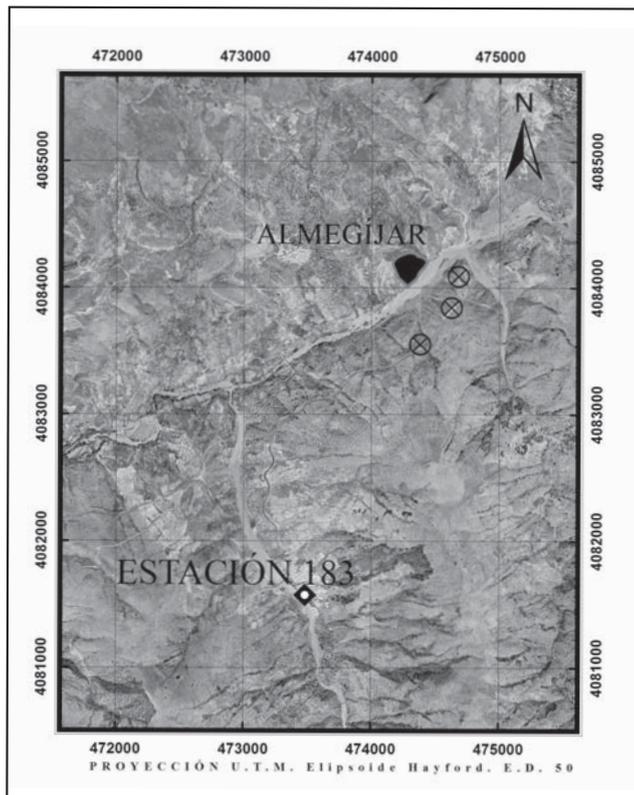


Figura 5. Ortografía con la localización del deslizamiento de Almegijar (en negro), las posiciones de lectura del escáner terrestre (cruces circunscritas) y situación de la estación pluviométrica n° 183.

Corrección de coordenadas GNSS y georreferenciación del sistema de coordenadas de referencia

Cuando los recursos técnicos y dispositivos estuvieron disponibles se usaron dos receptores GNSS en medición continua en ambas posiciones, la de escáner y la del BS, comprobando la horizontalidad de los dos receptores para la correcta orientación directa de ambos (Scaioni, 2005). Sin embargo, las coordenadas no se corrigieron en tiempo real, sino que se corrigieron en post-proceso partiendo de los archivos generados paralelamente en otra estación de referencia suficientemente cercana y ubicada sobre un punto de coordenadas geodésicas bien conocidas (Figura 4.5). La precisión resultante en las coordenadas corregidas por este método es del orden de 3 mm para las coordenadas planimétricas y de unos 5 mm para la altura ortométrica. De este modo, las nubes de puntos quedan orientadas y georreferenciadas de forma directa en el sistema de coordenadas global GLCS (Figura 4.6). La estación de referencia usada en este caso, perteneciente a la RAP, se sitúa a menos de 20 km de distancia.

Alineación

Se trata de un registro o fusión entre cada sistema de coordenadas específico en cada posición de análisis (SOCSi) y uno de ellos elegido como sistema de referencia del proyecto (PRCS - *Project Coordinate System*) (Figura 4.7), el cual suele ser aquel georreferenciado directamente (GLCS). Este procedimiento se lleva a cabo mediante la asignación de puntos de enlace de forma manual (registro grueso), o automáticamente si están disponibles los GCPs (registro fino). Finalmente, el sistema de referencia del proyecto y, por tanto, toda la nube de puntos, se transforma en un sistema de coordenadas global (GLCS) por medio de la georreferenciación directa.

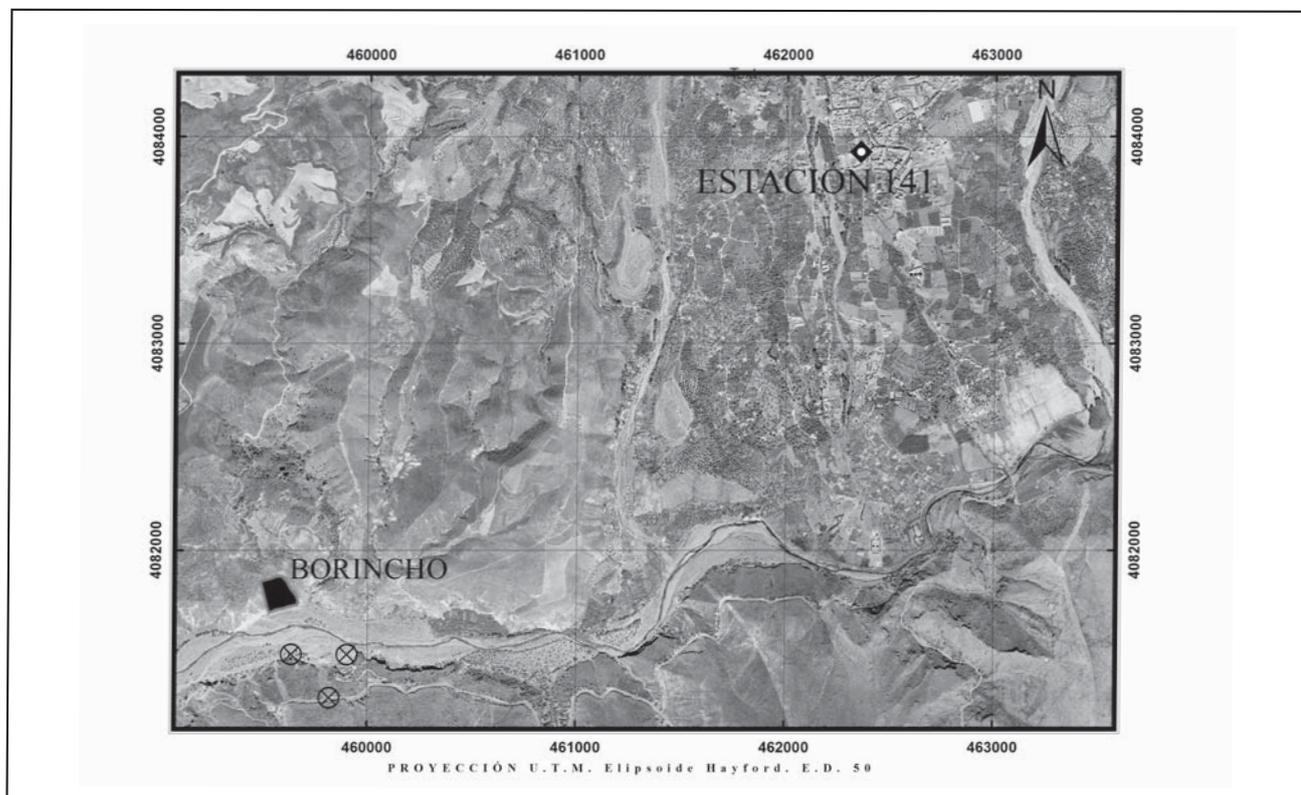


Figura 6. Ortografía con la localización del deslizamiento de Borincho (en negro), las posiciones de lectura del escáner terrestre (cruces circunscritas) y situación de la estación pluviométrica n° 141.

En el deslizamiento de Almegíjar, los GCPs estaban disponibles para todas las posiciones de exploración, menos en un caso en el cual se encontraron algunas dificultades en la detección de un número suficiente de puntos de enlace para una alineación automática. Excepto en esa posición, donde la desviación estándar entre las posiciones de los puntos de enlace de un conjunto de datos y las correspondientes en el PRCS fue de 47 cm, el valor inicial de los conjuntos de datos alineados estaba entre 1 cm y 7,7 cm.

En el deslizamiento Borincho sólo estuvieron disponibles los puntos de control de la 2ª adquisición de datos y, por lo tanto, la nube de puntos correspondiente al registro de fecha 03/12/2009 fue alineada por medio de un registro grueso, mientras que los GCPs previamente instalados permitieron una alineación automática para los puntos medidos en la sesión de 15/06/2010. En el primer caso de registro grueso, la desviación estándar de los valores alcanzó entre 12 cm y 20 cm; en cambio, para el registro automático el valor fue de tan sólo 0,8 cm.

Ajuste multiestación

Cuando los errores en la transformación de coordenadas por el método de orientación directa o la alineación manual alcanzaron valores superiores a 2,5 cm, se mejoraron los parámetros de la matriz de transformación ejecutando el ajuste multiestación de los SOCSi hasta que los errores quedaron por debajo de ese valor (Figura 4.8). Este procedimiento de ajuste se basa en el mecanismo matemático de búsqueda iterativa del punto más cercano (ICP, *Iterative Closest Point*), una técnica de ajuste repetitiva y supervisada que ejecuta un algoritmo implementado por la mayoría de paquetes de software para tratamiento 3D, como es el caso del software Riscan Pro usado en esta investigación (Riegl, 2011). El algoritmo ICP aquí empleado, mucho más desarrollado ahora que en sus orígenes, no sólo calcula la distancia entre objetivos artificiales, puntos de enlace u objetos creados con un filtrado previo de superficies planas, sino también los ángulos entre los vectores normales de planos artificiales de enlace creados para cada conjunto de datos, tratando de minimizar estos valores en cada iteración.

Por medio de este ajuste se pudo alcanzar una desviación estándar final entre 0,5 cm y 2,5 cm para el caso del deslizamiento de Almegíjar, y entre 0,8 cm y 2,2 cm para el de Borincho.

Filtrado de rasgos no aceptables por el análisis

A continuación de la etapa de ajuste se elimina la vegetación, que constituye un ruido en el análisis de los cambios topográficos de la superficie terrestre (Figura 4.9). En el caso del terreno irregular en estudio, las pruebas realizadas para la eliminación automática de la escasa vegetación existente, mediante el uso de una malla de paso determinado, ajustada con cierta precisión a la nube de puntos global como base para clasificar los puntos superiores (supuesta vegetación y otros objetos externos al terreno) e inferiores (superficie del terreno), mostraron múltiples errores ya que se eliminaban zonas de la superficie del terreno y, además, el tiempo necesario para ello no era menor que el empleado en la eliminación directa mediante una visualización selectiva del área escaneada. Por ello, en este caso se optó por un método semiautomático, el cual consiste en la eliminación de "puntos flotantes" que quedan desplazados respecto a la tendencia general de la cota de los puntos del terreno. Para ello se seleccionaron de forma progresiva secciones adyacentes de la nube de puntos con secciones entre 2 m y 20

m de ancho, dependiendo de la densidad de vegetación observada, y progresivamente se fue desplazando a lo largo de toda la superficie escaneada (Riegl, 2011).

Triangulación

Una vez filtrados todos los datos de la observación, se construye un modelo matemático de referencia para la comparación de datos temporales (Figura 4.10), creando una red irregular triangular (TIN - *Triangulated Irregular Network*) utilizando el algoritmo de triangulación Delaunay (Boris, 1934).

Análisis de la información e interpretación de los resultados

En esta fase se han utilizado las herramientas para el análisis comparativo de datos multitemporales que incorpora Riscan Pro (Riegl, 2011), con el fin de comparar las posiciones anterior y posterior de las superficies estudiadas (Figura 4.11). La comparación de objetos frecuentemente se lleva a cabo a través del método del ICP, pero al contrario que en el caso del ajuste de partes iguales escaneadas desde diferentes puntos, aquí se trata de fusionar partes movilizadas unas respecto a otras. Una vez que la base de datos (puntos) o malla en estudio se ajusta a la de referencia (es decir, una TIN que modela la superficie para una fecha distinta de la de la base de datos) mediante rotaciones y translaciones que minimizan el error medio y mínimo cuadrático de los módulos de vectores que unen puntos cercanos o ángulos de vectores normales a polígonos correspondientes del modelo de referencia y el conjunto de datos temporales, se calculan los módulos de vectores de desplazamiento o separación entre este punto y un objeto situado en una dirección dada respecto a aquel. Ese punto suele ser el mismo punto más cercano que satisfizo el ajuste final por el mecanismo del ICP. Sin embargo, esta técnica suele ser más fiable en superficies donde el gradiente de curvatura sigue tendencias más o menos permanentes durante secciones del dominio del espacio real o imaginario que ocupan los modelos digitales de ese objeto. Esto no suele ocurrir en formas naturales del terreno, excepto en algunas partes como caras lisas de escarpes, taludes planos de roca, etc. En cambio, las herramientas utilizadas aquí y diseñadas para la ingeniería inversa aplicada sobre objetos lejanos y naturales, una vez que las superficies se encuentran en sus posiciones de ajuste, calculan la distancia mínima (D_i) desde los puntos o nodos (q_i) de la base de datos (o malla poligonal) a un plano determinado o un polígono de la malla de referencia.

En principio podría elegirse un plano de referencia perpendicular a la dirección de la distancia de cálculo entre los planos principales (XY, XZ, YZ), o algún otro creado por el usuario en la orientación que crea más conveniente para el desplazamiento buscado. En este caso la distancia se calcularía perpendicularmente a ese plano y desde q_i al polígono de la malla de referencia que corte el vector perpendicular al plano de referencia. Sin embargo, volviendo a las dificultades que se presentan en el estudio de grandes superficies naturales, sería muy complicado crear un plano de referencia en la orientación correcta, además del gran número de planos de referencia que haría falta para medir todos los posibles desplazamientos en las distintas direcciones que realmente ocurren.

Por todo ello, en este trabajo se optó por otra variante que calcula la distancia desde q_i a la de un plano de referencia variante cuyo vector ortonormal en cada momento es un promedio de aquellos normales a los triángulos adyacentes al punto

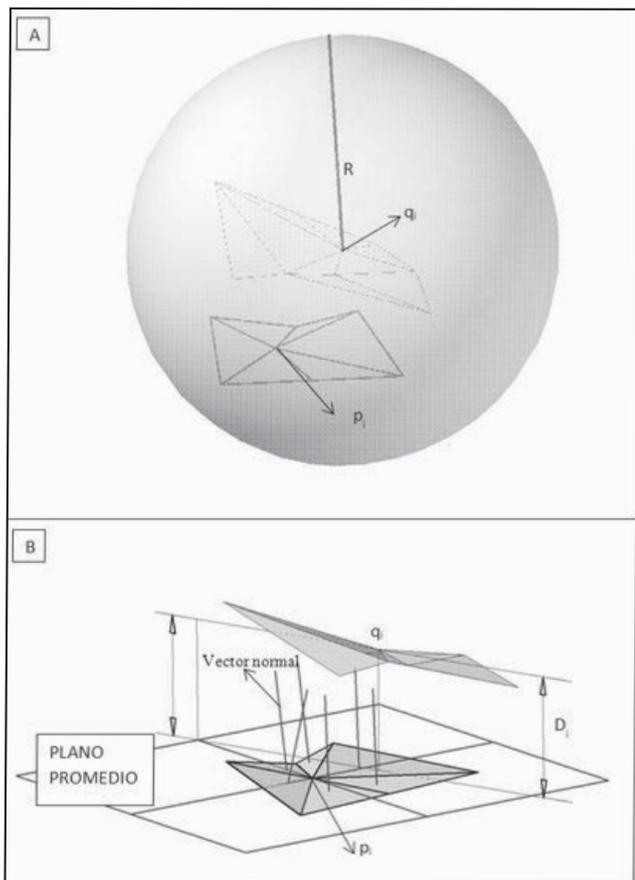


Figura 7. A: Esfera de radio de búsqueda R del punto p_i de la superficie de referencia más cercano al punto q_i de la superficie problema. B: Determinación de la distancia D_i .

más cercano (q_i), en la misma dirección de ese vector (Figura 7). En este caso, el punto q_i de la superficie de referencia es aquel situado a una distancia menor de entre los restantes en un espacio esférico alrededor del punto q_i , y cuyo radio de búsqueda o de esfera se especifica por el usuario (Figura 7).

Una vez que se han calculado los desplazamientos, los triángulos adyacentes a q_i fueron clasificados en función de sus valores, dando como resultado una distribución del mínimo desplazamiento experimentado y su sentido aproximadamente en dirección perpendicular a la superficie de referencia u orientación del plano promedio. Esta clasificación se realizó de manera supervisada, teniendo en cuenta la detección y cuantificación de los rasgos de la ladera relacionados con el deslizamiento. Los valores fueron diferenciados entre positivo y negativo, cuando q_i cayó por encima o por debajo del plano medio, respectivamente. Los valores negativos fueron interpretados como áreas de pérdida de relieve por erosión, hundimientos, retroceso de escarpe, etc., mientras que las zonas clasificadas con valores positivos corresponden a zonas de sedimentación, avance de la masa de la ladera, acumulación de derrubios, etc.

RESULTADOS

Evolución geomorfológica del deslizamiento de Almegijar

Período julio de 2008 a marzo de 2009

Se detectaron sólo variaciones topográficas derivadas de procesos erosivos con valores en el rango: -0,15 a 0,50 metros con referencia a la superficie del relieve existente en julio de 2008. La mayor erosión se concentra en la parte más alta del

escarpe, mientras que el engrosamiento del abanico aluvial, en la parte baja de un barranco, había registrado el valor máximo de acumulación. Por lo tanto, al no haberse detectado componentes deformacionales de la masa desplazada, en ese intervalo el deslizamiento permaneció inactivo según la precisión de detección con esta metodología.

Período marzo de 2009 a junio de 2010

Con un rango de valores seleccionado entre -4,40 m y 1,30 m se han clasificado los desplazamientos calculados para la masa movilizada en el deslizamiento de Almegijar (Figura 8).

Dentro de esta gama de valores se interpretó un avance general de la mitad inferior de la masa de hasta 1,30 m, lo que representa un avance de 1,04 m/año. En cambio en la parte superior de la masa, los desplazamientos ortogonales máximos entre superficies indicaban un hundimiento promedio de 0,70 m, con un valor máximo de 1,20 m, el cual corresponde a una tasa máxima de hundimiento de 0,96 m/año. También se pudo cuantificar el área y volumen (19345 m² y 49090 m³ respectivamente) de la parte desplomada por la erosión al pie del deslizamiento, provocada por la escorrentía fluvial, datos que a posteriori se podrán utilizar como descriptores indirectos en la predicción de la evolución del deslizamiento a consecuencia de la pérdida de soporte en su base.

Todos estos resultados indican una reactivación del deslizamiento de Almegijar con una deformación en acortamiento durante el último intervalo temporal similar a una forma de arco en compresión, con su extensión longitudinal (de abajo a arriba) acortada, mientras la mitad inferior del deslizamiento se extiende o avanza hacia la parte externa de la masa movilizada (Figura 8).

Evolución geomorfológica del deslizamiento Borincho

Período 3/2009 a 6/2010

Los valores negativos más altos coinciden con la erosión que afectan al pie de la masa desplazada en el borde del cauce del río Guadalfeo (Figura 9). Estas características, igualmente que en el caso anterior, se registran como descriptores indirectos útiles para evaluar la frecuencia de reactivación del deslizamiento basándose en la cantidad de masa reducida al pie del movimiento de ladera. Los depósitos masivos generados durante este período se concentran en zonas con un ángulo de inclinación menor o en zonas cóncavas (pequeños barrancos y partes bajas de los flancos del deslizamiento), y apenas superan el decímetro de incremento de espesor. Expandiendo la escala de valores negativos en la zona de mayor hundimiento, situado a la derecha de la base del deslizamiento, se hizo posible la distinción de una zona con valores que oscilan entre 8 cm y 70 cm (Figura 10), compuesta por tres formas semi-elípticas interpretadas como un conjunto de pequeños deslizamientos planares en estado incipiente cuyo volumen de masa queda dispuesto para una posible reactivación (Figura 9). La zona afectada por esta subsidencia ocupa 2610 m² con una tasa de subsidencia entre 0,32 m/año y 0,56 m/año.

Factores desencadenantes

Los principales factores desencadenantes de los movimientos de ladera son los terremotos y las lluvias (Wieczorek, 1996; Irigaray et al., 2000; Chacón et al., 2006; Chacón, 2012). Aunque los terremotos han producido deslizamientos en la Cordillera Bética (Delgado et al., 2011; Chacón, 2012), no se han

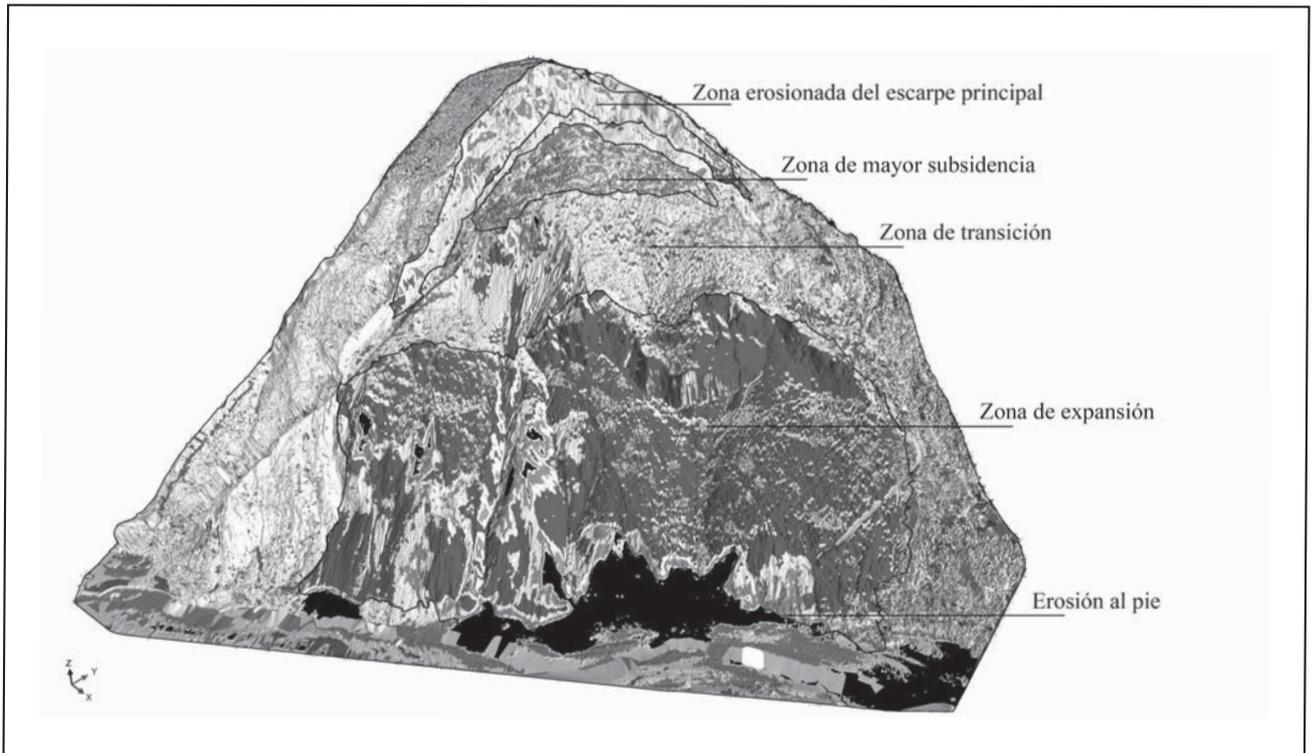


Figura 8. Reclasificación de los desplazamientos calculados en el deslizamiento de Almegijar entre marzo de 2009 y junio de 2010. En gris claro, zonas de hundimiento y/o erosión de la parte alta de la masa desplazada; en gris oscuro, zonas con mayor avance de la masa desplazada; en negro, la zona erosionada al pie del deslizamiento y, en blanco, las partes que apenas han cambiado su morfología.

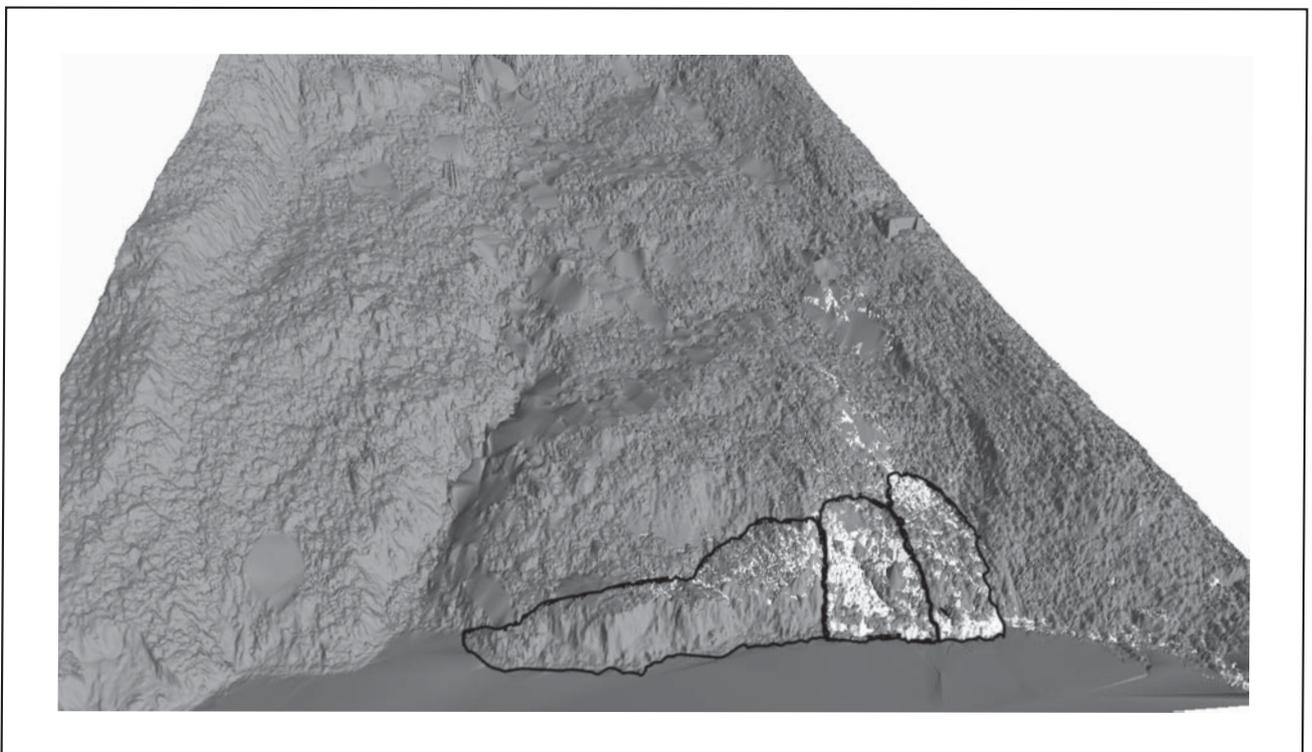


Figura 9. Vista frontal del deslizamiento de Borincho, donde se observa el inicio de la reactivación de la base del movimiento registrada entre marzo de 2009 y junio de 2010. Las trazas delimitan 3 deslizamientos secundarios en estado incipiente.

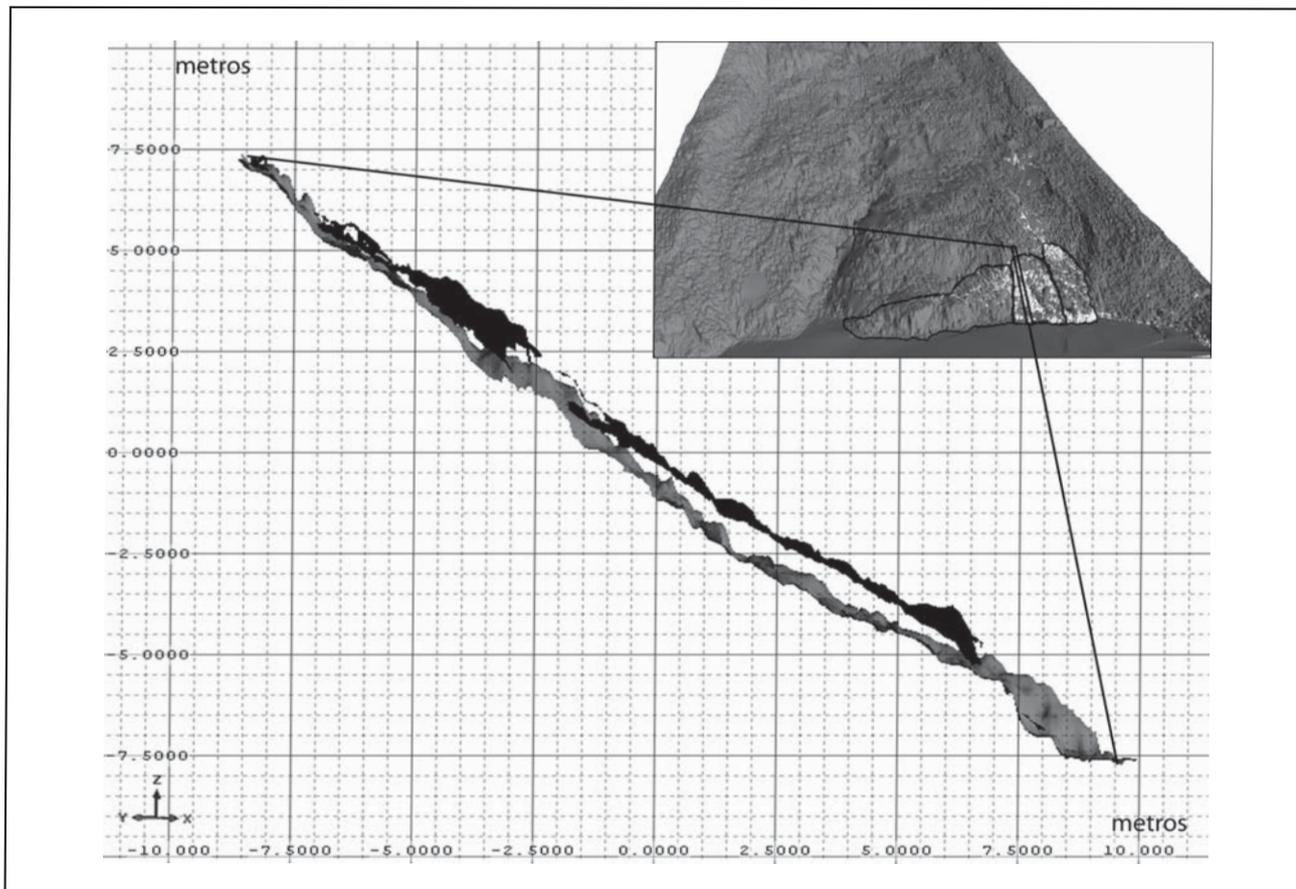


Figura 10. Vista lateral de una sección de anchura métrica del deslizamiento de Borincho, según la dirección indicada sobre la vista frontal representada en el recuadro superior derecho. Se muestra un hundimiento de la superficie de 2010 en una posición inferior (gris oscuro), con respecto a la de 2009 en la posición superior (negro). La escala métrica permite cuantificar variaciones de hasta 70 cm entre estas dos superficies.

registrado terremotos significativos en las zonas de estudio durante los periodos evaluados (IAG, 2013).

Se han revisado los datos pluviométricos en dos estaciones localizadas en las proximidades de los deslizamientos estudiados (Figuras 5 y 6) entre enero de 1945 y diciembre de 2012. Para este periodo, la precipitación media anual en la zona de Borincho (estación n° 141-Órgiva) es de 456,5 mm y de 554,4 mm en el sector de Almegíjar (estación n° 183-Torvizcón), alcanzándose los valores mensuales más altos durante el mes de diciembre (78,7 mm y 95,2 mm respectivamente). Considerando el período en el que se realizaron las medidas con Láser Escáner (2008-2010), se observa un valor máximo durante el mes de diciembre de 2009 (296,9 mm en la estación n° 141 y 377 mm en la estación n° 183), valores que superan en más de un 350% la media mensual del mes más lluvioso en las zonas de estudio (Tabla 1).

En las figuras 11, 12 y 13 se han representado la precipitación diaria acumulada para el periodo estudiado, la lluvia media acumulada para el periodo 1945-2012 y las fechas de adquisición de datos con TLS. En el caso del deslizamiento de Almegíjar, la lluvia diaria acumulada para el periodo 2008-2009 (Figura 11), aunque es superior a la media diaria acumulada, en ningún mes la sobrepasa en una cantidad superior al 215% (213% en febrero de 2009, ver Tabla 1). Si se considera el periodo más lluvioso comprendido entre octubre y marzo, la llu-

via diaria acumulada 2008-2009 sólo representa el 113% de la lluvia diaria media acumulada 1945-2012 (Tabla 1). Estos valores no han sido suficientes para producir la reactivación del movimiento durante este periodo. Sin embargo, si se considera el periodo 2009-2010, tanto para el deslizamiento de Almegíjar (Figura 12) como para el de Borincho (Figura 13), la precipitación acumulada entre diciembre de 2009 y marzo de 2010 alcanzó valores de 1010,5 mm en la estación n° 183 (Almegíjar) y de 743,3 mm en la estación n° 141 (Borincho), lo que representa más del triple de la media de los meses más lluviosos (Tabla 1). Los datos del TLS han puesto de manifiesto la reactivación de ambos deslizamientos durante este periodo, lo que indica que el agente desencadenante en los dos casos ha sido las intensas lluvias caídas entre diciembre de 2009 y marzo de 2010.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La metodología desarrollada con la tecnología TLS se ha mostrado como un procedimiento preciso para detectar pequeñas variaciones en las características geomorfológicas partiendo de la adquisición de las mediciones de las posiciones sobre la ladera en estudio situados entre 500 y 600 metros de distancia. Por lo tanto, esta metodología proporciona información sobre la evolución temporal de la actividad de movimientos de ladera diacrónicos en el área de estudio, relacionados

Tabla 1. Precipitación acumulada mensual para los periodos octubre-marzo y diciembre-marzo, considerando los valores correspondientes a los años hidrológicos 2008-2009, 2009-2010 y media del intervalo 1945-2012 en las estaciones de Torvizcón (n° 183, próxima al deslizamiento de Almegíjar) y Órgiva (n° 141 próxima al deslizamiento de Borincho).

ESTACIÓN		oct	nov	dic	ene	feb	mar	oct-mar	dic-mar
N° 183 (Torvizcón)	Media 1945-2012 (mm)	59,1	75	95,2	72	64,9	61,4	427,7	293,5
	2008-2009 (mm)	104	65	87	48	138	43	485	316
	(% sobre media)	176%	87%	91%	67%	213%	70%	113%	108%
	2009-2010 (mm)	27	17,5	377	205	273,5	155	1055	1010,5
	(% sobre media)	46%	23%	396%	285%	421%	252%	247%	344%
N° 141 (Órgiva)	Media 1945-2012 (mm)	48,8	62,8	78,7	65,4	51,8	46,6	354,1	242,5
	2009-2010 (mm)	20,4	18	296,9	125,6	177,2	143,6	781,7	743,3
	(% sobre media)	42%	29%	377%	192%	342%	308%	221%	307%

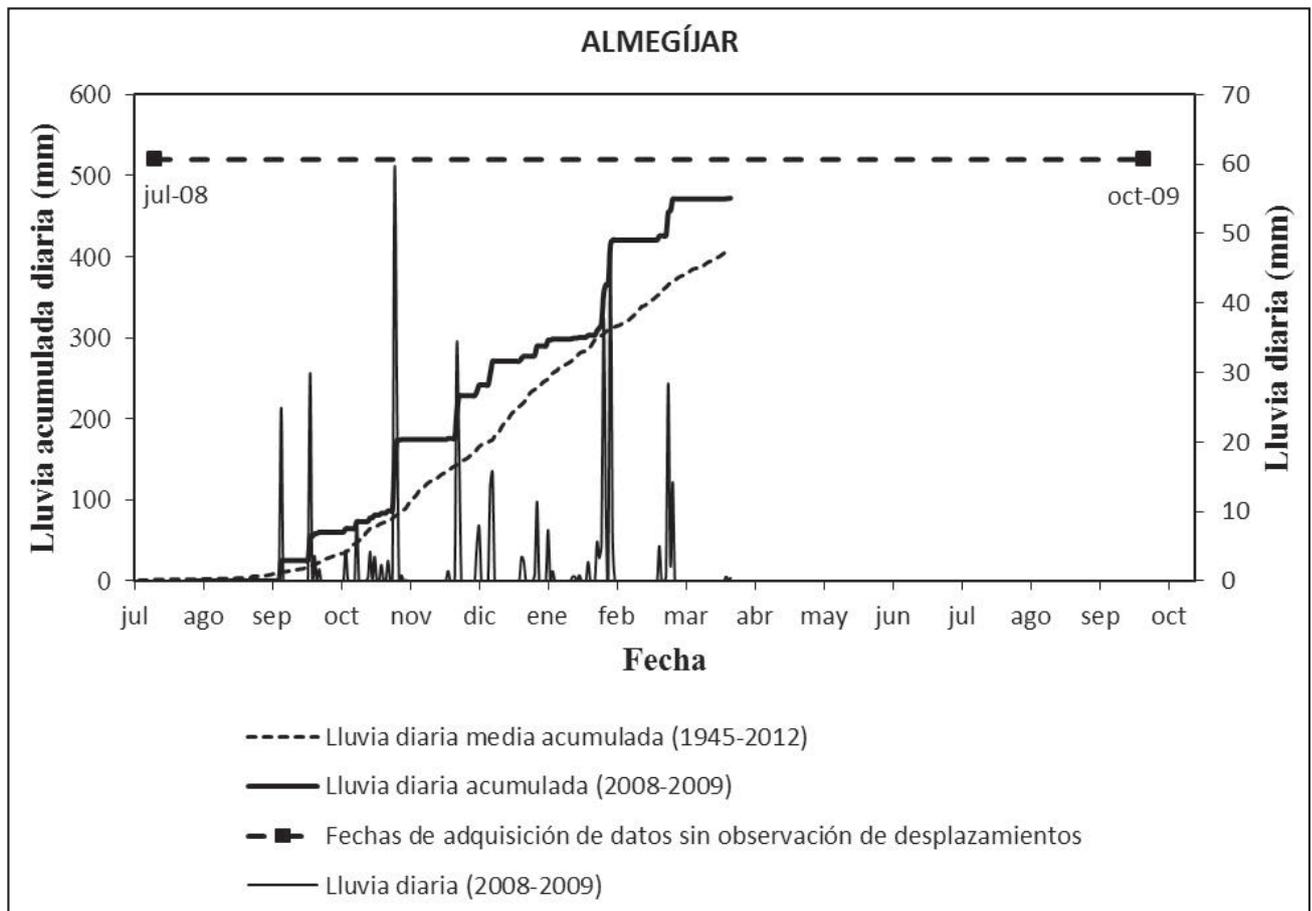


Figura 11. Lluvia diaria y acumulada en la estación n° 183 (Tórvizcón), donde se indica las fechas de adquisición de datos TLS sin observación de desplazamientos en el deslizamiento de Almegíjar.

con eventos activadores extraordinarios, detectando cambios diferenciales de la topografía antes de la ruptura súbita de la pendiente sin la necesidad de acceder a las inmediaciones de la masa de terreno afectada. El análisis de la aplicación de la metodología a los dos deslizamientos estudiados ha permitido establecer las siguientes conclusiones:

- Los desplazamientos diferenciales calculados y clasificados para el deslizamiento de Almegíjar muestran que experimentó una reactivación en el período comprendido entre marzo de 2009 y junio de 2010 y estuvo suspendido entre julio de 2008 y marzo de 2009. Esta

reactivación resultó en una deformación de acortamiento a lo largo de su eje longitudinal y la extensión perpendicularmente a esa dirección, dando a la masa una forma arqueada.

- En el deslizamiento de Borincho, estudiado entre marzo de 2009 y junio de 2010, se localizó un hundimiento diferencial de la ladera al pie de la masa desplazada en un rango variable desde centímetros a algunos decímetros (0,08 m - 0,70 m), asociados con 3 nuevas rupturas de pendiente en el estado incipiente de las etapas iniciales de la actividad y presentando una morfología

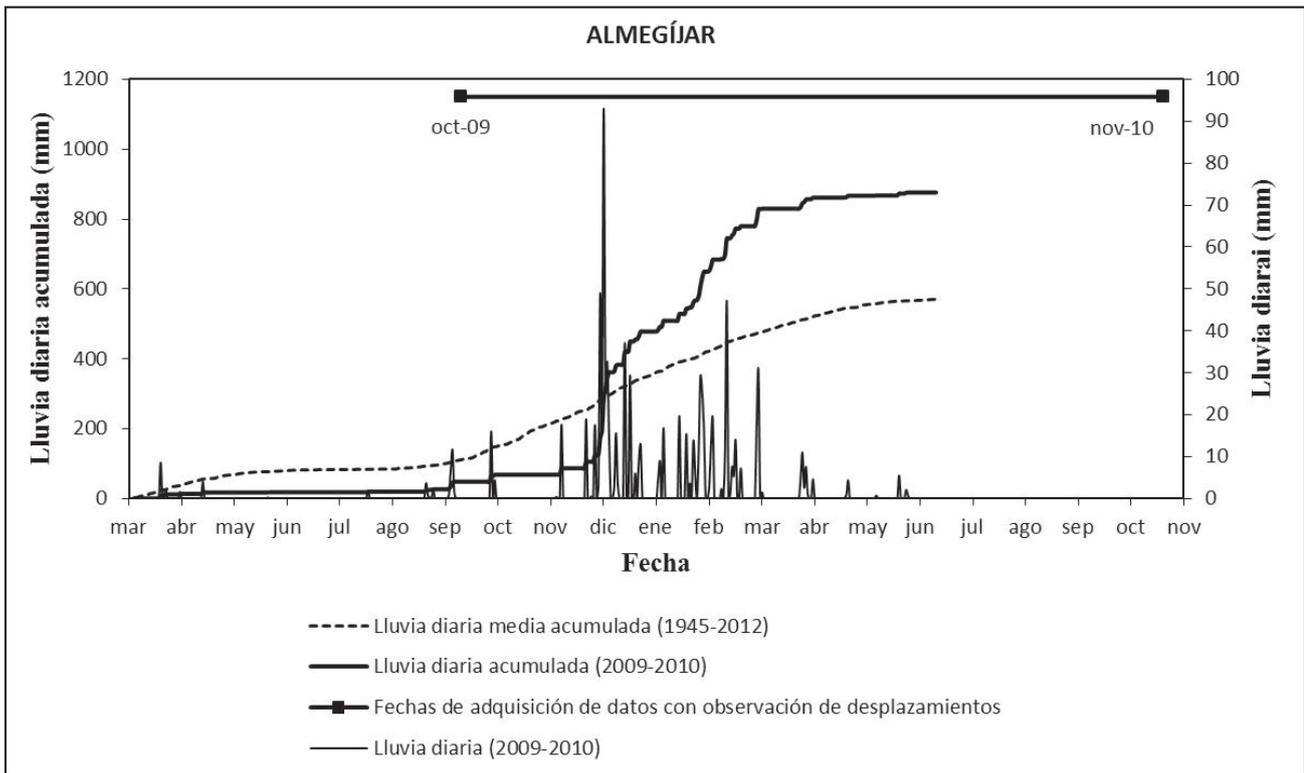


Figura 12. Lluvia diaria y acumulada en la estación nº 183 (Torvizcón), donde se indica las fechas de adquisición de datos TLS con observación de desplazamientos en el deslizamiento de Almegíjar.

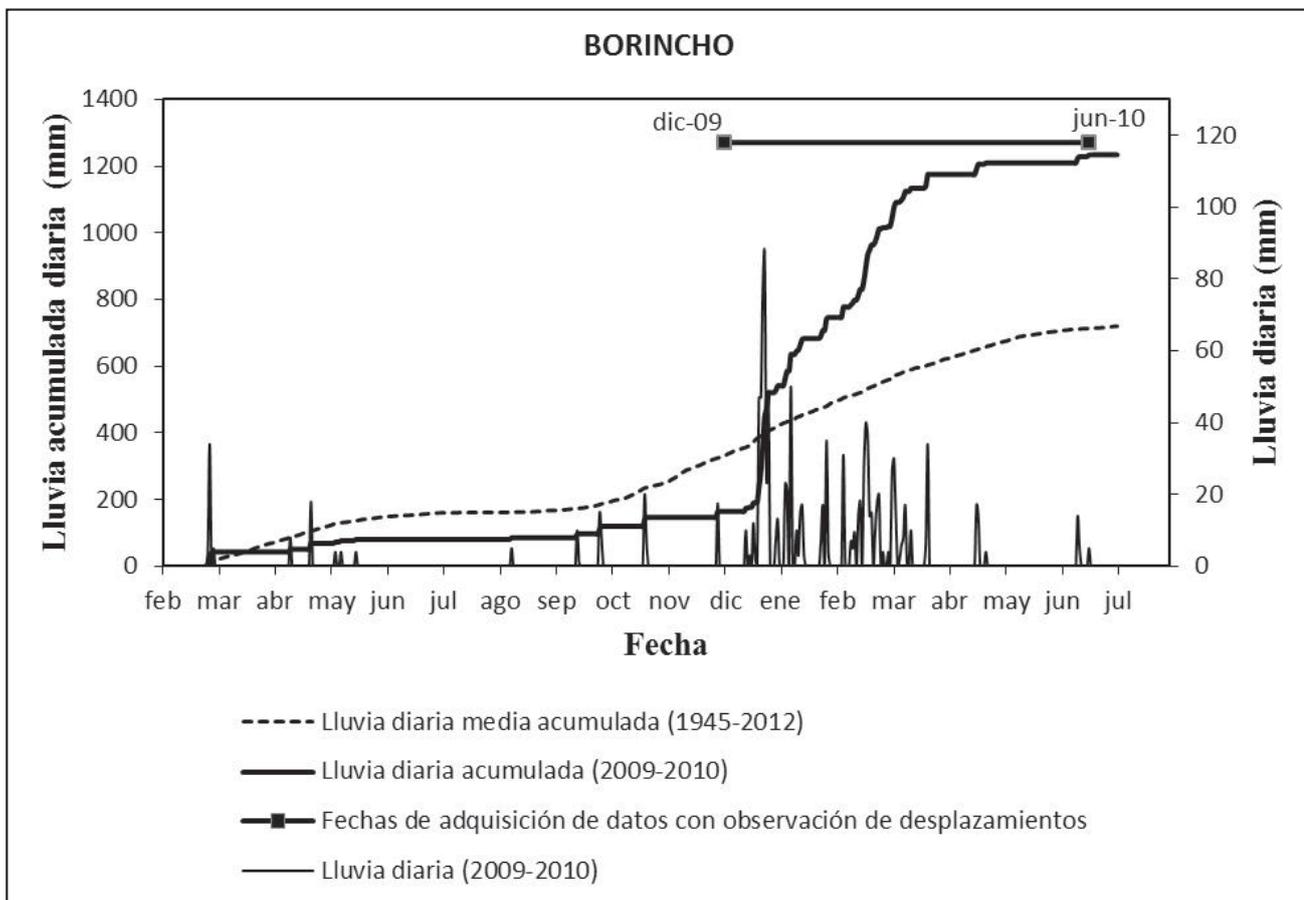


Figura 13. Lluvia diaria y acumulada en la estación nº 14 (Órgiva), donde se indica las fechas de adquisición de datos TLS con observación de desplazamientos en el deslizamiento de Borincho.

semi-elíptica, según se distingue por la clasificación supervisada de los desplazamientos.

Las zonas que han experimentado una alteración sustancial en términos de partes distinguibles en los movimientos de ladera han sido asignadas digitalmente y cuantificadas como descriptores de la evolución de la actividad de estos eventos que pueden ser investigados con técnicas SIG (Sistema de Información Geográfica), o por otros métodos analíticos.

Las fases de reactivación observadas en ambos deslizamientos coinciden con una época fuertemente lluviosa transcurrida entre diciembre de 2009 y marzo de 2010, lo cual pone de manifiesto que el agua acumulada por la precipitación en este periodo (253 mm/mes para el deslizamiento de Almejijar y 185 mm/mes para el deslizamiento de Borincho) funcionó como factor activador en ambos deslizamientos.

Considerando los resultados obtenidos, y a falta de seguir analizando la relación entre los datos pluviométricos y los obtenidos con TLS, se puede establecer de forma preliminar, que para que se inicie la reactivación de estos deslizamientos es necesario que durante los meses más lluviosos, la precipitación acumulada supere la precipitación media acumulada en un valor comprendido entre el 200% y el 300%, lo que se traduce en valores comprendidos entre 190 mm/mes y 287 mm/mes en el caso del deslizamiento de Almejijar y entre 157 mm/mes y 236 mm/mes para el deslizamiento de Borincho.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue soportada por el proyecto CGL200-04854, financiado por el Ministerio de Ciencia e Investigación de España y por el grupo RNM 121 del Plan de investigación de Andalucía. Los datos pluviométricos se obtuvieron de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ABELLÁN, A.; CALVET, J.; VILAPLANA, J.M. Y BLANCHARD, J., 2010.
Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring.
Geomorphology, Vol 119: 162-171.
- ABELLÁN, A.; VILAPLANA, J. M.; CALVET, J.; GARCÍA-SELLÉS, D. Y ASENSIO, E., 2011.
Rockfall monitoring by Terrestrial Laser Scanning - Case study of the basaltic rock face at Castellfollit de la Roca (Catalonia, Spain).
Natural Hazards and Earth System Science, Vol 11: 829-841.
- BORIS, D., 1934.
Sur la sphère vide.
Otdelenie Matematicheskikh i Estesvennykh Nauk, Vol 7: 793-800.
- COROMINAS, J. Y MOYA, J., 2008.
A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes.
Eng Geol, Vol 102: 193-213.
- CROSS, M., 1998.
Landslide susceptibility mapping using the Matrix Assessment Approach: a Derbyshire case study.
Geohazards in Engineering Geology. Geological Society Special Publication, Vol. 15.: 247-261.
- CRUDEN, D.M. Y VARNES, D.J., 1996.
Landslide types and processes.
Special Report - National Research Council, Transportation Research Board, Vol 247: 36-75.
- CHACÓN, J.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T. Y EL HAMDOUNI, R., 2006.
Engineering geology maps: landslides and geographical information systems.
B Eng Geol Environ, Vol 65: 341-411.
- CHACÓN, J.; IRIGARAY, C.; EL HAMDOUNI, R. Y JIMÉNEZ-PERÁLVAREZ, J.D., 2010.
Diachroneity of landslides.
En: Williams et al. (eds.), Geologically Active, pp. 999-1006., Taylor & Francis Group, London.
- CHACÓN, J., 2012.
Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Vol 28: 73 - 89.
- DELGADO, J.; PELÁEZ, J.A.; TOMÁS, R.; GARCÍA-TORTOSA, F.J.; ALFARO, P. Y LÓPEZ-CASADO, C., 2011.
Seismically-induced landslides in the Betic Cordillera (S Spain).
Soil Dyn Earthq Eng, Vol 31:1203-1211.
- DUNNING, S.A.; MASSEY, C.I. Y ROSSER, N.J., 2009.
Structural and geomorphological features of landslides in the Bhutan Himalaya derived from Terrestrial Laser Scanning.
Geomorphology, Vol 103: 17-29.
- DUNNING, S.A.; ROSSER, N.J. Y MASSEY, C.I., 2010.
The integration of terrestrial laser scanning and numerical modelling in landslide investigations.
Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol 43: 233-247.

- EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, J.; KELLER, E.A., 2008.
Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain).
Geomorphology, Vol 96: 150-173.
- FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E. Y SAVAGE, W.Z., 2008.
Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning.
Eng Geol, Vol 102: 99-111.
- FERNÁNDEZ, P.; IRIGARAY, C.; JIMÉNEZ, J.; EL HAMDOUNI, R.; CROSETTO, M.; MONSERRAT, O.; CHACÓN, J., 2009.
First delimitation of areas affected by ground deformations in the Guadalfeo River Valley and Granada metropolitan area (Spain) using the DInSAR technique.
Eng Geol, Vol 105: 84-101.
- FERNÁNDEZ, T.; IRIGARAY, C.; EL HAMDOUNI, R. Y CHACÓN, J., 2003.
Methodology for landslide susceptibility mapping by means of a GIS.
Application to the Contraviesa area (Granada, Spain). *Nat Hazards*, Vol 30: 297-308.
- FERNÁNDEZ, T.; PÉREZ, J.L.; DELGADO, J.; CARDENAL, F.J.; IRIGARAY, C. Y CHACÓN, J., 2011.
Evolution of a diachronic landslide by comparison between different DEMs obtained with digital photogrammetry techniques in Las Alpujarras (Granada, Southern Spain).
International Symposium on Geo-information for Disaster Management (Gi4DM), 3-8 Mayo 2011, Antalya, Turquía.
- GOODCHILD, M. F., 1986.
Spatial autocorrelation. CATMOG47.
Geo Books, Norwich. pp. 56.
- GÓMEZ-PUGNAIRE, M.T.; GALINDO-ZALDÍVAR, J.; RUBATTO, D.; GONZÁLEZ-LODEIRO, F.; LÓPEZ SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, V. Y JABALOY, A., 2004.
A reinterpretation of the Nevado-Filábride and Alpujárride Complexes (Betic Cordillera): Field, petrography and U-Pb ages from orthogneisses (western Sierra Nevada, S Spain).
Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, Vol 84: 303-322.
- GUZZETTI F., REICHENBACH P., ARDIZZONE F., CARDINALI M. Y GALLI M., 2006.
Estimating the quality of landslide susceptibility models.
Geomorphology, Vol 81: 166-184.
- IAG, 2013.
Actividad sísmica reciente.
Disponible en: <http://www.ugr.es/~iag/div.html>. Último acceso: abril de 2013.
- IRIGARAY, C.; LAMAS, F.; EL HAMDOUNI, R.; FERNÁNDEZ, T. Y CHACÓN, J., 2000.
The Importance of the Precipitation and the Susceptibility of the Slopes for the Triggering of Landslides Along the Roads.
Natural Hazards, Vol 21: 65-81.
- IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; EL HAMDOUNI R. Y CHACÓN J., 1999.
Verification of landslide susceptibility mapping: a case study.
Technical report. Earth Surface Processes and Landforms, Vol 24: 537-544.
- IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; EL HAMDOUNI, R.; CHACÓN, J., 2007.
Evaluation and Validation of Landslide-Susceptibility Maps obtained by a GIS Matrix method: Examples from the Betic Cordillera (Southern Spain).
Natural Hazards, Vol 41:61-79.
- IRIGARAY, C., 1995.
Movimientos de Ladera: Inventario, Análisis y Cartografía de la Susceptibilidad Mediante un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a las Zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada).
Unpublished PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Granada, Spain. pp. 578
- JIMÉNEZ-PERÁLVAREZ, J.D.; IRIGARAY, C.; EL HAMDOUNI, R. Y CHACÓN, J., 2009.
Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS.
Nat Hazards, Vol 50: 571-590.
- JIMÉNEZ-PERÁLVAREZ, J.D.; IRIGARAY, C.; EL HAMDOUNI, R. Y CHACÓN, J., 2011.
Landslide-susceptibility mapping in a semi-arid mountain environment: an example from the southern slopes of Sierra Nevada (Granada, Spain).
Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol70: 265-277.
- LICHTI, D.D. Y JAMTSHO, S., 2006.
Angular resolution of terrestrial laser scanners.
Photogrammetric Record, Vol 21: 141-160.

- LIM, M.; PETLEY, D.N.; ROSSER, N.J.; ALLISON, R.J.; LONG, A.J. Y PYBUS, D., 2005.
Combined digital photogrammetry and time-of-flight laser scanning for monitoring cliff evolution.
Photogrammetric Record, Vol 20: 109-129.
- OPPIKOFER, T.; JABOYEDOFF, M.; BLIKRA, L.; DERRON, M.H. Y METZGER, R., 2009.
Characterization and monitoring of the Aknes rockslide using terrestrial laser scanning.
Natural Hazards and Earth System Science, Vol 9: 1003-1019.
- PALENZUELA, J.A.; IRIGARAY, C.; JIMÉNEZ-PERÁLVAREZ, J.D.; CHACÓN, J., 2011.
Application of Terrestrial Laser Scanner (TLs) to the assessment of the evolution of diachronic landslides.
The Second World Landslide Forum, Abstract Book. WLF2-2011-0753. F. Catani, C. Margottini, A. Trigila, C. Iadanza (Eds.).
- REMONDO J.; GONZÁLEZ A.; DE TERÁN J. R. D.; CENDRERO A.; FABBRI A. Y CHUNG C.J. F., 2003.
Validation of landslide susceptibility maps; examples and applications from a case study in Northern Spain.
Natural Hazards, Vol 30: 437-449.
- RIEGL, 2011.
Terrestrial scanning.
Disponibile en: <http://www.riegl.com/products/terrestrial-scanning/>. Último acceso: abril de 2013.
- ROSSER, N.J.; PETLEY, D.N.; LIM, M.; DUNNING, S.A. Y ALLISON, R.J., 2005.
Terrestrial laser scanning for monitoring the process of hard rock coastal cliff erosion.
Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol 38: 363-375.
- SCAIONI, M., 2005.
Direct georeferencing of TLS in surveying of complex sites,
International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol 36: 8.
- TEZA, G.; GALGARO, A.; ZALTRON, N. Y GENEVOIS, R., 2007.
Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: A new approach.
International Journal of Remote Sensing, Vol 28: 3425-3446.
- TEZA, G.; PESCI, A.; GENEVOIS, R. Y GALGARO, A., 2008.
Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation.
Geomorphology, Vol 97: 424-437.
- WIECZOREK, G.F., 1996.
Landslide triggering mechanisms.
En: A.K. Turner, R.L. Schuster(eds.), Landslides: investigation and mitigation. Special Report 247: 76-90. TRB National Research Council. National Academies, Washington.
- WP/WLI, 1993.
UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, Working Group on Landslide Activity (Chairman: DM Cruden). A suggested method for describing the activity of a landslide.
Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Vol 47: 53-57.
- WP/WLI, 1995.
UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, Working Group on Rate of Movement (Chairman: Ch Bonnard). A suggested method for describing the rate of movement of a landslide.
Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Vol 52: 75-78.



Deslizamiento en la ruta provincial Nº 173, Cañón del Atuel, provincia de Mendoza

Landslide at the provincial route Nº 173, Cañón del Atuel, Mendoza province

Sales, Daniel A.¹ ✉ - Gardini, Carlos E.^{1,2} - Cisneros, Héctor A.¹

Recibido: 12 de Julio de 2012 • Aceptado: 12 de Julio de 2013

Resumen

La ruta provincial Nº 173 que atraviesa el cañón del Atuel posee en su inicio austral un deslizamiento que afecta a la zona de caracoles y se desarrolla en un macizo rocoso compuesto por una alternancia de areniscas competentes y bancos pelíticos de edad Carbonífera con escasa resistencia.

El continuo movimiento de la masa crítica es provocado por un asentamiento por rotura circular, generando un intenso grado de deformación con grietas tensionales y escarpas secundarias que se pueden observar tanto en la traza vial luego de cada lluvia y en los taludes involucrados.

El deslizamiento tiene un largo máximo de 210 m en dirección NNO a SSE y un ancho promedio de 80 m; fue generado por eventos múltiples y sucesivos, mientras que la distribución de la actividad es claramente confinada y alargada en dirección SSE. El volumen de la masa inestable es de 63.500 m³ aproximadamente y el factor de seguridad de la superficie más inestable generada a partir del análisis residual del deslizamiento mediante el método de Bishop y Janbu Simplificado dio un valor de "0,9".

Los reiterados asentamientos registrados en la traza vial, generalmente relacionado a las precipitaciones pluviales estivales, afectan al tránsito vinculado a la actividad turística de la región y de quienes trabajan en las centrales hidroeléctricas sobre el río Atuel. El sector de estudio se encuentra en permanente inestabilidad con un elevado riesgo de caída de la ladera donde se encuentra el camino.

Palabras claves: Deslizamiento - Macizo rocoso - rotura circular - Análisis de estabilidad.

Abstract

The Provincial Route 173 that runs through the Atuel canyon has in the austral beginning a landslide that affects the area of snails developed into a massif rock composed by alternating competent sandstones and pelitic banks Carboniferous with low resistance.

1. Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, (5700) San Luis

✉ sales@unsl.edu.ar

2. CONICET

The continuous movement of the critical mass is caused by landslide of circular breakage, generating intense deformation

degree of tension cracks and secondary scarps that can be observed both in the road trace after each rain and on the taluses involved.

The landslide has a maximum length of 210 m NNW to SSE direction with an average width of 80 m and was generated by multiple and successive events, while the distribution of activity is clearly confined and elongated in SSE direction. The volume of the unstable mass is approximately 63,500 m³ and the safety factor of the unstable surface generated from residual sliding analysis by the method of Bishop and Janbu simplified gave a value of "0.9".

Repeated landslides recorded in the trace of road, usually related to summer rainfall, affecting the transit linked to tourism in the region and those involved in hydroelectric power plants on the river Atuel. The area of study is in constant instability with a high risk of falling from the hillside where the road is.

Keywords: Landslide, Rock Massif - Circular Fault - Stability analysis .

INTRODUCCIÓN

El estudio consiste en la descripción y caracterización del área inestable generada por un incipiente deslizamiento situado a 4 km al NE de la localidad El Nihuil en el Departamento de San Rafael, donde la ruta provincial N° 173 desciende en trazo zigzagueante a través de cinco descensos (zona de caracoles) hacia el cañón del Atuel (coordenadas 35° 00' 10" Lat. S. y 68°38'28" Long. O) (Figura 1).

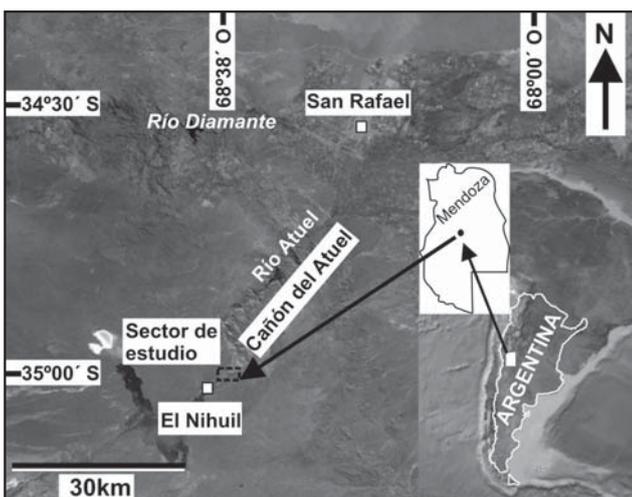


Figura 1. Mapa ubicación del sector de estudio (imagen tomada y modificada de Google Earth).

En este sector, el terreno sufre reiterados asentamientos que afecta al tránsito del camino relacionado principalmente a la actividad turística de la región y de quienes trabajan en las centrales hidroeléctricas sobre el río Atuel.

El Bloque de San Rafael se caracteriza por estar representado por una espesa secuencia de rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas que afloran a ambos márgenes del río Atuel. Comienza la secuencia litológica con afloramientos de rocas precámbricas sin base conocida y se encuentra cubierta discordantemente por rocas ígneas efusivas de edad paleozoica y cenozoica.

El rumbo general de las estructuras es noroeste - sudeste, coincidente con una antigua franja de fracturación paleozoica y está integrada por elevaciones pobres limitadas por depresiones de origen tectónico rellenas por depósitos cenozoicos.

Respecto a la neotectónica local, en este sector se observa la presencia de fallas con comprobada actividad cuaternaria (Cisneros y Bastías, 1993; Costa et al., 2006) que marginan por el Este a la provincia geológica del Bloque de San Rafael. Comparando con el sector septentrional de la provincia de Mendoza, la sismicidad de la zona de estudio puede definirse como baja, destacándose fundamentalmente los temblores del 29 de agosto de 1861 en San Carlos, el del 4 de octubre de 1913 en San Rafael y, el más importante, el del 30 de mayo de 1929 con epicentro en cercanías de las localidades de Villa Atuel-Las Malvinas. Análisis cinemáticos estiman la posibilidad sismogénica de las fallas en el sector de aproximadamente 6.4 Mw (Costa et al., 2006).

La litología predominante en la zona del deslizamiento corresponde a rocas sedimentarias del Carbonífero de la denominada Formación El Imperial (Dessanti, 1956; Sepúlveda et al., 1999), representadas por areniscas con alternancia de bancos pelíticos negros, donde los planos de estratificación se disponen con una actitud de 80°/24° SE, inclinando en la mayoría de las veces a favor de la pendiente. Los afloramientos de areniscas son afectados por diferentes sistemas de fracturas, generando un macizo con avanzado grado de disgregación mecánica, aunque su matriz rocosa es resistente.

METODOLOGÍA

En el sector de estudio se describió el área inestable determinándose la zona de arranque, orientación de los flancos, escarpas y grietas de tracción en la masa inestable. También se realizaron observaciones de los afloramientos de rocas involucrados en el movimiento (tipo de roca, grado alteración, espesores, estructuras, etc.) y sus respuestas a la acción de la masa deslizante.

Se realizó el análisis geomecánico de las discontinuidades según la metodología sugerida por la International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981) para la descripción cuantitativa de macizos rocosos. La resistencia de la matriz rocosa fue estimada a través del martillo de Schmidt, que consiste en obtener el número de rebote de la pared de una discontinuidad y vincularlo con ayuda de un ábaco a la resistencia a la compresión simple.

Los parámetros resistentes de la masa rocosa (cohesión y ángulo de rozamiento interno) para el análisis de estabilidad, fue estimado a partir de la calidad del macizo rocoso utilizando la clasificación geomecánica CSIR (Bieniawski, 1979) a través de la determinación del índice RMR (Rock Mass Rating).

El cálculo del Índice de Calidad RQD (Rock Quality Designation Index) fue estimado en afloramiento a partir de la expresión empírica de *Palmstrom (1975)*, que involucra el total de discontinuidades por metro cúbico (J_v).

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad (\text{ecuación 1})$$

Para el relevamiento planialtimétrico de detalle de toda el área afectada se utilizó una estación total. Esto contribuyó a la confección del mapa topográfico de toda la superficie inestable y la construcción de un perfil para el análisis de los rasgos topográficos y la geometría del deslizamiento.

Para el modelado de la superficie de rotura más inestable se utilizó el programa PC-Stabl6.0 (*Bandini y Salgado, 1999*) que determina la superficie inferior con menor factor de seguridad.

El cálculo de volumen que compromete el deslizamiento se realizó por el método de la cubicación por malla, que calcula el volumen inestable y con riesgo a deslizarse entre la superficie topográfica y la superficie del plano de rotura estimado que produjo el deslizamiento.

DESCRIPCIÓN DEL DESLIZAMIENTO

El deslizamiento afecta al sector de caracoles de la ruta provincial N° 173, comprometiéndolo a las cinco bajadas del camino hacia el cañón del Atuel. El constante mejoramiento que le realizan a la traza vial en el sector inestable oculta parcialmente las evidencias de la inestabilidad, las cuales son cada vez

más frecuentes en épocas estivales, principalmente por la acción del agua de lluvia.

Del análisis de los parámetros morfométricos del deslizamiento, este presenta un largo máximo de 210 m en dirección NNO a SSE y un ancho promedio perpendicular de 80 m, donde los flancos se desarrollan en forma paralela en una extensión de 200 metros aproximados desde la zona de arranque hasta la culminación o pie del deslizamiento en la margen occidental del río (Figura 2).

La zona de cabecera del deslizamiento coincide con la primera (1^a) bajada del camino a una cota máxima de 1240 msnm y la culminación de la masa inestable (pie) se encuentra aproximadamente a la cota actual del cauce del río (1160msnm).

El sector de arranque o escarpe principal, se aprecia en la parte superior del talud situado entre la 1^a y 2^a bajada del camino (Figura 2). La cara libre del talud tiene una inclinación de 35° al SE y coincide con la zona de mayor deformación de los depósitos (Figura 3a). En el talud se observa la existencia de 3 bermas a diferentes alturas con un ancho máximo de 1 a 1,5 m que han sido deformadas por las reactivaciones (Figura 3b). En este sitio aflora el plano de rotura del deslizamiento con una actitud de $75^\circ/67^\circ$ SE (Figura 3c), que genera el desmembramiento del talud con tres resaltos principales en forma escalonada en una longitud de 3 m, producto de movimientos sucesivos. El resalto del sector medio, presenta una cara libre en el labio elevado con un desplazamiento en la vertical que de 0,70 m (Figura 3d) y que continúa hasta 1,40 m de profundidad, generando una grieta de tracción de 0,30 m de abertura.

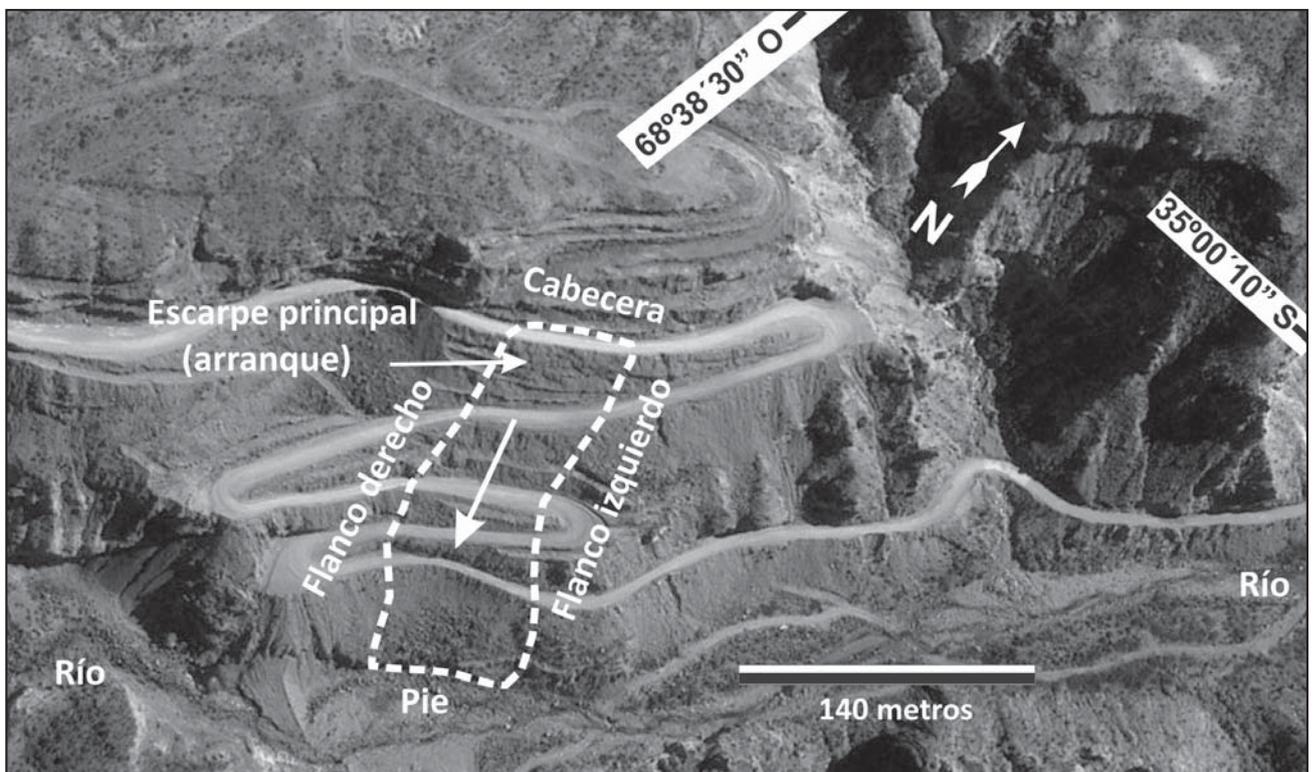


Figura 2. Vista al NO del área del deslizamiento (en líneas de trazo discontinuo), mientras que la flecha indica el sentido de desplazamiento de la masa crítica (imagen tomada y modificada de Google Earth).

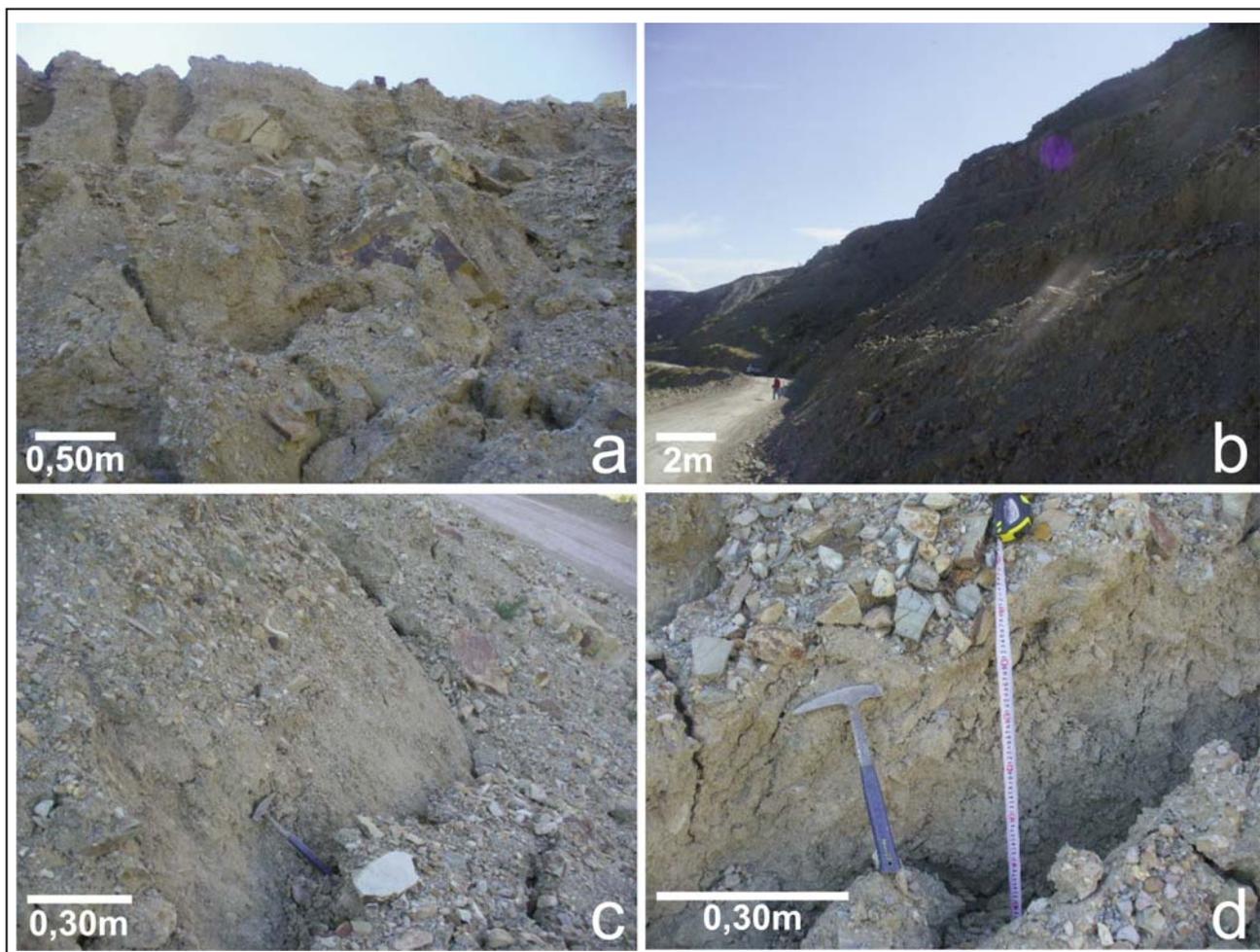


Figura 3. a) Vista hacia el NNO del talud que contiene a la zona de arranque del deslizamiento, b) Vista hacia el Sur del talud entre la 1ª y 2ª bajada donde se encuentra el sector de arranque, en primer plano se observan bermas interrumpidas, c) Plano de rotura del deslizamiento en la zona de escarpe principal, d) Resalto de 0,70 m en la zona de escarpe principal).

La descompensación del material de cabecera continúa hacia el Este donde se encuentra el flanco izquierdo. Este flanco presenta en su parte superior una dirección meridional que luego cambia al sudeste a partir de la 4ª bajada del camino hasta el río. El flanco izquierdo muestra rasgos morfológicos más sutiles en los caracoles de la traza vial, posiblemente por el constante trabajo de las maquinarias en tareas de relleno y compactación del camino, aunque se detectan deformaciones y grietas de menor intensidad en cada uno de los tramos (Figura 4a). En la 2ª bajada del camino se observó la cicatriz del deslizamiento coincidente con el flanco derecho que continúa en similar dirección que el flanco izquierdo atravesando la ruta en las bajadas 3ª y 4ª hasta la margen occidental del río (Figura 4-b).

El talud entre la 3ª y 4ª bajada, contiene una berma donde se reconocen 4 grietas de tracción distanciadas entre 1,2 a 2 m y con abertura que varían entre 0,15 m y 0,60 m. En este tramo se reconocen grietas de tracción con dirección 290°.

En el talud entre la 4ª y 5ª bajada sobre el sector oriental del deslizamiento, se describió una berma que fue desmembrada por un asentamiento vertical de 1,80 m y una abertura de 1,10 m (Figura 5). En el labio hundido se midieron por grietas de tracción radiales y en enjambre con direcciones de 45° (principales), 97° y 315°.

En la calzada de la 5ª y última bajada del camino, se encuentra la zona de mayor vulnerabilidad y deformación que afecta a la ruta que coincide con el sector medio del deslizamiento, produciéndose constantes deformaciones por asentamientos sucesivos y donde genera las principales complicaciones al tránsito (Figura 6). Con la finalidad de determinar la existencia de las reactivaciones del deslizamiento, se midió en este sector la deformación del camino en dos ocasiones diferentes, entre los primeros días de los meses de Septiembre y Octubre de año 2011. En la primera observación (04/09/2011) se reconoció en la calzada una cicatriz semicircular en planta, acompañada de grietas radiales generadas por asentamientos por rotura circular, con un resalto topográfico en la parte media de la calzada del camino de 0,25 m y que se incrementaba hacia la margen externa de la traza con resalto de 0,40 m y abertura de las grietas de tracción de hasta 0,10 m. Cabe mencionar que este tramo inestable se encuentra en constante mejoramiento de la calzada a través de material de relleno y emparejado por personal de mantenimiento de la traza. Durante la segunda observación del sitio (11/10/11), se comprobó una deformación importante del camino por un nuevo hundimiento en la zona deslizada, que generó en el camino un resalto de 0,45 m. Ello indica el constante tratamiento de la zona problema, siendo comprobado que en el lapso de 40 días se produjo un hundimiento acumulado

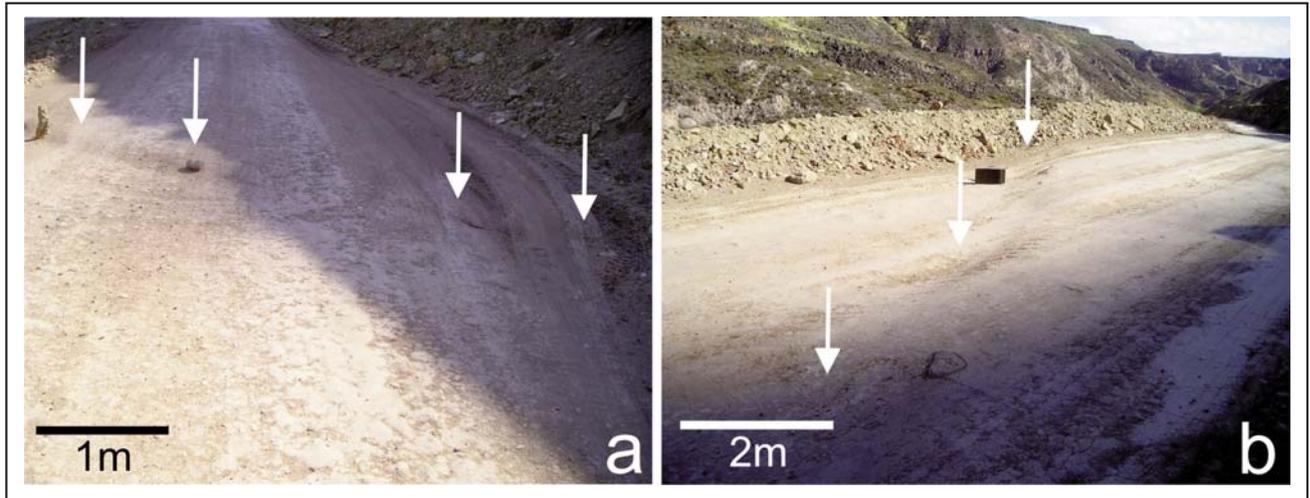


Figura 4. a) Las flechas indican la deformación de la traza vial coincidente con la dirección del flanco izquierdo en la 4a bajada del camino, b) Trazo del flanco derecho en la segunda bajada hacia el Sur (marcado con flechas).



Figura 5. Vista al NNE de la berma desmembrada entre la 4ª y 5ª bajada y que fue afectada por un asentamiento vertical acumulado de 1,80 m.

de 0,70 m lo que indicaría que la traza vial en este sector puntual está siendo afectada permanentemente por los fenómenos de asentamiento. Hacia los flancos no se observaron asentamientos de tal magnitud.

Se reconocieron dos sectores con filtración que afloran en el talud de la última bajada en adyacencia al flanco izquierdo del deslizamiento (Figura 7).



Figura 6. Sector de mayor deformación en la 5ª y última bajada del camino hacia el cañón del Atuel.

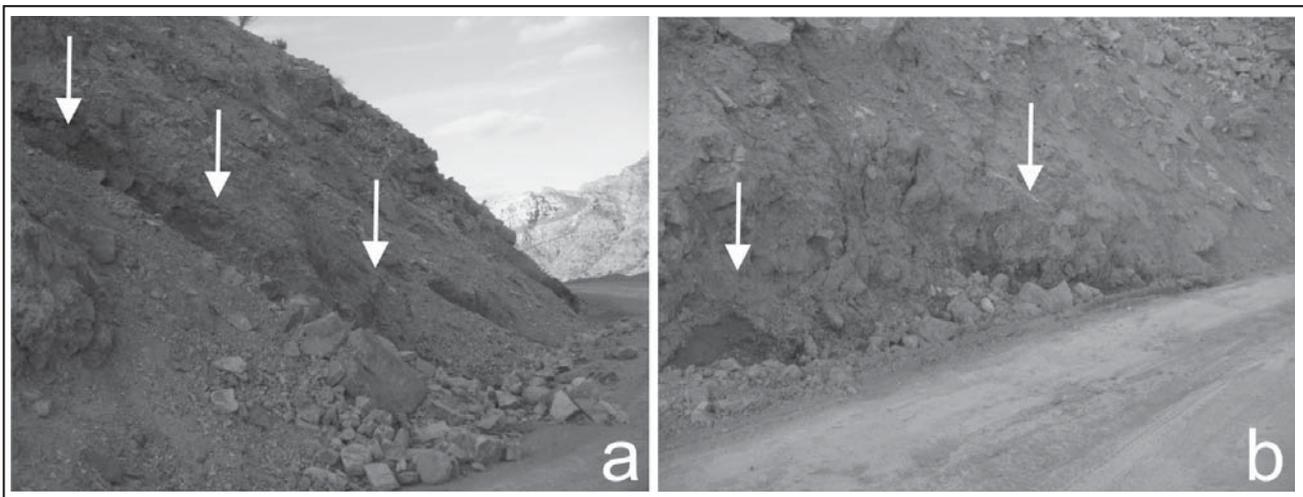


Figura 7. Imágenes de dos sectores sobre el talud de la última bajada donde se encuentran filtraciones (indicados con flechas).

En el contratalud del camino por debajo de la 5ª bajada y coincidente con el trazo del flanco izquierdo, se reconocieron dos grietas longitudinales producto de una reactivación diferencial en escalón con un resalto total de 0,80 m y una apertura de 1,30 m, que culmina en el pie del deslizamiento. Aquí se observó la terminación de una posible superficie de rotura del deslizamiento que afecta areniscas de coloración gris amarillenta sin resistencia y con un comportamiento semejante a un suelo residual. Este material tiene una humedad elevada y que a su vez compromete a los depósitos de derrubios acumulados por

encima. Entre las areniscas aparecen bancos de pelitas negras de unos 0,80 m de espesor, con plano de estratificación $10^{\circ}/35^{\circ}$ SE, poseen muy baja resistencia y están muy fracturados. Por encima de las rocas pelíticas y en contacto con las areniscas, se desarrolla en forma concordante un material tipo taquilítico de color blanco de 0,10 m de espesor, que incorpora clastos de las pelitas oscuras (Figura 8a). En las inmediaciones del flanco derecho, se reconoció material originario de las areniscas con elevado grado de disgregación entre las pelitas (base) y los bloques de areniscas resistente (techo) (Figura 8b).

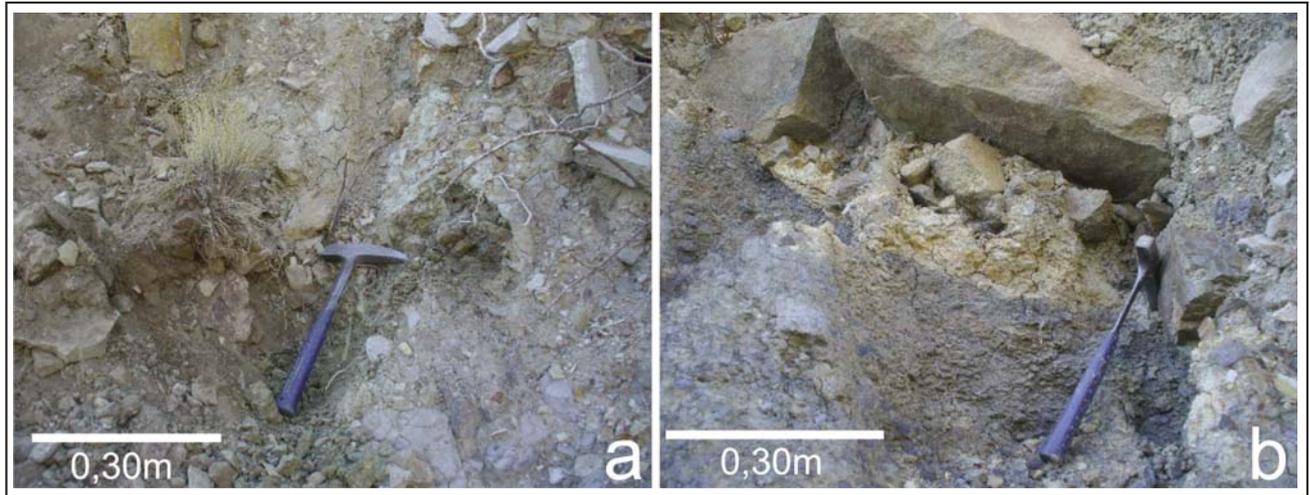


Figura 8. a) Presencia de material con coloración blanquecina (taquilita?) que evidencia la posible superficie de despegue del deslizamiento en el sector sobre el flanco izquierdo, b) Contacto pelitas oscuras con una arenisca sin resistencia.



Figura 9. Sector de mayor asentamiento y apertura en el pie de deslizamiento hacia el flanco derecho

En la culminación o pie de deslizamiento al lado del río, se observaron depósitos representados por la roca de caja (areniscas y pelitas) y el relleno, que han sido afectados por el asentamiento por rotura circular, registrándose un resalto vertical entre el labio elevado y hundido de hasta 2,30 m y apertura de hasta 4 m de ancho (Figura 9).

No se conoce el inicio de la actividad de este evento, aunque las primeras evidencias registradas fueron analizadas en un informe inédito para la repartición pública a cargo de la traza vial en Octubre del año 2007, procediéndose en Noviembre del mismo año al mejoramiento del sector y la construcción de las bermas existentes en el área de estudio.

El estilo del deslizamiento es de eventos múltiples y sucesivos, donde se establecieron al menos 3 eventos registrados en el campo en la zona de escarpe principal, a partir del reconocimiento de grietas extensionales paralelas y en escalón sobre el talud entre la 1ª y 2ª bajada. La distribución de la actividad es claramente confinada y alargada en dirección SSE (Figura 2).

La velocidad mínima de desplazamiento no ha sido calculada desde el inicio del evento, debido a no contar con esta información en el sector (fecha precisa del primer evento, causas, etc.). Se ha podido medir la dislocación de una berma en la cresta del talud entre la 4ª y 5ª bajada con un resalto de 1,80 m entre el labio elevado y hundido y apertura de 1,10 m (Figura 5). Si se toma en cuenta la fecha del inicio de la construcción de las bermas y la fecha de estudio de la presente contribución, se puede estimar una velocidad de asentamiento relativa para este sector de 0,45 m/año (componente vertical) y 0,27 m/año (componente horizontal), lo que indica que

el sector se encuentra con una actividad moderadamente activa en una pendiente general de 22°.

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES

La tabla 1 sintetiza las características geomecánicas de las rocas sedimentarias involucradas en el deslizamiento, principalmente de la zona de la escarpa principal mediante el análisis de las discontinuidades según la metodología sugerida por ISRM (1981).

Con los datos de la tabla 1, se calculó el índice RMR con corrección para taludes (Bieniawski, 1979). El valor de resistencia uniaxial determinado mediante el uso del esclerómetro de Schmidt en afloramiento varía entre 25 y 50 Mpa para las areniscas (categoría “dura”), con un grado de alteración ligeramente moderado. La estimación del índice de calidad de roca RQD según Palmstrom (1975), varía entre 25 y 50 % (roca mala). Mientras que para obtener el valor de comportamiento de las discontinuidades (espaciamiento, rugosidad, abertura, y relleno) se analizó del resultado de la Tabla 1. En el análisis de las condiciones hidrogeológicas del macizo, se tuvo en cuenta que el mismo se encontraba parcialmente saturado y restringido a dos sectores localizados a una altura de 22,50 m respecto a la base o pie del deslizamiento, interpretándose para el conjunto del área inestable como ligeramente húmedo.

Por último, la orientación de la traza vial en el área de estudio es NE-SO y los planos de discontinuidad (diaclasa) coincidente con esta dirección presentan una actitud de 80°/24° SE, lo que daría una situación muy desfavorable a la estabilidad de la ladera con pendientes hacia el sudeste.

Según estas propiedades, el sector de estudio presenta un índice RMR con corrección igual a “5”, que define al macizo rocoso como calidad “Muy Mala” (Clase V) (Tabla 2).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Con los datos obtenidos de la caracterización geomecánica de los materiales involucrados y la estimación de los parámetros resistentes a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski (1979), se realizó mediante el método de Bishop y Janbu Simplificado el análisis residual de la estabilidad de la ladera, a partir de la topografía actual del área inestable (Figura 10), que permitió construir el perfil topográfico (A-A') (Figura 11).

En el análisis residual de estabilidad de la ladera afectada, se toma en cuenta la geometría actual del área inestable, y de los parámetros resistentes supuestos (tabla 3).

En base al relevamiento planialtimétrico y a la generación del perfil A-A' se estimó la superficie inferior del deslizamiento a partir del modelado del plano de despegue mediante el programa PCSTABL 6.0 (Bandini y Salgado, 1999). Se analizaron 100 superficies posibles de rotura, tomándose la superficie más desfavorable que presenta el menor factor de seguridad. Del modelado la superficie de rotura o de despegue representada en la figura 11 dio como resultado un factor de seguridad igual a “0,9” (FS= 0,9). Esto indica que la situación actual del material rocoso en cuanto a geometría y parámetros resistentes se encuentran en permanente inestabilidad, teniéndose en cuenta que las posibles oscilaciones del nivel freático en la zona problema, como consecuencia de las lluvias en épocas estivales, serán suficientes para hacer que el factor de seguridad se reduzca y se puedan producir reactivaciones en la superficie de deslizamiento original o en otras asociadas.

El volumen calculado a partir del área inestable y la profundidad estimada de la superficie de despegue del deslizamiento se estimó un volumen de 63.564 m³ de masa inestable con probabilidad de deslizarse completamente.

Tabla 1. Detalle de las características geomecánicas de las principales discontinuidades del macizo rocoso en la zona del deslizamiento.

SECTOR:	Zona de caracoles de la R.P. N° 173, cañón del Atuel Coordenadas: 35° 00' 10" Lat S. y 68° 38' 28" Long. O		
LITOLOGIA	Areniscas resistentes con intercalación de pelitas		
CARACTERÍSTICAS GEOMECANICAS			
Tipo de Discontinuidad	DIACLASA	FALLA	DIACLASA
Orientación	80°/24° SE	115°/80° NE- (Rake 40° SE)	112°/82° NE
Espaciamiento (metros)	0,02 a 0,80 (juntas a separadas)	0,50 a 0,60 m (juntas)	0,10 a 0,30 m (muy juntas a juntas)
Persistencia	Mayor a 20 m (alta)	0,10 a 0,30 m Muy baja	0,10 a 0,30 m Muy baja
Rugosidad	media	media	alta
Abertura	1 - 10 cm (medio abierta)	1 - 10 cm (medio abierta)	2 - 5 cm (cerrada)
Relleno	no	no	no
Sellamiento	no	no	no
Número de sets	Tres (3) familias predominantes		
Tamaño de bloques	< 1 m ³ (medio)		
Disgregación mecánica	Media (areniscas) y alta (pelitas)		
Grado de alteración	moderadamente alterada		

Tabla 2. Determinación del valor del índice RMR y calidad del macizo rocoso.

	PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO	VALUACION
1)	Resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa	25 - 50 MPa	4
2)	R.Q.D.	25 - 50 %	6
3)	Espaciamiento de las discontinuidades	0,20 - 0,60 m	10
4)	Condiciones de las discontinuidades	Superficies rugosas y abiertas con persistencia alta, moderadamente alteradas, sin relleno	15
5)	Condiciones hidrogeológicas	Ligeramente húmedo	10
6)	Orientación de las discontinuidades para taludes	Desfavorable a muy desfavorable	(- 40) Promedio
	TOTAL:		5
CLASIFICACION DE ROCAS SEGÚN TOTAL VALUACIÓN:			ROCA MALA
CLASE			V
Parámetros resistentes (estimados)	Cohesión		50 KN/m ²
	Ángulo de rozamiento interno		10°

Tabla 3. Parámetros resistentes residuales utilizados para el análisis de estabilidad.

	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	c' kN/m ²	Φ'
Macizo rocoso en zona de falla	21	22	50	10

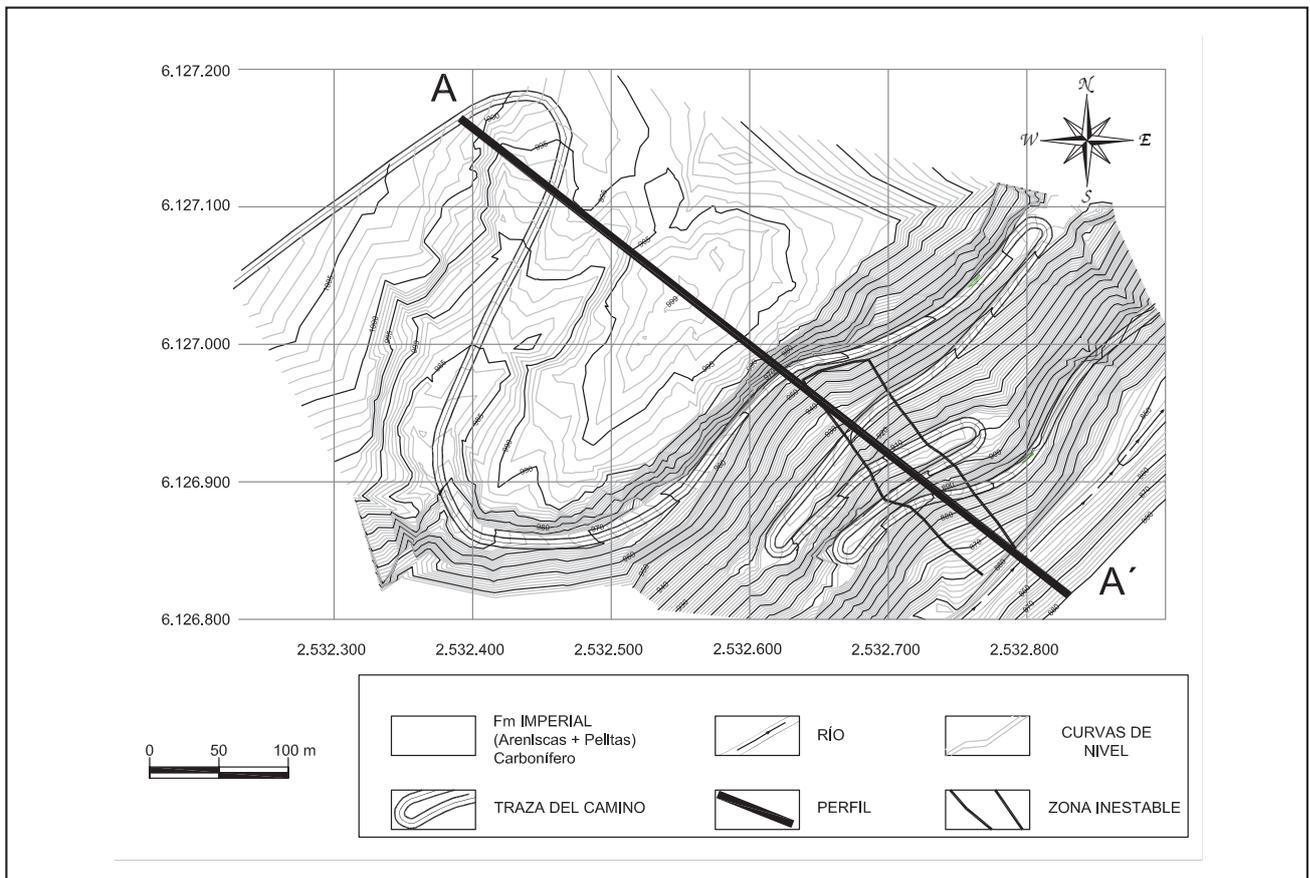


Figura 10. Mapa topográfico del sector.

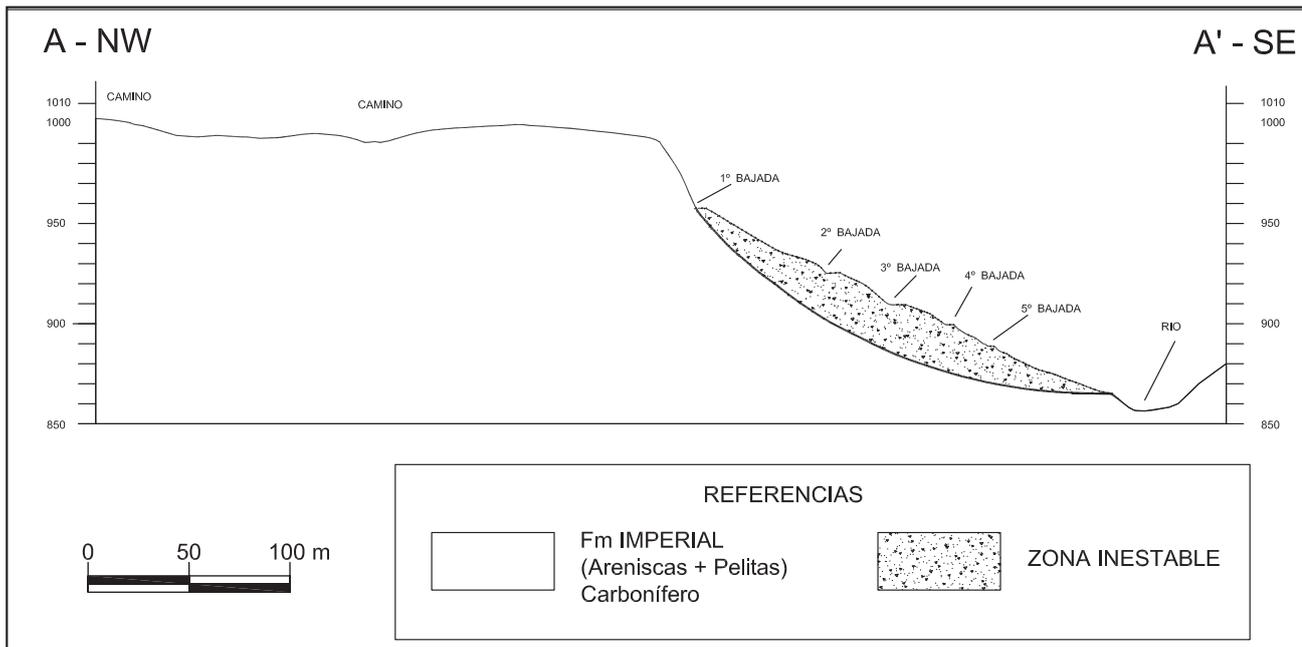


Figura 11. Modelo de la superficie de rotura con el menor factor de seguridad del deslizamiento a partir del análisis residual (FS= 0,9)

CONCLUSIONES

El deslizamiento en la zona de caracoles de la ruta provincial N° 173 en el sector austral del cañón del Atuel, se produce en un macizo rocoso compuesto por areniscas resistentes que se encuentran afectadas por tres sistemas de fracturas principales y que generan una importante disgregación mecánica en el macizo.

El deslizamiento es generado por una superficie de rotura circular, cuyo plano de arranque se ubica en el talud entre la 1ª y 2ª bajada de la traza vial, con una actitud de 75°/67° SE.

En el sector de pie del deslizamiento se describieron entre los depósitos de areniscas y bancos pelíticos de menor

resistencia, material tipo taquilítico que podría indicar la superficie de despegue del asentamiento por rotura circular.

El área inestable tiene un ancho promedio de 80 m, 210 m de largo y una altura de 80 m entre la cabecera y el pie del deslizamiento, que contiene taludes con pendientes que varían entre 20° a 41°.

El deslizamiento se encuentra en constante proceso de asentamiento afectado principalmente a las lluvias en épocas estivales.

La superficie de rotura más inestable presentó un factor de seguridad de "0,9" representando una moderada inestabilidad de la zona que podría poner en riesgo a la traza vial en su conjunto.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BANDINI, P. Y SALGADO, R., 1999.

PCSTABL 6.0 for Dos, User's Manual.

Purdue University, U.S.A., 183 pág.

BIENIAWSKI, Z.T., 1979.

The geomechanics classification in rock engineering applications.

4th International Conference on Rock Mechanics. Montreaux, 2: 41 – 48.

CISNEROS, H., BASTIAS, H. 1993

"Neotectónica Del Borde Oriental del Bloque de San Rafael".

XII Congreso Geológico Argentino. Mendoza. Actas III: 270-276.

COSTA, C, CISNEROS, H, SALVARREDI, J Y GALLUCCI, A; 2006

Nuevas consideraciones sobre la neotectónica del margen oriental del bloque de San Rafael.

Revista de la asociación Geológica Argentina, serie "D"

DESSANTI, R.N., 1956.

Descripción Geológica de la Hoja 27c, Cerro Diamante (provincia de Mendoza),

Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 85. Buenos Aires.

- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1981.
Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring.
Ed. E. T. Brown. Pergamon Press.
- SEPÚLVEDA, E.G., A. BERMÚDEZ, O.L. BORDONARO, D. DELPINO Y S.H. MALLIMACCI, 1999.
Hoja Geológica 3569-IV Embalse El Nihuil, provincia de Mendoza,
Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR (Versión preliminar), Buenos Aires
- PALMSTROM, A. (1975).
Characterization of degree of jointing and rock mass quality.
Int. Report Ing. A.B. Berdel, A.S. Oslo, 62 pp.



Zoneamento geoambiental da microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho, São Carlos - São Paulo

Geoenvironmental zoning of the microbasin of the Monjolinho stream, São Carlos - São Paulo

de Lima, Fernanda Imada¹✉ - Ferreira, Marcilene Dantas² - Failache, Moisés Furtado³

Recibido: 09 de Agosto de 2012 • Aceptado: 13 de Julio de 2013

Resumo

A microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho (MHCM) faz parte das áreas de proteção e recuperação de mananciais de São Carlos e está inserida na área de expansão urbana do município. É uma região estratégica para preservação visto que o intenso uso e ocupação do solo vêm degradando seus recursos naturais.

Uma ferramenta que auxilia no manejo de mananciais é o zoneamento geoambiental, por meio do qual é feita a compartimentação de uma área em porções territoriais, obtidas pela avaliação dos atributos mais relevantes e de suas dinâmicas.

A metodologia aplicada neste estudo utilizou os seguintes atributos: geologia, materiais inconsolidados, relevo, escoamento superficial e uso e ocupação do solo. A metodologia foi dividida em etapas. Na etapa 1 foi realizado o levantamento de dados, na etapa 2 foram feitos os trabalhos de campo, na etapa 3 analisou-se os dados coletados e na etapa 4 foi elaborado o zoneamento. Para a elaboração dos mapas e análise dos dados foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS, Environmental Systems Research Institute (ESRI, 2012).

O Zoneamento Geoambiental da MHCM revelou a necessidade de planejar as atividades na área, respeitando a legislação ambiental vigente, para proteger seus recursos naturais e evitar a necessidade de adoção de medidas corretivas.

Palavras-chave: *Zoneamento Geoambiental; microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho; Planejamento Ambiental.*

Abstract

The microbasin of the Monjolinho stream is part of São Carlos' areas of watershed protection and restoration and is inserted into the urban expansion area of the municipality. It is a strategic region for preservation, as the intense use and occupation are degrading the natural resources along the basin.

1. Universidade Federal de São Carlos.

✉ fer.imada@gmail.com

2. Universidade Federal de São Carlos.

3. Universidade Federal de São Carlos.

A tool that assists in the management of watersheds is the geoenvironmental zoning, through which an area is divided into territorial portions obtained by evaluating its most relevant attributes and interactions.

The geoenvironmental zoning methodology applied in this project has used the following attributes: geology, unconsolidated materials, landforms, runoff and soil's use and occupation. The methodology was divided into stages. In stage 1 was carried out data collection, in stage 2 the field work took place, in stage 3 the data collected was analyzed and in stage 4 the geoenvironmental zoning was elaborated. The maps was generated and data analyzed by using Geographic Information System (GIS) ArcGIS (ESRI, 2012).

Through the Geoenvironmental Zoning of the microbasin of the Monjolinho stream were found that it is necessary to plan human activities in the area, complying with current environmental legislation, to protect its resources and avoid the need for corrective actions.

Keywords: Geoenvironmental Zoning; Microbasin of the Monjolinho Stream; Environmental Planning.

INTRODUÇÃO

O acelerado processo de urbanização no Brasil traz como consequência graves problemas ambientais que afetam tanto as esferas sociais quanto econômicas. Estes problemas muitas vezes, são resultantes do desconhecimento e/ou da desconsideração dos elementos do meio físico e dos fatores que regulam a sua dinâmica. Devido à falta de planejamento ambiental e urbano, as populações convivem com escorregamentos de encostas, erosões, inundações, subsidências de solos, e outros fenômenos que lhes causam grandes transtornos (Tomina et al., 2004).

O verdadeiro problema não está no crescimento das metrópoles, na escala e velocidade desses processos, mas sim na forma como eles ocorreram. Toda expansão urbana gera questões que devem ser analisadas: a forma de ocupar o território; a disponibilidade de insumos para seu funcionamento (disponibilidade de água); a descarga de resíduos (destino e tratamento de esgoto e lixo); o grau de mobilidade da população no espaço urbano (qualidade do transporte público de massa); a oferta e o atendimento às necessidades da população por moradia, equipamentos sociais e serviços e a qualidade dos espaços públicos (Grostein, 2001).

A organização do espaço sempre foi uma premissa para grupos de pessoas que se propõem a viver em comunidade, sob objetivos e normas comuns. A compartimentação de uma região em porções territoriais é conhecida como zoneamento e constitui-se em uma importante ferramenta para o planejamento ambiental e urbano, pois, auxilia a tomada de decisão dos profissionais que lidam com a paisagem e os fatores que a influenciam (Santos, 2004).

Existem vários tipos de zoneamento, porém, o foco desse artigo será o zoneamento geoambiental que integra o quadro natural e antrópico, ou seja, os aspectos referentes às características do meio físico. São individualizadas áreas homogêneas, que associadas às análises relativas à apropriação do espaço pela sociedade e as relações que se estabelecem a partir do uso e ocupação, dão origem a unidades de paisagem heterogêneas com potencialidades, fragilidades e problemas ambientais característicos. Essa forma de avaliar a paisagem contribui para subsidiar os órgãos gestores municipais, na tomada de decisão e na priorização de iniciativas para tentar conciliar o desenvolvimento equilibrado do espaço, a apropriação do ambiente pelo homem e a conservação dos recursos naturais (Dal'asta, 2009).

As bacias hidrográficas atualmente têm sido usadas como uma das principais unidades de planejamento e gestão integrada. Isto se dá em virtude desta permitir a visualização da

dinâmica dos vários elementos do meio físico de forma integrada. Além disso, as bacias hidrográficas constituem-se em importantes áreas a serem protegidas devido ao grau elevado dos riscos e ameaças a que estes sistemas estão submetidos e à crescente demanda da utilização dos recursos hídricos e da paisagem, como base para várias atividades humanas.

Dessa forma, o zoneamento geoambiental se torna importante para auxiliar os municípios a gerenciarem a preservação, disponibilidade e qualidade da água de seus mananciais. No caso da cidade de São Carlos - São Paulo, o Ribeirão Feijão é uma de suas principais fontes de abastecimento de água. Está inserido na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão, tendo como bacia a microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho.

Assim, o presente artigo tem como objetivo realizar o zoneamento geoambiental da microbacia do Córrego do Monjolinho por esta ser parte das áreas de proteção e recuperação de mananciais de São Carlos - São Paulo e por ser uma das áreas de expansão urbana do município.

ÁREA DE ESTUDO

A Microbacia Hidrográfica do Córrego do Monjolinho (MHCM) pertence à Bacia do Ribeirão Feijão e está localizada a sudeste do município de São Carlos no estado de São Paulo, conforme mostra a Figura 1. "Possui 6,8 km de comprimento, área de 30 km² (2.900 ha) e coordenada central 47° 48' 20" W 22° 7' 1" S.

A geologia da área é composta pela Formação Botucatu, Formação Serra Geral, e a Formação Itaquari. Os materiais inconsolidados presentes são os aluvionares, arenoso I, II e III, Residual do Bauru, Residual dos Magmatitos Básicos e Residual do Botucatu (Aguar, 1989).

Em grande parte, o relevo da microbacia do Córrego do Monjolinho é aplainado e está sobre areias quartzosas profundas da franja da Formação Botucatu sendo, por isso, parte da área de recarga direta do Aquífero Guarani (Nishiyama, 1991; Zuquette, 1981).

Com relação à vegetação da área da microbacia, é constituída predominantemente de Florestas Semidecídua e Ripariana, Cerradão e Cerrado (Soares et al., 2003 apud Martins, 2004; Oliveira, 1996). Quanto ao uso do solo, as atividades predominantes, observadas nas visitas de campo realizadas durante este estudo, são a mineração, o reflorestamento e o agronegócio em que se destacam principalmente o cultivo de laranja, cana-de-açúcar e solo exposto preparado para cultivo.

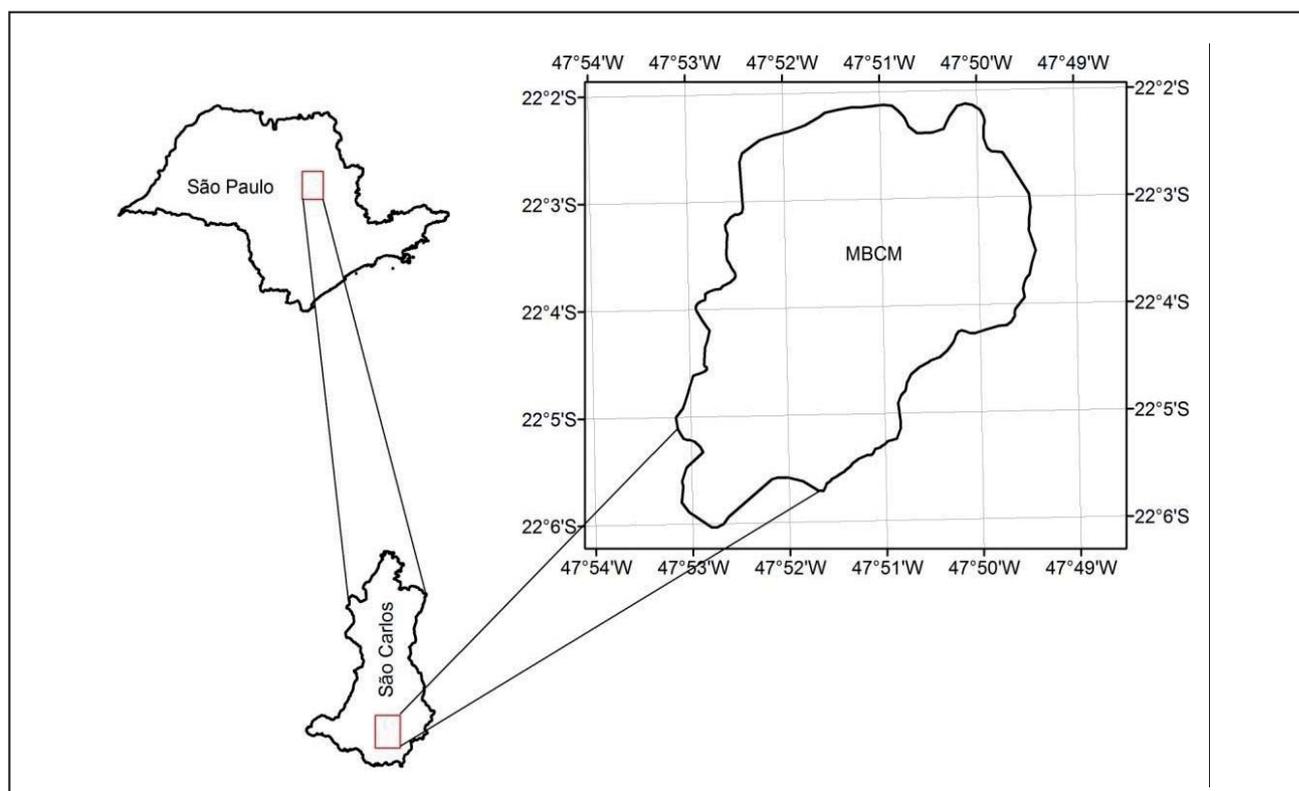


Figura 1. Localização da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Monjolinho (MBCM). Fonte: (Dias; Failache; Ferreira, 2011).

O clima na área da microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa (clima subtropical de inverno seco), caracterizando-se por ser um clima tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno. De acordo com dados do ano de 2011 do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) a temperatura média anual no local da microbacia é de 21.2°C, sendo a máxima média mensal aproximadamente 23°C e registrada nos meses de janeiro e fevereiro e a mínima média mensal no mês de julho com 18°C. O valor médio de precipitação é de 1422.8 mm e a umidade relativa é 66%. Os ventos predominantes são de nordeste, seguidos por ventos de sudeste.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste estudo seguiu as seguintes etapas conforme ilustra a Figura 2.

O processo de elaboração do zoneamento geoambiental da microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho ocorreu ao longo de quatro etapas que geraram resultados importantes para a obtenção das unidades com usos, potencialidades e restrições distintos, conforme será discutido a seguir.

Levantamento de dados

Na primeira etapa foi realizado o estudo das características naturais e antrópicas da área de interesse para definir unidades que representem um determinado comportamento.

Foram analisados mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite. Posteriormente, realizou-se a interpretação do uso e ocupação do solo e a análise preliminar da área com relação as

suas características gerais (geologia, geomorfologia e vegetação). Por fim, foi elaborado o mapa base e definido os diversos atributos para o zoneamento.

Na Tabela 1 estão contidos os atributos utilizados para a elaboração do zoneamento geoambiental. Os atributos foram propostos por (Zuquette, 1993) e modificados em virtude da quantidade de informações disponíveis na área de estudo.

Os materiais levantados nessa etapa foram: banco de dados digital geológico geotécnico elaborados por (Pons, 2006) e (Muro, 2000), cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) na escala 1:10.000 (SF-23-Y-A-I-1-NE-C, SF-23-Y-A-I-1-NO-D, SF-23-Y-A-I-1-NO-E, SF-23-Y-A-I-1-NE-E e SF-23-Y-A-I-1-NE-A) e imagem de satélite do GOOGLE referente ao ano de 2011.

Trabalho de campo

Na etapa de campo foram avaliadas as características geomorfológicas da área de estudo e coletadas as informações necessárias para o mapeamento geotécnico do local, que não foram fornecidas pelo levantamento de dados na etapa 1 (Figura 3).

Essa fase foi importante para averiguar os usos e ocupação da bacia de forma mais segura e concreta e, também, adequar os mapas base obtidos no levantamento de dados à situação atual da bacia.

Análise dos dados

Através do SIG (Sistema de Informações Geográficas) ArcGIS realizou-se a análise integrada das características geológico-geotécnicas das unidades ambientais identificadas durante as etapas anteriores.

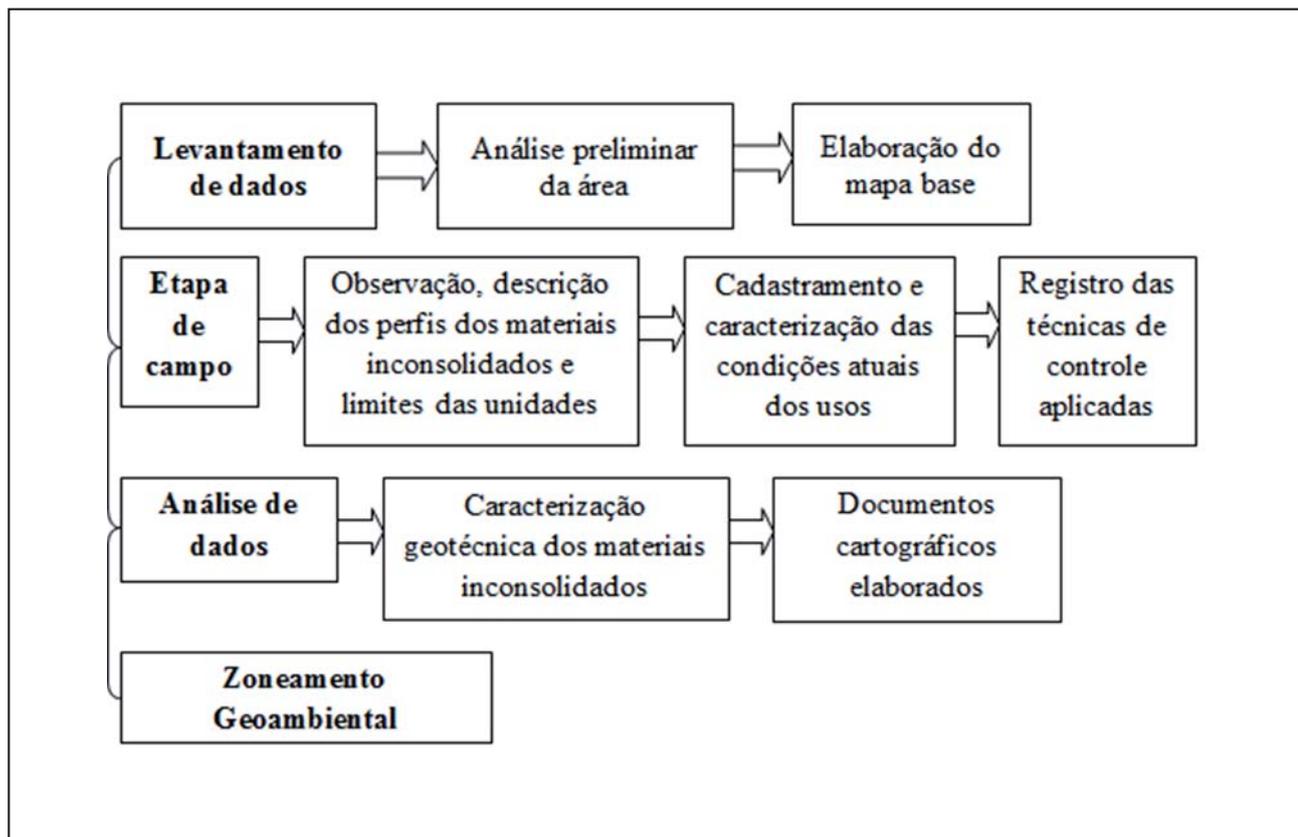


Figura 2. Etapas de obtenção do Zoneamento Geoambiental da microbacia do Córrego do Monjolinho. Fonte: (Autores, 2012).

Tabela 1. Componentes x atributos fundamentais para o Zoneamento Geoambiental. Fonte: (Zuquette, 1993) (modificado).

Componente do meio físico	Tipo	Atributo
Águas	Superficiais	Escoamento superficial Áreas de acúmulo de águas (temporário e permanente)
	Subterrâneas	Áreas de recarga Fontes Naturais
Geomorfologia	Morfometria	Declividade
	Morfologia	Relevo
Geologia	Substrato rochoso	Litologia
		Distribuição
	Evidência de processos	Erosivos (concentrados/laminares)
	Materiais Inconsolidados (gerais)	Origem (residual/trabalho)
		Textura
	Variação em profundidade (perfis de interação)	
Feições do tecnógeno		Distribuição (em área) Explorações minerais
Biológico	Vegetação	Antrópica
		Tipos/Ciclos
Processos recentes (antrópicos)		Obras que interferem no fluxo das águas superficiais



Figura 3. Áreas de Preservação Permanente (APPs) degradadas da microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho (MHCM). Fotos: (DIAS et al., 2011).

Zoneamento geoambiental

A etapa final constituiu-se da elaboração do zoneamento geoambiental da microbacia do córrego do Monjolinho para identificar os potenciais de uso e as fragilidades da área e auxiliar, dessa maneira, na proposição de medidas de manejo que tornem possível a conciliação entre as atividades antrópicas e a proteção das características naturais do local.

Também nesta etapa os diversos atributos do meio físico foram cruzados de forma pareada com as formas de relevo da área de interesse e analisados de forma qualitativa. A escala adotada para este artigo foi 1:50000. Os documentos cartográficos cruzados foram: Substrato Rochoso, Materiais Inconsolidados, Escoamento Superficial e Uso e Ocupação do solo.

RESULTADOS

Diferentes mapas foram elaborados para realizar o zoneamento da microbacia do córrego do Monjolinho, entre eles o Mapa de Substrato Rochoso, Mapa de Materiais Inconsolidado, Carta de Relevô, Carta de Escoamento Superficial e Mapa de Uso e Ocupação do Solo. Todos os mapas e cartas citados anteriormente foram gerados por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS (Esri, 2012) e com o uso e auxílio do banco de dados digital geológico geotécnico elaborado por (Pons, 2006) e (Muro, 2000), cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) e imagens de satélite do GOOGLE.

Além dos mapas elaborados, os dados climáticos da área onde está localizada a microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho foram utilizados para averiguar se a incidência de chuvas somada às características físicas do local poderia contribuir para a ocorrência de deslizamentos de terra, alagamentos, instabilidades do terreno, erosão e outras situações que colocariam em risco a população residente no entorno da microbacia e, conseqüentemente, comprometeriam as atividades na área, restringindo o uso e ocupação do solo. Dessa forma, os dados pluviométricos analisados influenciaram no zoneamento geoambiental da microbacia do córrego do Monjolinho auxiliando na definição dos usos e restrições das unidades obtidas.

As observações feitas na etapa de campo também contribuíram para a obtenção do zoneamento da microbacia forne-

cendo o diagnóstico preciso dos usos e ocupação atual da área e avaliando os impactos ambientais já existentes no local.

Mapa de substrato rochoso

As formações geológicas (Figura 4) presentes na área compreenderam três formações: Formação Botucatu, Formação Itaqueri e Magmatitos Básicos. A distribuição dessas formações na MHCM é representada na Figura 5.

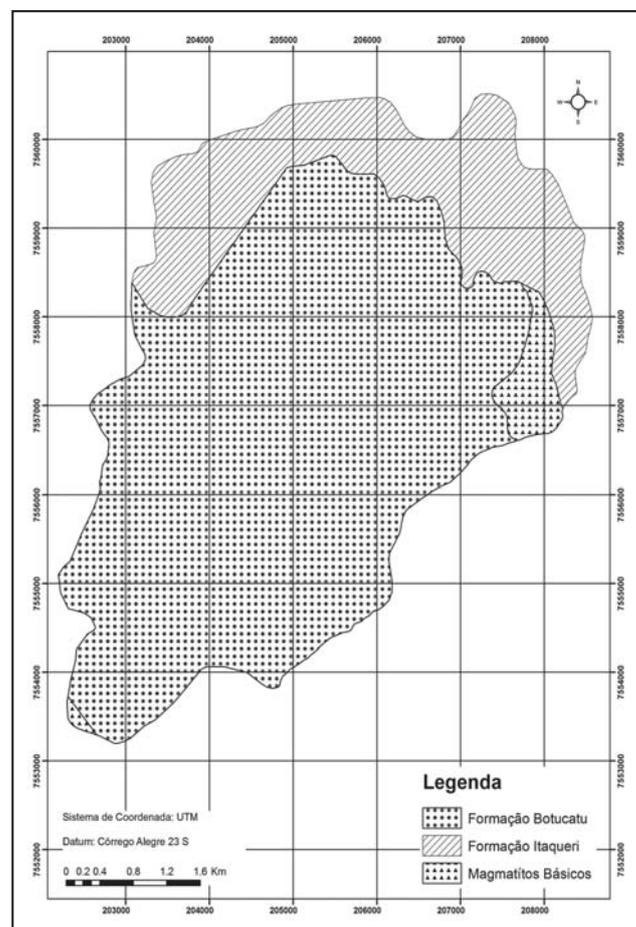


Figura 4. Mapa de Substrato Rochoso. Fonte: (Autores, 2012).

Observou-se a predominância da Formação Botucatu que ocupou aproximadamente 74% da bacia e representa uma região de grande importância por constituir área de recarga do Aquífero Guarani. Já a Formação Itaqueri ocorreu em menor proporção totalizando 23% da área, enquanto que os Magmatitos Básicos apenas representaram aproximadamente 3%.

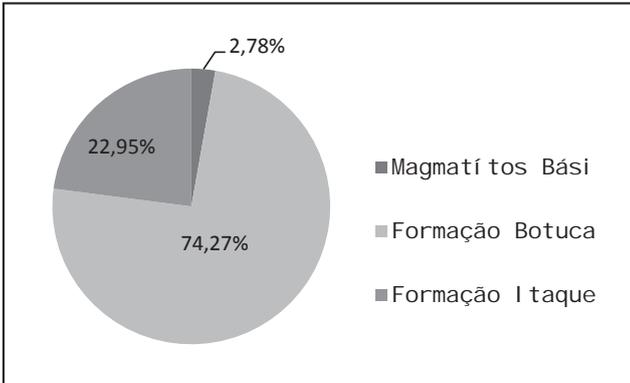


Figura 5. Gráfico da distribuição das formações geológicas na MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

Mapa de materiais inconsolidados

Os materiais inconsolidados na microbacia do Córrego do Monjolinho são predominantemente de textura arenosa. Os materiais residuais do Botucatu e os retrabalhados Arenosos I representaram 42,90% e 33,86% dos materiais inconsolidados da área, respectivamente.

O restante dos materiais estudados variou de textura arenosa mais grossa a textura argilosa. A Figura 6 representa o mapa de materiais inconsolidados da MHCM e a Figura 7 demonstra sua distribuição.

Carta de relevo

Foram identificadas 6 unidades de relevo na MHCM, definidas a partir da declividade e curvas de nível da área, conforme mostra a Figura 8.

As classes de declividade utilizadas para elaborar a carta de relevo foram: classe 1 (0-5%); classe 2 (5-10%); classe 3 (10-15%); classe 4 (15-20%); e classe 5 (>20%). Notou-se que a bacia apresenta a predominância de dois intervalos de declividade. O primeiro de 0 a 10%, ocorrendo principalmente a oeste da bacia que apresenta uma densidade menor de drenagem e menores altitudes. O segundo intervalo é o >15%, que ocorreu principalmente na região a norte e nordeste, próxima das cabeceiras da bacia, a qual apresenta uma densidade de drenagem maior e vales mais entalhados.

Quanto às seis unidades de relevo identificadas na área da microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho foram: colinas aplainadas, colinas suaves aplainadas, colinas onduladas, colinas suaves onduladas, escarpas e vales pequenos e fechados.

Verificou-se que a área de estudo apresenta um relevo predominantemente aplainado principalmente na região central e sudoeste da bacia totalizando aproximadamente 48% da área. Entretanto na região norte está localizado um relevo mais ondulado que representa 35% da microbacia. Além disso, a MHCM

apresenta uma área de escarpas (15% da área total) bem definidas a nordeste, denominada de Cuestas. Os vales pequenos fechados ocorrem de maneira pontual apenas a leste, totalizando apenas 2% da microbacia. Na Figura 9 observa-se a distribuição das unidades de relevo na MHCM.

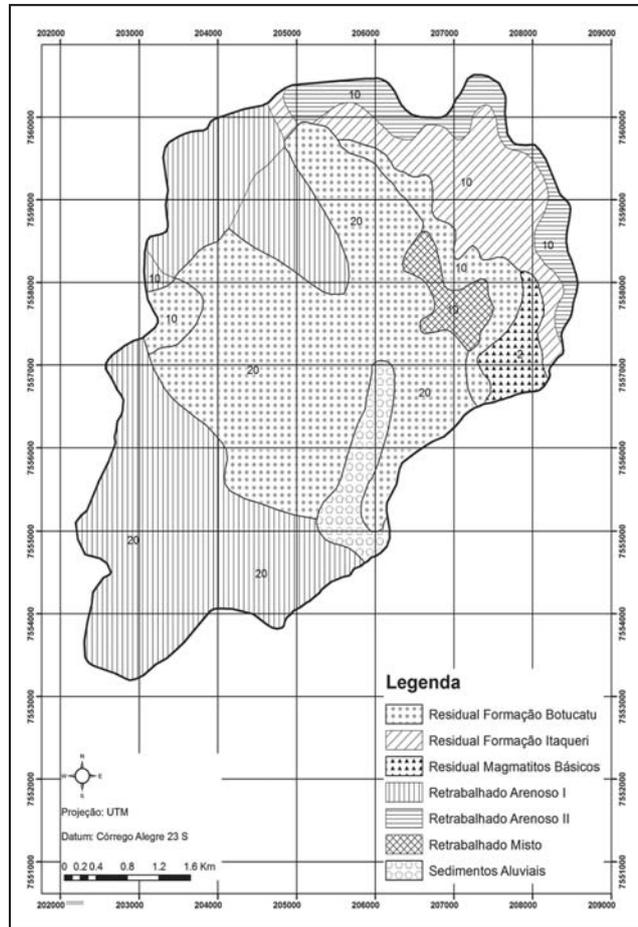


Figura 6. Mapa de Materiais Inconsolidados da MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

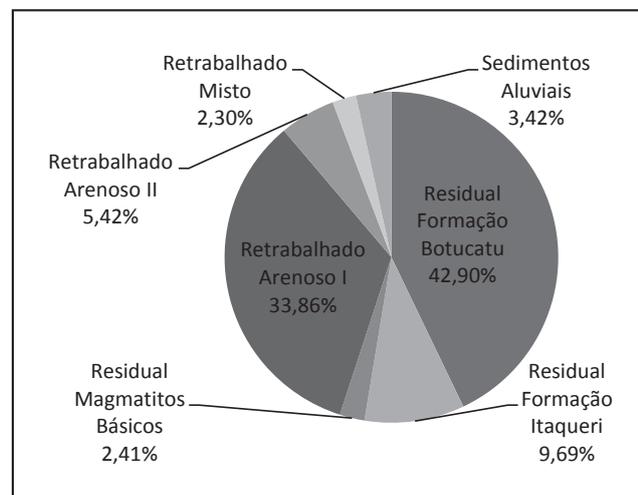


Figura 7. Gráfico da distribuição dos Materiais Inconsolidados da MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

Carta de escoamento superficial

A área de estudo possui seis classes de escoamento superficial, apresentadas na Figura 10, identificadas a partir do tipo de solo, relevo e declividade do terreno da região. Observou-se que o potencial de escoamento superficial é predominantemente baixo na MHCM, pelo fato da área apresentar principalmente declividades baixas e materiais bastante permeáveis. As classes

com baixo potencial de escoamento (Classe de 1 a 3) corresponderam cerca de 80% da área, enquanto as classes com potencial mediano ocorreram principalmente na classe 4 (cerca de 16%). As áreas que apresentaram classes mais elevadas de potencial de escoamento ocorreram de forma pontual nas escarpas. Na Figura 11 pode ser observada a distribuição das classes de potencial de escoamento superficial da MHCM.

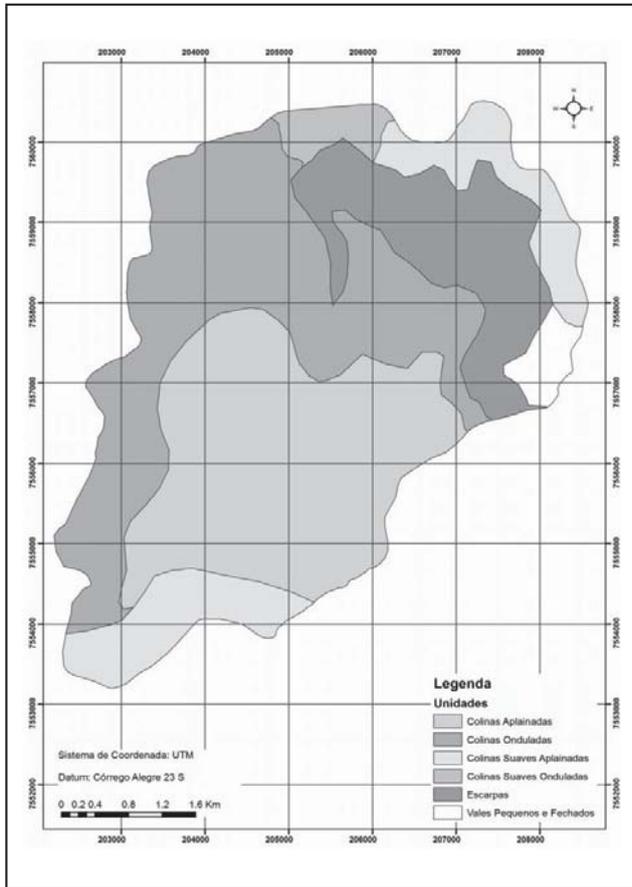


Figura 8.: Carta de Relevo da MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

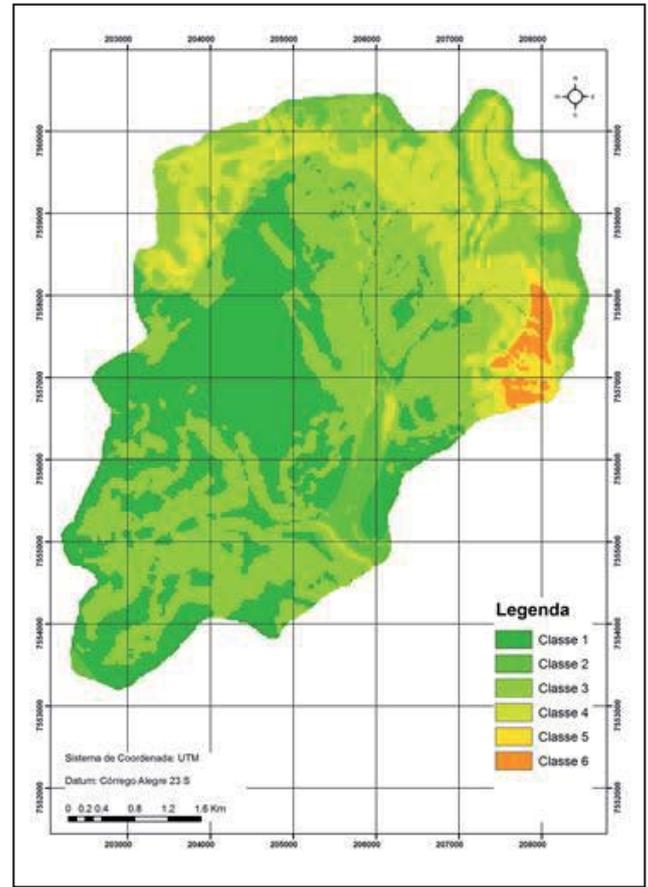


Figura 10. Carta de Escoamento Superficial da MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

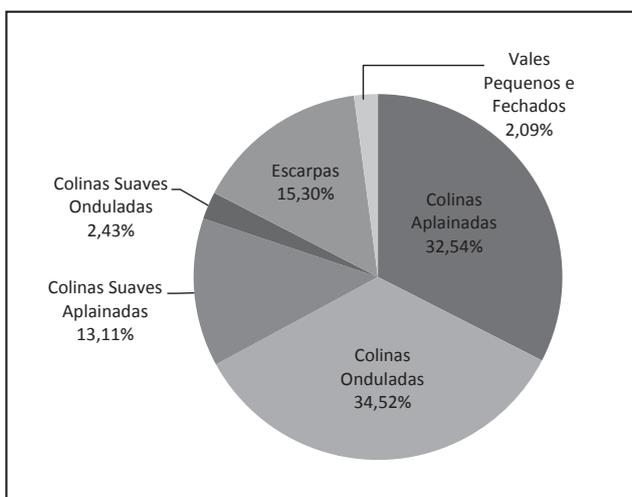


Figura 9. Gráfico da distribuição das unidades de relevo na MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

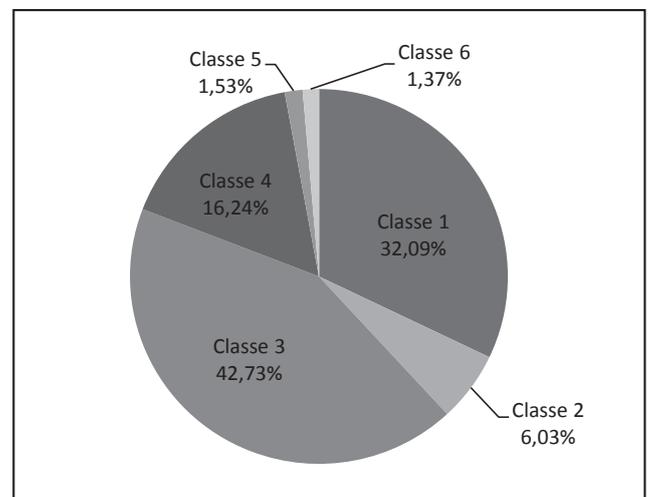


Figura 11. Gráfico da distribuição das classes de potencial de escoamento superficial da MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

Mapa de uso e ocupação do solo

Na Figura 12 pode ser observado o mapa de uso e ocupação do solo da microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho. Observou-se que os principais usos da MHCM são predominantemente as matas, ocupando aproximadamente 31% da área, e a pastagem abrangendo 19% do território da bacia. Outros usos como agricultura e solo exposto apresentam proporções semelhantes (13% aproximadamente), assim como área construída e reflorestamento que ocupam, cada uma, aproximadamente 9% do território da bacia. Enquanto áreas de minerações e cerrado ocorrem de forma pontual.

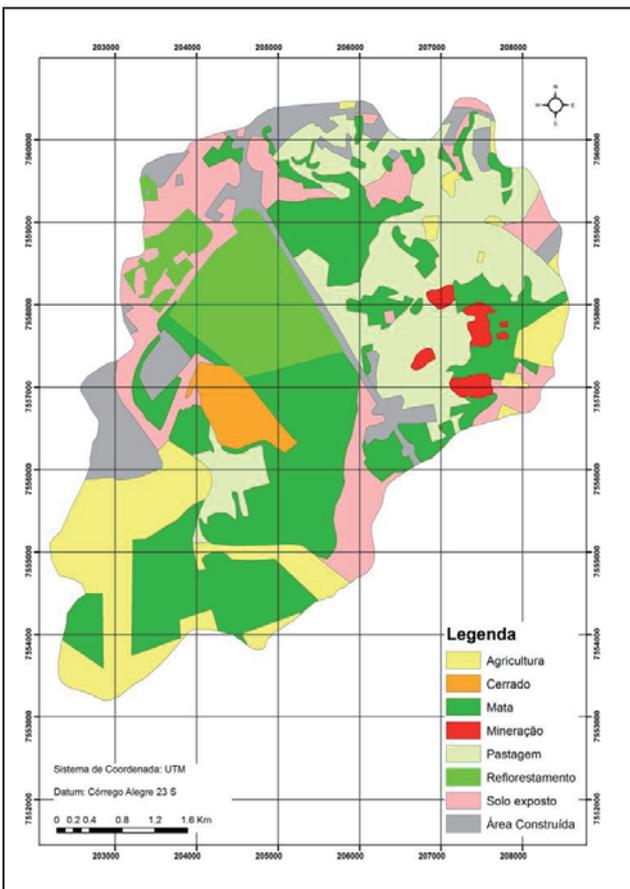


Figura 12. Mapa de Uso e Ocupação da MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

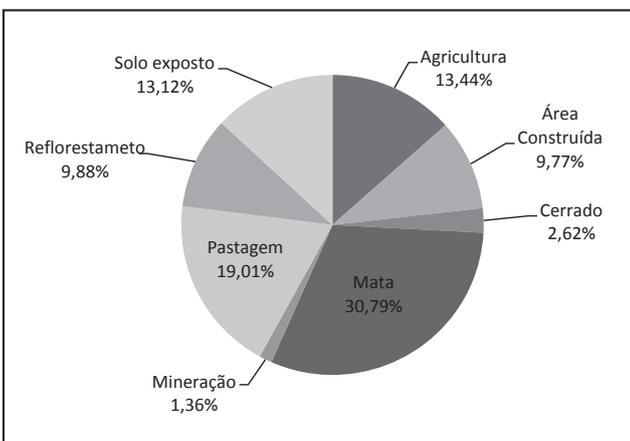


Figura 13. Gráfico da distribuição dos diversos usos do solo da MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

A Figura 13 apresenta o gráfico com as distribuições dos usos e ocupação pelo território da microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho. No gráfico é possível analisar a porcentagem da área da microbacia ocupada por cada atividade verificada no local.

Zoneamento geoambiental

A partir da combinação dos documentos cartográficos anteriores, elaborou-se o zoneamento geoambiental da MHCM, apresentado na Figura 14.

Por meio do zoneamento geoambiental da microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho, obteve-se seis unidades da paisagem com características, potencialidades e restrições distintas. As potencialidades e restrições de uso de todas as seis unidades podem ser consultadas na Tabela 2.

Na Figura 15 pode-se observar qual proporção da área da microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho é ocupada por cada unidade geoambiental obtida.

A lei consultada para deliberar sobre os potenciais de uso e restrições das unidades geoambientais obtidas com o zoneamento da MHCM foi a Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002 que dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Por meio desta lei, e também da análise das características físicas da área, foram definidos os potenciais e restrições de uso na microbacia hidrográfica do córrego do Monjolinho, visando manter a qualidade ambiental e, também, aproveitar da melhor maneira possível os recursos naturais disponíveis na região.

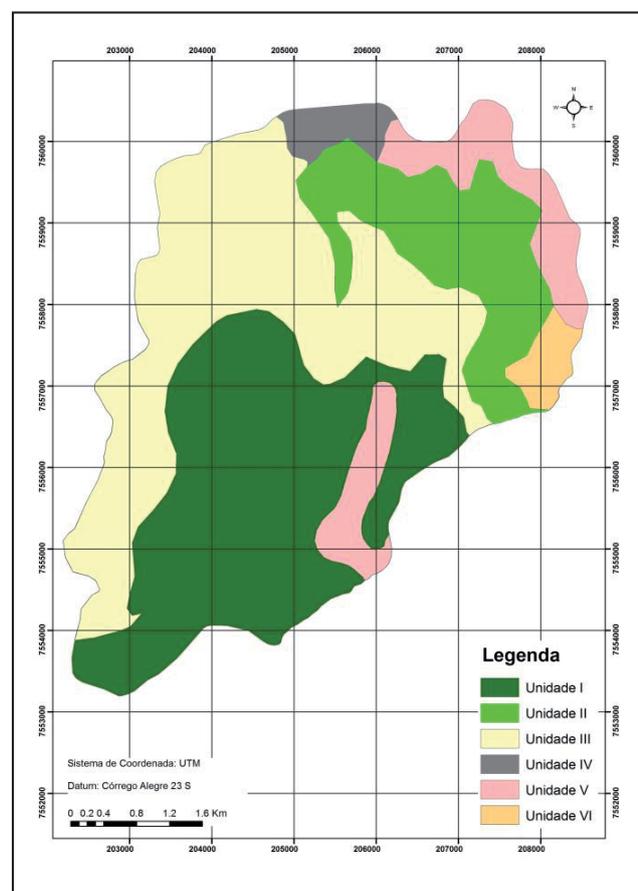


Figura 14. Zoneamento Geoambiental da MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

A realização do zoneamento da MHCM também buscou ressaltar a utilidade do zoneamento na gestão dos recursos hídricos e no cumprimento das diretrizes dispostas na Política Nacional dos Recursos Hídricos (lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) que tem como objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos com vistas ao desenvolvimento sustentável e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

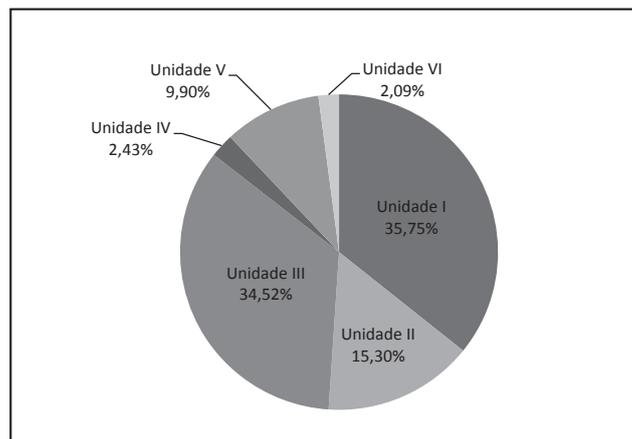


Figura 15. Gráfico representando a distribuição das unidades Geoambientais MHCM. Fonte: (Autores, 2012).

Tabela 2. Unidades Geoambientais da microbacia Hidrográfica do Córrego do Monjolinho. Fonte: (Autores, 2012).

Unidade	Característica	Restrição	Potencialidade
U1	Colinas aplainadas e colinas suaves aplainadas com classes de escoamento superficial 1 a 3. Os principais usos do solo são mata e cerrado. O substrato rochoso é composto pela Formação Botucatu. Os materiais inconsolidados presentes são o Residual da Formação Botucatu e o Retrabalhado Arenoso I.	Não é permitido nem um tipo de uso em virtude de ser uma área potencial de recarga do Aquífero Guarani.	Preservação total.
U2	Escarpas, apresenta classes de escoamento superficial predominantemente de 4 a 6. Tem como principais usos do solo: mata e pastagem, além disso, ocorrem em menor proporção agricultura, solo exposto e, de forma isolada, área construída. O substrato rochoso é composto pelas Formações Serra Geral, Botucatu (afloramentos com potencial de exploração mineral) e Itaqueri. Os principais materiais inconsolidados são Retrabalhado Arenoso I, Residual dos Magmatitos Básicos, Retrabalhado Misto, Residual do Itaqueri e Residual do Botucatu.	A construção civil e atividades agrícolas extensivas em virtude da declividade e alto escoamento superficial.	Preservação da vegetação e mineração de arenitos.
U3	Colinas onduladas com classes de escoamento superficial de 1 e 4. O principal uso do solo é o reflorestamento, ocorrendo todos os outros usos com proporção semelhante, exceto o cerrado. O substrato rochoso é composto pela formação Botucatu e Bauru. Os principais materiais inconsolidados são Retrabalhado Arenoso I e II, Retrabalhado Misto, Residual Formação Itaqueri e Residual do Botucatu.	As áreas próximas a Rodovia Washington Luiz, que corta a bacia, apresentam potencial de recarga do Aquífero Guarani, entretanto por já apresentar construções consolidadas, deve ser mantido o estado atual de uso.	Apresenta diversos potenciais dentre os quais: silvicultural, agrícola, industrial e expansão urbana.
U4	Colinas suavemente onduladas com classes de escoamento de 2 a 4, principais usos a pastagem e área construída. Está sobre, principalmente, a formação Itaqueri. Os principais materiais inconsolidados são o retrabalhado Arenoso II e Residual do Botucatu.	Esta unidade contém algumas nascentes do Córrego do Monjolinho, deste modo a urbanização deve ser planejada respeitando a legislação vigente, tendo em vista que a área já se apresenta degradada.	Esta unidade apresenta a maior aptidão para a expansão urbana em função de já apresentar fragmentos urbanos consolidados.
U5	Colinas aplainadas e colinas suaves aplainadas com escoamento de classes 1 a 4, ocorrendo os diversos tipos de uso, predominando as áreas com mata. Está sobre as formações Itaqueri e Serra Geral. Os materiais inconsolidados predominantes nesta unidade são Residual Formação Itaqueri, Retrabalhado arenoso II e Sedimentos aluviais.	Apresenta poucas restrições, exceto para a construção civil nas áreas onde ocorrem os sedimentos aluviais.	Esta unidade tem como principal potencialidade o uso agrícola.
U6	Vales pequenos em V com classes de escoamento 2 a 5. O principal uso é solo exposto, ocorrendo em menor proporção agricultura e mata. Está sobre as formações Serra Geral e Formação Itaqueri. Os materiais inconsolidados predominantes são os residuais dos Magmatitos Básicos e da Formação Itaqueri, ocorrendo também Retrabalhado Arenoso II.	Esta unidade apresenta 3 áreas de nascente que devem ser preservadas.	Manter os usos atuais, podendo recuperar as áreas de solo exposto ou utilizar para agricultura, respeitando os limites estabelecidos por lei.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Por meio do Zoneamento Geoambiental da microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho verificou-se que é necessário planejar as atividades antrópicas na área para proteger seus recursos. É recomendável dispensar atenção especial para a proteção das áreas de nascente e recarga do aquífero guarani devido à importância que representam para a manutenção da disponibilidade e qualidade da água da bacia e dos depósitos de água subterrânea, respectivamente.

A microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho na época da realização deste estudo não apresentou grau elevado de vulnerabilidade ambiental, mesmo assim, é importante que antes de intervir na área seja feito um estudo e planejamento para adequar o uso e ocupação do território com suas características físicas. Além disso, qualquer tipo de interferência deve respeitar a legislação ambiental vigente para evitar a necessidade de adoção de medidas corretivas, a instalação de usos impactantes e preservar seus recursos naturais.

Destaca-se que a Unidade I possui grande importância ambiental por ser área de recarga de aquífero, por isso, é importante que ela seja inteiramente preservada para não comprometer e contaminar os depósitos de água subterrânea. Já as características físicas da Unidade III a torna propícia para atividades humanas diversas que, instaladas adequadamente, não causaram impactos negativos ao meio natural e geram benefícios econômicos para a região.

Os resultados deste zoneamento visam auxiliar no planejamento urbano da área e proporcionar aos moradores da região qualidade ambiental e boas condições de vida, tais como acesso a equipamentos públicos, infraestrutura e proteção contra riscos como instabilidades de terras e contaminação da água para consumo.

A Lei nº 9.605 de 13 de fevereiro de 1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais ou Lei da Natureza, em sua seção III e art.60 que discorre sobre a poluição e outros crimes ambientais, prevê pena de detenção, de um a seis meses, ou multa, ou ambas as penas cumulativamente para indivíduos que construir, reformar, ampliar, instalar ou fazer funcionar, em qualquer parte do território nacional, estabelecimentos, obras ou serviços potencialmente poluidores, sem licença ou autorização dos órgãos ambientais competentes, ou contrariando as normas legais e regulamentares pertinentes (BRASIL, 1998).

Portanto, desrespeitar as leis ambientais estabelecidas pelos órgãos ambientais competentes, não só degrada os recursos naturais como também constitui crime sujeito a pena para o indivíduo causador de prejuízos à qualidade do meio ambiente. Por esses motivos é importante conhecer a legislação ambiental aplicável à área antes de modificá-la.

Com o zoneamento geoambiental da MHCM espera-se fornecer aos gestores municipais de São Carlos, órgãos municipais e demais partes interessadas, informações que contribuam para a elaboração de ações e planos de desenvolvimento urbano que conduzam o município à sustentabilidade e confirmem qualidade de vida para seus moradores.

Outro impacto esperado deste estudo é atrair a atenção da população para a importância da microbacia hidrográfica do Córrego do Monjolinho, essencial para o abastecimento hídrico do município de São Carlos. Também é esperado com este estudo difundir e dar visibilidade para a importância do zoneamento para o planejamento e elaboração de políticas urbanas, pois, mesmo sendo um instrumento de Gestão Ambiental e estar inserido na Política Nacional de Meio Ambiente (Artigo 9º., inciso II da Lei 6.938/81), alguns municípios não possuem zoneamento, dificultando a preservação ambiental e o planejamento urbano.

TRABALHOS CITADOS NO TEXTO

AGUIAR, R. L.

Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos, SP. 1989. 127 f.
Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

BRASIL.

Lei nº 6.938 de – Política Nacional de Meio Ambiente.
Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso em: Jul. 2013.

BRASIL.

Lei n. 9.433 de 08 de janeiro de 1997.
Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

BRASIL.

Lei nº 9.605 de 13 de fevereiro de 1998 – Lei de Crimes Ambientais.
Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conam/legiabre.cfm?codlegi=320>> Acesso em: jul. 2013.

CEPAGRI, CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA.

Clima dos municípios paulistas.
Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/loutras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 16 jul. 2010.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE.

Resolução nº 303, de 20 de março de 2002.
Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

DAL'ASTA, A. P.

Elaboração de zoneamento geoambiental para o perímetro urbano de Santa Maria, RS. 2009.
176 f. Tese (mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

- DIAS, R. M.; FAILACHE, M. F.; FERREIRA, M. D.
Estudo preliminar para a implantação de projeto de sequestro de carbono a partir da recuperação de áreas de preservação permanente de cursos d'água degradados – Microbacia do Córrego do Monjolinho, SP.
In: SINRAD, Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 9, 2012, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: SINRAD, 2012.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. (ESRI).
ArcGIS.
Professional GIS for the desktop, versão 9.3.1CA. 2011.
- GOOGLE.
Imagens de satélite do Google Earth. 2011.
- GROSTEIN, M. D.
Metrópole e Expansão Urbana: A Persistência de Processos “Insustentáveis”.
São Paulo Perspec., São Paulo, 2001, vol.15, n.1, pp. 13-19. ISSN 0102-8839.
Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392001000100003>
Acesso em: 12 Abri. 2011.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). 1980.
Folhas SF-23-Y-A-I-1-NE-C, SF-23-Y-A-I-1-NO-D, SF-23-Y-A-I-1-NO-F, SF-23-Y-A-I-1-NE-E e SF-23-Y-A-I-1-NE-A. Na escala 1:10.000
- MARTINS, O. S.
Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos – SP. 2004.
136f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.
- MURO, M.D.
Carta de zonamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos - SP
Escala 1:50.000. 2000.
172f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- NISHIYAMA, L.
Mapeamento geotécnico preliminar da quadrícula de São Carlos – SP. 1991.
228 f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Carlos, 1991.
- OLIVEIRA, C. H.
Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas. 1996.
Dissertação (Mestrado) – Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- PONS, N. A. D.
Levantamento e diagnóstico geológico geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com auxílio de geoprocessamento. 2006.
210f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- SANTOS, R. F.
Planejamento Ambiental: teoria e prática.
1ª ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2004. 184 p.
- TOMINGA, L. K.
Diagnóstico Preliminar da Cartografia Geotécnica e Geoambiental no Brasil.
In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5., 2004, São Carlos. Anais... São Carlos: SBCGG, 2004. 20p. Disponível em: <http://www.redetec.org.br/publique/medial/DiagnosticoCartografiaGeotecnica.pdf>
Acesso em: 10 Abri. 2011.
- ZUQUETTE, L. V.
Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. 1993. 369 f.
Tese de livre docência – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.



Relevancia de la evaluación de los aspectos geológicos y geomorfológicos para los estudios geotécnicos de pequeñas presas - estudio de casos

Relevance of the evaluation of geological and geomorphological aspects for geotechnical studies of small dams - case studies

Balbis, Agustín ¹ ✉ - Pesci, Hugo E. ¹

Recibido: 08 de Noviembre de 2012 • Aceptado: 13 de Julio de 2013

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo poner en relevancia la importancia que adquiere la evaluación de los aspectos geológicos y geomorfológicos, como paso previo a la ejecución de los estudios geotécnicos en el desarrollo de los proyectos ejecutivos de obras de pequeñas presas. El análisis de estos aspectos, además de permitir componer un adecuado contexto físico para el emplazamiento de la presa, posibilita definir preliminarmente los estudios geotécnicos, de campo y laboratorio, más apropiados a ejecutarse en cada caso. Sobre la base de estudios ya ejecutados, se detallan estudios de casos para una presa en zona de llanura (El Chañar) y otra en zona de montaña (La Calera). Las evaluaciones mencionadas han aportado valiosas herramientas de análisis para la definición de los estudios a realizar para el proyecto, como así también para la posterior definición de las obras a ejecutarse en el cierre de las presas y la búsqueda de materiales de préstamo. En los dos casos, se realizó una revisión detallada de la información geológica y geomorfológica en la bibliografía, como así también la cartografía existente en distintos organismos públicos, entre las que se destacan las cartas geológicas, topográficas, imágenes satelitales y fotografías aéreas.

La revisión y análisis descriptos, junto con las recorridas de campo preliminares, permitieron conformar una cartografía geológica y geomorfológica adecuada. En ambos casos, los estudios geológicos y geomorfológicos, permitieron hacer una correcta aproximación y aportaron elementos para la ejecución de los estudios geotécnicos que, en términos generales, validaron los estudios previos y contribuyeron a la toma de decisiones con respecto a modificaciones de proyecto en el caso de El Chañar y tipos de cierre de presa a construir en La Calera.

Palabras clave: Geología - Geomorfología - Geotecnia - Presas.

¹. Geól. Agustín Balbis y Asoc.
Cnel. Pringles 140 6° D - 5000 - Córdoba

✉ balbis.agustin@gmail.com

Abstract

This work aims to put the importance acquired relevance assessment of the geology, geomorphology, prior to the execution of geotechnical studies on the development of the final design of works of small dams. The analysis of these issues, allows composing an appropriate physical context for the dam site, and also allows defining preliminary geotechnical studies, field and laboratory best suited to run in each case. Based on studies already implemented are detailed case studies for a dam in plain area (El Chañar) and another in mountain (La Calera). The above assessments have provided valuable tools for defining analysis of the studies to be performed for the projects, as well as for the subsequent definition of the works to be executed at closing of dams and the search for lending materials. In both cases, we performed a detailed review of geological and geomorphological information in the literature, as well as existing maps in various public bodies, including the letters stand out geological, topographical, satellite images and aerial photographs.

The review and analysis described, along preliminary field traveled, helped to establish an adequate geological and geomorphological mapping. In both cases, the geological and geomorphological allowed to make a correct approach and provided information for the execution of geotechnical studies, broadly validated previous studies and contributed to making decisions about changes in the case of El Chañar project and types of closing dam to build in La Calera.

Keywords: Geology - Geomorphology - Geotechnics - Dams.

INTRODUCCIÓN

La presa de llanura, llamada El Chañar, ya construida y ubicada en el límite entre las provincias de Córdoba y San Luís, aproximadamente cuatro mil metros aguas abajo del límite entre ambas, dentro de la provincia de Córdoba. Esta presa se encuentra localizada en la cuenca inferior del río Quinto, en las inmediaciones de la estancia El Chañar en el Departamento Río Cuarto. Las coordenadas del centro del eje en la zona de su cierre se ubican a $65^{\circ} 04' 25''$ de longitud oeste y $33^{\circ} 59' 40''$ de latitud sur. El objetivo de esta presa es la regulación de caudales excedentes del río Popopis (Quinto). En el proyecto original, el cierre de la presa estaba previsto construirlo con un terraplén conformado por materiales sueltos finos, compactados en capas, protegido aguas arriba con una capa de suelo cemento y un enrocado. Dicho terraplén estaría conformado con sus correspondientes drenes internos, estructuras de descarga y demás obras complementarias y, para evitar las filtraciones sub-superficiales, se ejecutaría una pantalla horizontal construida aguas abajo de la presa. Desde el punto de vista geotécnico, un aspecto relevante a determinar fue la ubicación espacial de cada uno de estos materiales y su vinculación con el cierre de la presa. La evaluación geomorfológica, permitió diagnosticar los sectores por los que el río había transcurrido en el área de implantación de la presa, en los últimos períodos geológicos. Además de la coincidencia con la zona de cierre de la presa, esta situación determinó que los sondeos más profundos se realizaran en las zonas mencionadas.

La presa de montaña, llamada La Calera, que está en etapa de anteproyecto y se ubica en el Departamento Rosario Vera Peñalosa de la Provincia de La Rioja, aproximadamente doce kilómetros al norte de la localidad de Chepes en la zona periserrana de la Sierra de Chepes. Las coordenadas del centro del eje en la zona de su cierre se ubican a $66^{\circ} 33' 21''$ de longitud oeste y $31^{\circ} 14' 35''$ de latitud sur. El objetivo de esta presa será el almacenamiento de agua para provisión de la localidad de Chepes y en este caso, al encontrarse el proyecto en una fase muy preliminar, se partió de la hipótesis que la presa a construir podría ser ejecutada con alguno de los dos tipos de alternativas que se describen a continuación. La primera, una presa

de sección homogénea, donde toda o casi toda la sección transversal estará constituida por un mismo material, en este caso formado por tierras compactadas de baja permeabilidad. Para controlar posibles filtraciones y evitar procesos erosivos o de tubificación, se prevé construir una pantalla impermeable por debajo de las fundaciones de la presa, utilizar drenes de materiales permeables con distinto tipo de características y proteger los taludes. La segunda alternativa es una presa de escollera, donde los materiales del cierre serán fragmentos rocosos de diferentes granulometrías, donde el núcleo de este tipo de presa, es ejecutado con materiales impermeables, con métodos de control de filtraciones similares a la de sección homogénea. Los estudios geotécnicos estuvieron orientados a determinar el comportamiento de ambos materiales tanto desde el punto de vista de las fundaciones de la presa, como la posibilidad de ser usados como materiales de cierre. En este contexto, además de los sondeos y ensayos en materiales sedimentarios, se realizaron estudios geofísicos, petrográficos y perforaciones en rocas, como así también, ensayos de mecánica de rocas y de absorción para identificar su permeabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tareas de gabinete

Sobre la base de los trabajos realizados en campaña y laboratorio, se procedió a compilar la información, se ejecutaron los cálculos correspondientes, se confeccionaron las planillas y gráficos, y se procesaron los datos.

Para evaluar las características geomorfológicas y geológicas de superficie, además de los reconocimientos de campo, el análisis de la bibliografía o mapas geológicos y la evaluación de los trabajos realizados en la zona, se interpretaron las imágenes satelitales disponibles. Con esta interpretación y los antecedentes obtenidos, se realizó la descripción de las distintas unidades geológicas y geomorfológicas de la zona de emplazamiento de las presas. Se vinculó la cartografía a las distintas escalas existentes (carta topográfica, planialtimetría de la zona en estudio e interpretación de imágenes) con los antecedentes y bibliografía general. Esta vinculación permitió ubicar geográficamente

ficamente las presas a los efectos de integrar la información geológica, geomorfológica y geotécnica, para la confección de las planimetrías correspondientes.

Para la determinación de los principales parámetros geotécnicos de los materiales sedimentarios identificados, se trabajó con la información obtenida de los sondeos y calicatas ejecutadas, como así también de las recorridas de campo. Los valores de densidad, ángulo de fricción y cohesión fueron estimados en función de dichas características y de los ensayos de laboratorio realizados. La tensión admisible fue calculada sobre la base de la Fórmula General de Capacidad de Carga de Terzaghi con sus modificaciones. Además, en cada caso, se realizaron los cálculos correspondientes para el cálculo de asentamientos, colapsabilidad, dispersividad y compactación. Se evaluó la permeabilidad de las muestras de laboratorio y la obtenida mediante la aplicación de los Ensayos Lugeon en las zonas rocosas y de infiltración con carga variable (tipo Lefranc) en las zonas con materiales sedimentarios permeables.

En el caso de la presa La Calera, para calcular el volumen de material fino sedimentario o rocoso disponible en los posibles yacimientos, a los efectos de la eventual construcción de la presa con materiales finos compactados o escollera, se determinaron las áreas con dichos materiales en la planialtimetría ejecutada con el programa Autocad y se las multiplicaron por las profundidades exploradas e identificadas. Los volúmenes calculados con la metodología antedicha, se compararon con los volúmenes necesarios, considerando las dimensiones del terraplén de cierre de la presa a ejecutar. Estas dimensiones se determinaron con el programa Solidworks, en función de la topografía disponible y las posibles características de la presa (coronamiento e inclinación de taludes).

Por último, en esta presa y de manera indicativa, con los datos obtenidos en laboratorio sobre el comportamiento de los materiales analizados para la construcción de los posibles terraplenes de cierre de la presa, se realizaron cálculos de estabilidad de los taludes con distintos ángulos de inclinación. Estos cálculos se ejecutaron suponiendo que los materiales de construcción de cuerpo de la presa fueran finos (limos arenosos o arenas limosas) compactados, para el caso de una presa de sección homogénea, o fragmentos rocosos de diferentes granulometrías, para el caso de una presa de escollera. En ambos casos se trabajó con la hipótesis más desfavorable, considerando un talud de 3H:1V, cohesión nula y el talud completamente saturado por el pelo de agua de la presa. Para dichos cálculos se utilizó el Método de Bishop (1955) que aplica para los materiales analizados y considera una superficie de rotura circular.

Tareas de campo y de laboratorio

En el caso de la presa El Chañar se realizó una primera etapa de exploraciones en el año 2004, cuyo objetivo fue realizar el estudio geotécnico completo de la zona de cierre de la presa y de las áreas de préstamo para la extracción de materiales de ejecución de la misma. Antes de comenzar con las tareas de campo, se recorrió la zona de emplazamiento de la traza, se identificaron los lugares de ejecución de sondeos y calicatas, se reconocieron las principales unidades geológicas y geomorfológicas y se verificaron los suelos representativos y materiales sedimentarios superficiales. En esta recorrida también se obtuvo material fotográfico y se relevaron los puntos más significativos (sondeos, vértices y otros) con GPS.

En primer lugar se desarrollaron siete sondeos exploratorios con Ensayos SPT de 10 m de profundidad y cuatro son-

deos exploratorios de 25 m de profundidad. Todos estos sondeos se realizaron sobre el eje de implante de la presa, de acuerdo a lo indicado por los proyectistas y a las características morfológicas y geológicas del terreno en estudio. Posteriormente y sobre la base de la información obtenida con los primeros sondeos, se realizaron otros, que permitieron verificar y correlacionar el perfil estratigráfico regional y profundizar la información en aquellos lugares donde la misma, por necesidades de la obra (ubicación del vertedero) o anomalías en los perfiles, debió ser mejorada. A tales efectos se ejecutaron cinco sondeos de 10 m de profundidad (aguas abajo del vertedero), otros de 15 m, de 25 m (aguas arriba del vertedero) y dos más de 20 m de profundidad. En algunos de estos sondeos se realizaron Ensayos Lefranc en perforaciones para evaluar la permeabilidad in-situ.

Además, se realizaron 16 (dieciséis) calicatas de hasta 5 m en las zonas de probables préstamos para investigación de materiales de rellenos y de fundación, y 13 (trece) calicatas de hasta 3 m de profundidad para la investigación de materiales de filtros y drenes, que permitirán definir áreas de préstamo para yacimientos. Estas calicatas también permitieron corroborar la distribución y característica regional de los materiales subsuperficiales a los efectos de evaluar posibles cotas de fundación, tensiones admisibles y otros parámetros geotécnicos. De cada una de estas calicatas se extrajeron muestras para ensayos de laboratorio.

En años posteriores se realizaron diversas campañas complementarias para verificar las zonas con materiales granulares gruesos, a los efectos de la conformación de la pantalla impermeable proyectada y determinar las cotas de fundación de las estructuras de cierre. También, una vez ejecutada la pantalla con una mezcla de suelo-cemento-bentonita, se extrajeron muestras de la misma para evaluar su impermeabilidad y se colocaron piezómetros en diversos lugares del coronamiento de la presa.

En el caso de la presa la Calera las tareas se dividieron en dos etapas secuenciadas. En la primera se ejecutaron dos prospecciones geosísmicas y cuatro prospecciones geoléctricas. Además, sobre la base de planialtimetría confeccionada, se relevó la traza de emplazamiento del cierre de la presa y el vaso de la misma, como así también las probables zonas de préstamo y áreas aledañas de interés. Este relevamiento se realizó con el objetivo de reconocer y mapear las principales unidades geológicas y geomorfológicas. Además, la recorrida de la zona del cierre y préstamos, permitió obtener muestras de rocas para su evaluación en laboratorio. En esta campaña se realizó un relevamiento geomorfológico, geológico y geotécnico de superficie en detalle de las zonas de probable emplazamiento de las obras. En el mismo se hizo el reconocimiento de estructuras geológicas discontinuas, en direcciones y buzamientos, y de los principales lineamientos estructurales (esquistosidad, fracturas y fallas) en las zonas de las obras clasificadas según orden de importancia. El relevamiento geológico se realizó en la zona de emplazamiento del cierre y la totalidad de la zona a inundar por el embalse. Esto se ejecutó con especial énfasis para evaluar la posibilidad de existencia de sitios que puedan presentar dudas en cuanto a la estanqueidad del vaso, así como las áreas de potencial remoción en masa, siempre como consecuencia del incremento de cota inundación hídrica y los movimientos del nivel de embalse. El relevamiento geológico se apoyó en la planialtimetría del embalse confeccionada para este fin y, sobre esta base, se elaboraron perfiles geológicos teóricos en la zona de emplazamiento de la presa y sus principales obras asociadas,

indicando el nivel de superficie y las estimaciones de los distintos estratos de interés para el Proyecto.

Se ejecutaron cinco sondeos con perforaciones rotativas en materiales rocosos y aluvionales gruesos con equipo rotativo y tres sondeos con Ensayos SPT en sectores donde se identificó la presencia de materiales blandos o suelos. Este conjunto de perforaciones y sondeos permitieron definir la yacencia de los materiales litológicos que componen el cierre natural de la presa. Para la definición del sitio y profundidad de cada uno de estos sondeos, se utilizaron como referencia principal resultados de los estudios geofísicos realizados (sísmicos y geoelectrónicos). En los probables sitios de ubicación de yacimientos de materiales finos, se ejecutaron veintiún sondeos con pala vizcachera de tres metros de profundidad promedio, con toma de muestras cada un metro, se hicieron tres calicatas a cielo abierto de tres metros de profundidad promedio con toma de muestras cada un metro y se extrajeron muestras de una excavación abierta en la barranca derecha del río. En el caso de las zonas con materiales gruesos de aluvión, se procedió a realizar cuatro calicatas a cielo abierto en el cauce del río, aguas arriba del cierre de la presa y ubicadas aproximadamente a cien metros una de la otra, con toma de muestras cada un metro. Además, en dos puntos determinados previamente, se realizaron Ensayos Lugeon y Lefranc. Estos ensayos se realizaron para determinar la permeabilidad in-situ de los materiales rocosos y sedimentarios implicados debajo del cierre de la presa, en las zonas más críticas.

Tareas de laboratorio

Todas las muestras extraídas de los sondeos y calicatas de los posibles yacimientos de suelos, fueron identificadas mediante el "Sistema de Clasificación Unificado de Suelos". Además, sobre algunas muestras específicas se realizaron los siguientes ensayos especiales: Triaxiales No Consolidados y Consolidados No Drenados, de Permeabilidad, Proctor Estándar y Modificado, CBR para muestras de mezclas, de colapsabilidad, agresividad de muestras de suelo y agua, de Compresión Confinada (Consolidación), y de Dispersividad (Pin Hole).

Se procedió a procesar las muestras obtenidas en los trabajos de campo, procedentes de las perforaciones en roca y de los distintos tipos de sondeos y calicatas de los sectores de yacimientos. Esto se realizó, a los efectos de evaluar sus características físicas y geotécnicas. Las muestras de las perforaciones en roca, fueron lavadas y tamizadas para su identificación petrográfica, comparándolas con los resultados de los estudios petrográficos previamente ejecutados. En este caso, se trabajó con la información recopilada en el campo y en las planillas de logueo.

En el caso de la presa la Calera, en la primera etapa los trabajos de laboratorio se circunscribieron a estudios petrográficos y evaluación de parámetros físicos de las rocas cristalinas ígneas que yacen en el sector que constituirá el cierre de la presa.

CONSIDERACIONES GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS

Presa El Chañar

La presa El Chañar se ubica dentro de la Provincia Geomorfológica Llanura Chacopampeana, que es una extensa planicie donde los rasgos geomorfológicos responden principalmente a las estructuras dominantes, a la litología y a las oscilaciones climáticas del Cuaternario. Utilizando como base las unidades

cartográficas propuestas por *Cantú y Degiovanni (1984)*, el sector de interés pertenece a la Región Eólica Arenosa Subhúmeda Transicional. A esta región se la incluye dentro de la Asociación Geomorfológica "Llanura Medanososa del Río Quinto", correspondiéndose esta última con la Planicie Medanososa propuesta por *Capitanelli (1979)* y a la Pampa Medanososa propuesta en el Manual "Los Suelos 1:500000" del Gobierno de la Provincia de Córdoba (2003).

El Río Quinto (Popopis), que tiene sus nacientes en la Provincia de San Luis y cuya cuenca de aporte y dinámica hidráulica está fuera del alcance de este trabajo, es la geoforma que determina los rasgos y procesos geomorfológicos dominantes del sector en estudio. Este río en la actualidad se encuentra regulado con una serie de embalses en la provincia antes mencionada, consecuentemente su dinámica hídrica está parcialmente controlada. No obstante a ello, presenta picos de caudales de considerable magnitud generados a partir de las descargas de estos embalses y aguas debajo de los mismos. En la zona en estudio las morfologías dominantes y gran parte de los suelos están asociadas a la dinámica actual y pasada del río Quinto que, con sus formas y paleoformas, han definido el paisaje. Es así que la Subunidad Geomorfológica dominante a analizar sea la Faja Fluvial del río, donde se distinguen claramente de las demás, el lecho ordinario o canal de estiaje, el lecho extraordinario que comprende la llanura de inundación y las terrazas.

En el canal de estiaje de este río se reconocen áreas críticas de erosión lateral de márgenes por el desplazamiento de la corriente y fenómenos de turbulencia que originan las salientes en las riberas. Además, se ven pequeñas islas móviles de sedimentos limo arenosos sin vegetación, barras laterales y barras en punta. Se observan sectores donde el brazo principal del río se escapa del canal de estiaje y aborda las terrazas bajas generando nuevos canales que luego se reconducen al canal principal. Estos abandonos, que se deben a pérdidas locales de pendiente, embanques o estrechamientos de sección, son típicos en ríos de llanura. En la zona sur del área de interés se identifica claramente un brazo secundario alternativo (brazo sur) del río que se activa cuando el brazo principal presenta caudales elevados. Regularmente este brazo presenta un caudal muy bajo vinculado a los niveles freáticos que están asociados al río. La presencia de este brazo secundario, que seguramente antes de la ejecución de los embalses en San Luis, ha tenido una actividad muy intensa, determina la existencia de un relicto de terraza con características de isla que muestra cotas similares a las terrazas altas del río (360 msnm).

En el área estudiada se pudieron individualizar tres niveles de terrazas. La inferior (T1) presenta características distintas a las dos restantes, por cuanto está sometida permanentemente a las fluctuaciones del nivel del canal de estiaje y de los lechos ordinarios y extraordinario. Está formada por los sedimentos dejados por el curso, por lo cual presenta un perfil transversal ondulado y en planta, un diseño en "espira". Desprovista de vegetación o con vegetación acuática. Es muy inestable y está ligada a los cambios de posición del canal. Esta terraza se puede individualizar en ambos brazos del río y se encuentra encajonada junto con el canal de estiaje. Los otros niveles de terrazas (T2 y T3), presentan características distintas que las del nivel inferior. Las diferencias están fundamentalmente dadas por las variaciones en sus cotas relativas y las características de los materiales de superficie. En las terrazas altas se observan materiales eólicos y el desarrollo de suelos someros. En las mismas se desarrolla vegetación diferente a la del nivel más bajo. En la terraza alta los

paleocauces están cubiertos por los mismos sedimentos modernos (arenas finas limosas o limos arenosos finos) que cubre toda la planicie, que no representan cambios sedimentarios significativos con respecto con los materiales regionales descriptos. La pendiente media en esta zona es muy baja, no observándose procesos de erosión hídrica o de remoción en masa. Los niveles de terrazas están limitadas entre sí por un quiebre de pendiente o barranca. En la zona en estudio la altura de las barrancas varía entre 1 m y 2 m. En tanto en algunos sectores del brazo sur se observa barrancas que superan los 5 m de altura. Estas barrancas se formaron a partir de cambios climáticos y de la morfología fluvial.

Por las razones expuestas, la máxima variabilidad de geformas y suelos asociados está en sentido transversal al río (norte – sur), que coincide con el cierre frontal de la presa. En las zonas alejadas de la faja aluvial descripta, particularmente en la zona norte (margen derecha) la erosión eólica es muy importante. Desde el punto de vista sedimentario, de acuerdo con lo observado y analizado en los sondeos y, en coincidencia con lo

analizado geomorfológicamente, se pueden determinar tres áreas claramente diferenciadas. Por un lado la terraza alta y la llanura arenosa (Sectores Altos), donde predominan los sedimentos limo arenosos finos y arenosos finos limosos. Las terrazas bajas y llanura de inundación del río (Sectores Bajos), donde se distingue un paquete sedimentario de profundidades variables (3 m a 7 m) compuesto por arenas medias a gruesas, que está directamente vinculado a la dinámica hídrica actual y pasada reciente del río. Por último, las áreas aledañas al cauce secundario donde se identifican bancos laterales de arenas medias a gruesas lavadas de escasa potencia.

El nivel freático en el área en estudio tiene una fuerte correlación con el río, observándose que en los sectores bajos el mismo se encuentra a escasa profundidad (menos de 2,5 m) y en los altos la profundidad oscila entre 8 m y 10 m. En el sector en estudio se puede decir que el río tiene un comportamiento de tipo “influente” o “infiltrante”, es decir que no recibe ninguna escorrentía subterránea, sino que pierde por infiltración parte de su caudal.

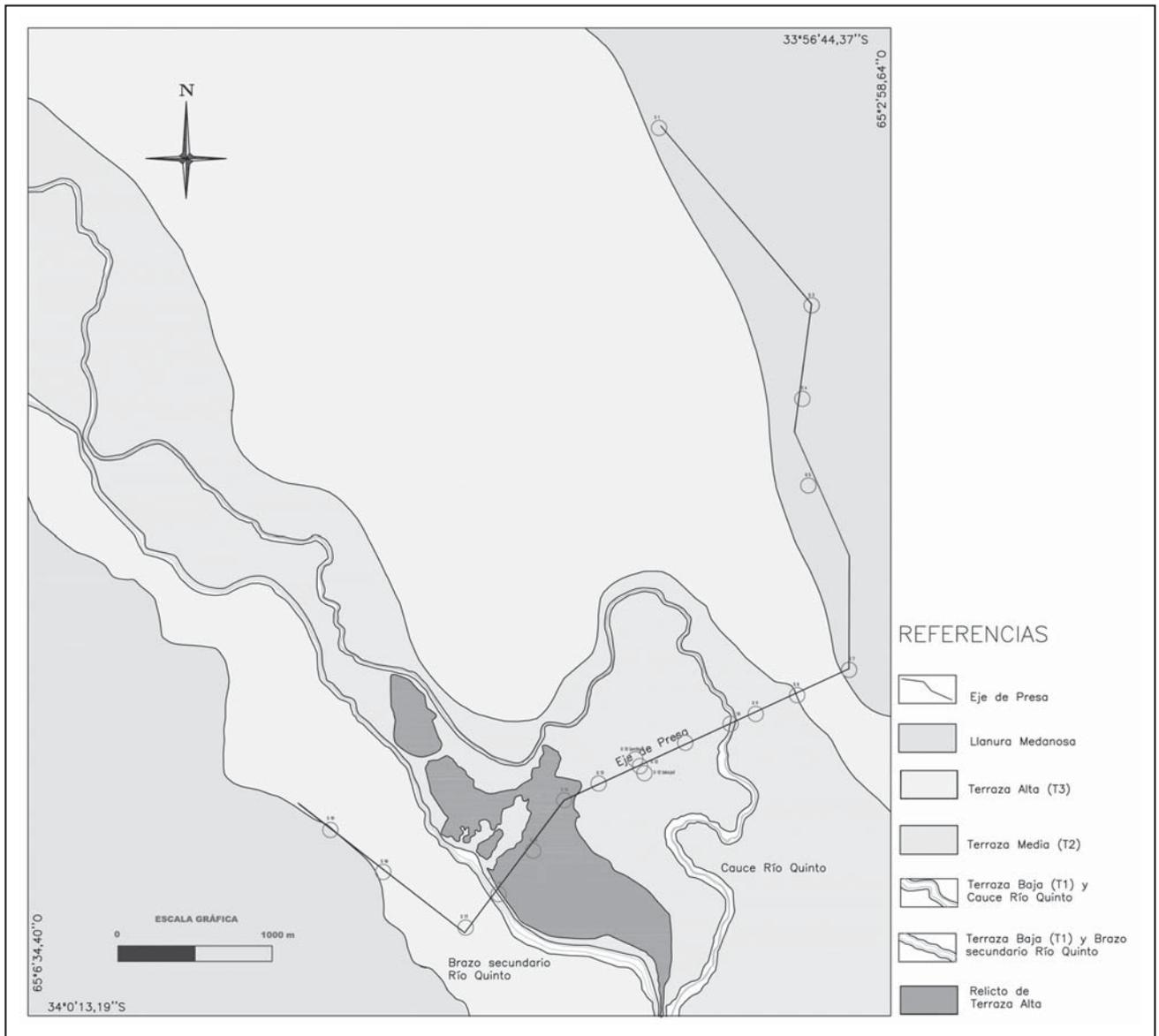


Figura 1. Carta geológico-geomorfológica Presa El Chañar.

Presa la Calera

La presa La Calera estará emplazada en un valle morfológico ubicado en el extremo sur de la Sierra de Chepes. Esto determina que la conformación geológica y geomorfológica del área de emplazamiento de la misma esté directamente condicionada por las principales litologías, estructuras y rasgos geomorfológicos de dichas sierras y su pie de monte aluvional asociado. Las sierras de Chepes y de Los Llanos conforman el extremo sur occidental de las Sierras Pampeanas Occidentales y constituyen una entidad geológica formada por un zócalo metamórfico, que se encuentra intruído por granitoides de edad paleozoica. De acuerdo con la Carta Geológica elaborada por el SEGEMAR, en el área en estudio donde se emplazará la presa, se distinguen las siguientes unidades geológicas: Depósitos de planicies aluviales pedemontanas, conformadas por gravas y gravas arenosas de edad holocena, Depósitos de pedimentos cubiertos, conformados por conglomerados de edad pleistocena, Complejo ígneo de Chepes no diferenciado, conformado por granodioritas, granitos, migmatitas y tonalitas, de edad ordovícica, Migmatita granito de dos micas, conformada por un granito biotítico moscovítico 25-75%, de edad ordovícica y Migmatita con enclaves de litologías del Complejo Olta (Chepes), conformada por granito biotítico moscovítico, pegmatitas, aplitas, escasa granodiorita y tonalita, de edad ordovícica.

En el sector en estudio, la Sierra de Chepes presenta una morfología accidentada, con mayores elevaciones y pendientes más escarpadas al oeste del río La Calera y una morfología un poco más aplanada y abochonada, con menores elevaciones relativas y pendientes menos accidentadas al este del río. Esto probablemente se deba a una mayor competencia de las rocas aflorantes al oeste, una sobre elevación de la misma por activación de fallas del sector o a una mayor juventud del encajamiento ígneo. Como se mencionó, el complejo de rocas ígneas aflorantes se encuentra intensamente fracturado, determinando que en los lineamientos formados por este fracturamiento, se encajen pequeños valles con sedimentos aluvionales y eólicos, donde se desarrollan suelos. Además, estos lineamientos estructurales, determinan morfológicamente la red de drenaje en todos sus órdenes.

En la zona de la presa, el piedemonte de la Sierra de Chepes tiene mayor expresión en la margen derecha del río La Calera. En este sector se emplaza un abanico aluvial con sentido oeste – este que tiene su ápice en la dicha sierra. Este abanico presenta un emisario principal que desagua perpendicularmente en el río y ha labrado los pedimentos y antiguos conos que se expresan como serranías de escasa altura que bordean la Sierra de Chepes. Desde su ápice, hasta la margen derecha del río, donde se desarrollan las terrazas del mismo, el abanico tiene una longitud aproximada de 2000 m, un ancho máximo en su zona distal de aproximadamente 1200 m y una pendiente longitudinal del orden del 5 %. En superficie el abanico está conformado por sedimentos gruesos (bloques, gravas y gravas arenosas) en su zona proximal y medios a finos (arenas, arenas limosas, limos arenosos y limos arcillosos) en su zona distal. Dentro del abanico se observan algunas cerros relícticos (dorsales serranas) que presentan afloramientos de conglomerados y rocas ígneas.

La cuenca del río La Calera, tiene sus nacientes en la zona central sur de la Sierra de Chepes y presenta dos afluentes principales. Las subcuencas de estos afluentes son de características similares en cuanto a sus dimensiones, pero se observa que la subcuenca del río De los Chanchos, presenta mayores

superficies con afloramientos rocosos. Esta condición estaría determinando que la misma sea más dura y con características hidrológicas diferentes, en cuanto a la generación de picos de caudales más elevados y rápidos, con respecto a la otra. Ambos afluentes son de carácter no permanentes o temporarios, debido a que se activan en la época estival con precipitaciones intensas. El cauce principal del río La Calera, aguas abajo de la confluencia de los afluentes, presenta rumbo general norte – sur y, en la zona de emplazamiento de la presa, también es de carácter temporario. Presenta morfología recta con tramos anastomosados o trenzados y su cauce principal está conformado por arenas y rodados de hasta un metro de diámetro. Como se mencionó, en la zona de emplazamiento de la obra las morfologías dominantes están asociadas a la dinámica actual y pasada del río que, con sus formas y paleoformas, han definido la subunidad geomorfológica que se destaca en la zona en estudio, que es la Faja Fluvial actual del río. En la Faja Fluvial se distinguen claramente de las demás, el lecho ordinario o canal de estiaje, el lecho extraordinario que comprende la llanura de inundación, las terrazas bajas y las barrancas.

En la zona de emplazamiento del cierre y área de inundación de la presa se reconocen cuatro de las subunidades geomorfológicas. Estas unidades son: la loma relíctica de conos antiguos en la margen derecha del cauce, la llanura de inundación y cauce activo del río La Calera con sus subunidades asociadas (cauces secundarios y barrancas), los niveles de terrazas T1 y T2 en la margen izquierda del cauce, y la sierra con rocas aflorantes del complejo ígneo. Todas estas unidades, al igual que otros niveles de terrazas y la zona distal del cono de deyección activo, quedarán comprendidas dentro del vaso o zona inundable de la presa.

La loma relíctica, presenta una morfología alargada con sentido de oeste a este y su área cumbral aplanada. Esta zona cumbral tiene una pendiente longitudinal media (4 %) y ancho máximo en la parte superior aplanada de aproximadamente 60 m a 70 m. La ladera norte de esta loma es corta, escarpada y empinada, con pendiente transversal del orden del 35 %. De acuerdo con lo que se ha podido observar y en los trabajos de campo realizados para este estudio, estas lomas están conformadas por materiales sedimentarios de granulometrías variadas (conglomerados, limos arenosos y arenas limosas finas), que apoyan sobre rocas ígneas, que presentan distinto grado de alteración. En la zona cumbral de esta loma se observa el afloramiento en superficie de las rocas ígneas antes mencionadas, con escaso grado de alteración. En la barranca derecha del río La Calera aflora dicha roca ígnea con un intenso grado de alteración. Debido a la diferencia de altura que esta loma presenta con respecto a su entorno, la misma constituirá el cierre morfológico del vaso de la presa y será utilizada como el estribo derecho de su cierre. En la ladera norte de esta loma, que quedará expuesta a los movimientos hidráulicos de la presa, además del intenso grado de meteorización que presenta la roca que aflora en la barranca del río, se observan procesos de erosión en surcos y cárcavas pequeñas, como así también incipientes procesos de remoción en masa y deslizamientos de ladera. Estos procesos, se desarrollan particularmente en los materiales sedimentarios menos consolidados o cementados, como los conglomerados y limos arenosos con gravillas.

El complejo ígneo se encuentra intensamente fracturado y esto queda claramente expuesto en la morfología general del río, donde se puede ver que en la zona de emplazamiento del cierre de la presa, el mismo hace un quiebre pronunciado

hacia el sudeste, modificando abruptamente su rumbo original que es nornoreste-sursuroeste. El nuevo rumbo (noroeste-sudeste) coincide con el lineamiento que presenta la loma relicta antes descrita y con uno de los rumbos de fracturación predominantes del complejo ígneo. En el flanco norte de la loma, a aproximadamente 600 m del río, se pudieron observar rocas ígneas intensamente milonitizadas. Estos procesos de alteración probablemente estén asociados a la activación de los mecanismos de fallamiento ocurridos en el cuaternario. También se pudo detectar un importante grado de fracturación en el espolón de roca aplítica que aflora en la margen izquierda del río a aproximadamente 40 m aguas arriba del cierre de la presa. Además de estar sometida a cíclicos procesos de humedecimiento y secado, probablemente la intensa meteorización de la roca granitoide que se encuentra en la base de la barranca izquierda del río, esté asociada a estos fallamientos.

La llanura de inundación y el cauce activo del río La Calera, son de carácter temporario y se activan con las intensas precipitaciones de la época estival. Como se mencionó anteriormente, el tramo del río implicado presenta una morfología recta, asociada al sistema de lineamientos de fracturación general de la zona. El río presenta un mediano a bajo grado de anastomosamiento de los canales principales, con activa movilidad del eje del cauce en cada crecida del río. En la zona de emplazamiento del cierre de la presa, el río presenta un ancho máximo entre barrancas de aproximadamente los 50 m, una pendiente longitudinal del 0,7 % y una pendiente transversal en el lecho, prácticamente nula. Los materiales expuestos en el lecho del cauce del río y llanura de inundación en la zona de cierre de la presa, son arenas de granulometrías medias a gruesas, gravas redondeadas y cantos rodados de hasta 0,5 m de diámetro. En el cauce se observan intensos procesos de erosión lateral, erosión vertical y acumulación localizados, producto de los movimientos estacionales del cauce. El río presenta una elevada tasa de transporte y sedimentación, con predominio de materiales areno gravosos que se expresan en las características superficiales del cauce.

Las barrancas del río son de carácter erosivo, predominando la erosión lateral en los materiales sedimentarios, particularmente en los tramos donde el río tiende a recostarse sobre las márgenes. En algunas barrancas laterales del río se observan afloramientos de rocas ígneas intrusivas como granitos y aplitas que, al presentar mayor competencia a la erosión hídrica, se exponen como salientes que producen desvíos puntuales del río, funcionando como espolones. Las terrazas T1 y T2 que se encuentran en la margen izquierda del río, presentan una morfología semiplana a suavemente ondulada con una pendiente longitudinal en el sentido de la dirección del río del orden del 1% y una pendiente transversal del orden del 1,5 %. En estas terrazas se observan algunos paleocauces y canales abandonados, muchos de los cuales se activan en la época estival, colectando los excedentes hídricos de los pequeños arroyos de carácter temporario que tienen sus nacientes en la zona serrana aledaña. En estas terrazas los materiales sedimentarios predominantes son los limos arenosos y arenas limosas, que apoyan directamente sobre materiales fluvio aluviales (arenas y gravas) o sobre las rocas ígneas con distinto grado de meteorización, antes mencionadas. En la parte superior y superficial de estos materiales sedimentarios modernos, se han desarrollado suelos orgánicos con distinto grado de evolución, característicos de las terrazas fluviales. Con excepción de la erosión lateral del río en algunos sectores puntuales y algunos procesos incipientes de erosión hídrica lateral y vertical en los canales colectores antes

mencionados, en las terrazas de la zona de emplazamiento del eje y vaso de la presa no se observan procesos geomorfológicos activos e intensos.

La sierra que se encuentra en el extremo izquierdo del cierre de la presa, en la zona de su estribo, presenta una morfología escarpada con farallones y quebradas abruptas, que permiten que se diferencien claramente de la zona de terraza antes descritas. Como se mencionó con anterioridad y se puede ver en el análisis petrográfico, las rocas aflorantes son ígneas, predominantemente de tipo tonalítico, granítico o granitoides, intruídas por diques de aplitas y pegmatitas. Estas rocas son muy competentes, pero se encuentran intensamente fracturadas con rumbos promedios predominantes N 125°, N 30° y N 110°. En general estas fracturas presentan buzamientos subverticales, con excepción de las de rumbo N 110°, que presentan buzamientos de 35° a 45°. El grado de fracturación citado se puede observar claramente en las imágenes satelitales y determina las características del paisaje y los estadios de meteorización superficial de la roca. La meteorización y los procesos de erosión posterior han determinado el paisaje abochonado que presentan las rocas aflorantes. De los análisis físicos realizados y lo que se desprende del estudio sísmico, cuando las rocas descritas se encuentran escasamente alteradas son muy competentes. Esto es así, debido a que son muy densas, tienen baja absorción y elevada resistencia a la compresión, con valores superiores a 1000 kg/cm². Por lo tanto, presentan elevadas velocidades de refracción sísmica (valores superiores a 5000 m/s). Estas condiciones determinan que estas rocas sean de buena calidad para el anclaje y fundación de las estructuras de cierre de la presa en la zona de estribo, vertedero y otras.

Por último, se describe la zona distal del cono de deyección activo, que quedará comprendida dentro del vaso o zona inundable de la presa en la margen derecha del río. Esta zona presenta una morfología plana a semi plana con una pendiente longitudinal perpendicular a la dirección del río del orden del 3 %. Como se mencionó con anterioridad en esta zona distal del cono predominan los sedimentos de granulometrías finas a medias como los limos arenosos, limos arcillosos y arenas limosas de origen eólico o fluvioeólicos retransportados. Estos materiales apoyan sobre sedimentos aluviales más gruesos del cono de deyección, fluvioaluviales de las antiguas terrazas del río y rocosos del basamento ígneo. En la parte superficial de los materiales sedimentarios finos, se observa el desarrollo de suelos someros con escaso contenido de materia orgánica, aunque suficientes para el crecimiento del monte serrano. Esta zona distal del cono es atravesada, de oeste a este, por una serie de arroyos de carácter temporario que se activan en la época estival. El arroyo de la Quebrada del Tala es el emisario principal del cono, es el que presenta mayores dimensiones y funciona como afluente principal del río en la zona en estudio. La cuenca de aporte de este arroyo se encuentra en las sierras del oeste del área de emplazamiento de la presa. En algunos de estos arroyos se desarrollan procesos de erosión vertical y lateral, en algunos casos intensos. Estos procesos tienen mayor expresión en los sectores con materiales sedimentarios más finos (limos arenosos), en la zona transición hacia las barrancas del río, donde se produce el cambio de pendiente. Es así, que entre el camino y la barranca derecha del río, dentro de lo que será la zona de inundación de la presa, se han identificado al menos cinco cárcavas con distinto grado de desarrollo. Muchas de estas cárcavas están activas y presentan barrancas laterales, con taludes verticales de hasta 3 m de altura. En las barrancas se exponen los materiales sedimentarios finos limosos de origen eólico o fluvioeólicos

antes descriptos. En el fondo de alguna de estas cárcavas, se pudieron identificar afloramientos rocosos.

Los materiales sedimentarios finos erosionados en las cárcavas, son transportados hasta el río y forman parte de los sedimentos que componen su cauce. Estos aspectos deberán ser contemplados en el proyecto ejecutivo de la presa, por cuanto en el embalsamiento y desembalsamiento de la misma, muchos de estos procesos de erosión, transporte y sedimentación se pondrán en funcionamiento, probablemente agudizando su actividad. Esto aportará una mayor cantidad de material sedimentario al que ya transcurre por el río, agudizando los procesos de embancamiento en el sector de cierre de la presa.

CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

Presa El Chañar

Las perforaciones y los Ensayos SPT, con toma de muestras y análisis de laboratorio, permitieron realizar una buena identificación de los distintos estratos sedimentarios, la identificación de los niveles freáticos y la determinación de las principales variables físicas de los suelos. Los Ensayos SPT cada metro, arrojaron valores razonables para los tipos de suelos regionales estudiados (arenas finas limosas, limos arenosos finos y arenas limosas) ubicados en la zona alta y las arenas medias a gruesas limosas ubicadas en la zona baja. La mayoría de los suelos regionales son clasificados como "SM" (arenas limosas de baja cohesión y plasticidad) en el Sistema Unificado de Casagrande, con excepción de algunos estratos de materiales limosos que son clasificados como "ML" y otras de materiales arenosos

en la zona baja clasificados como "SP", "SP-SM" o "GP". Algunas capas puntuales de limos presentan plasticidades elevadas, pudiéndose los clasificar como "CL" o "CH", pero estas capas son poco representativas.

Sobre la base de los resultados obtenidos en los distintos ensayos, se pudieron obtener tensiones admisibles generalizadas indicativas. Estas tensiones fueron calculadas sobre la base de los valores de número de golpe obtenidos del Ensayo SPT y las Fórmula General de Capacidad de Carga de Terzaghi con sus modificaciones, a las cuales se les aplicó un coeficiente de seguridad del orden de 3. En los sectores altos se utilizaron valores de fricción del orden de 15° y en el bajo del orden de 30°, siempre con cohesiones muy bajas o nulas.

Los Ensayos de Colapsabilidad realizados con el Método del Doble Edómetro, permitieron definir que los suelos estudiados no son Colapsables al humedecerse, ya que los valores de Coeficiente de Colapso obtenidos son mayores a "1". En los casos ensayados, en términos generales, la saturación produce expansión limitada a tensiones menores de 1 kg/cm², las curvas son similares y redondeadas y en algunos casos no se observan claramente presiones de fluencia. Solamente en algunos casos, son Potencialmente Colapsables si se supera la presión de "colapso" saturada, arrojando siempre valores de Coeficiente de Colapso mayor a "0" y en muchos casos cercanos a "1". No se puede indicar una "zona" con suelos potencialmente colapsables, ya que se han identificado estratos aislados, pero los mismos están siempre ubicados en las zonas altas (margen izquierda) cercanas a la superficie o son limosos. Los Ensayos de Dispersividad realizados con el Método Pinhole, permitieron

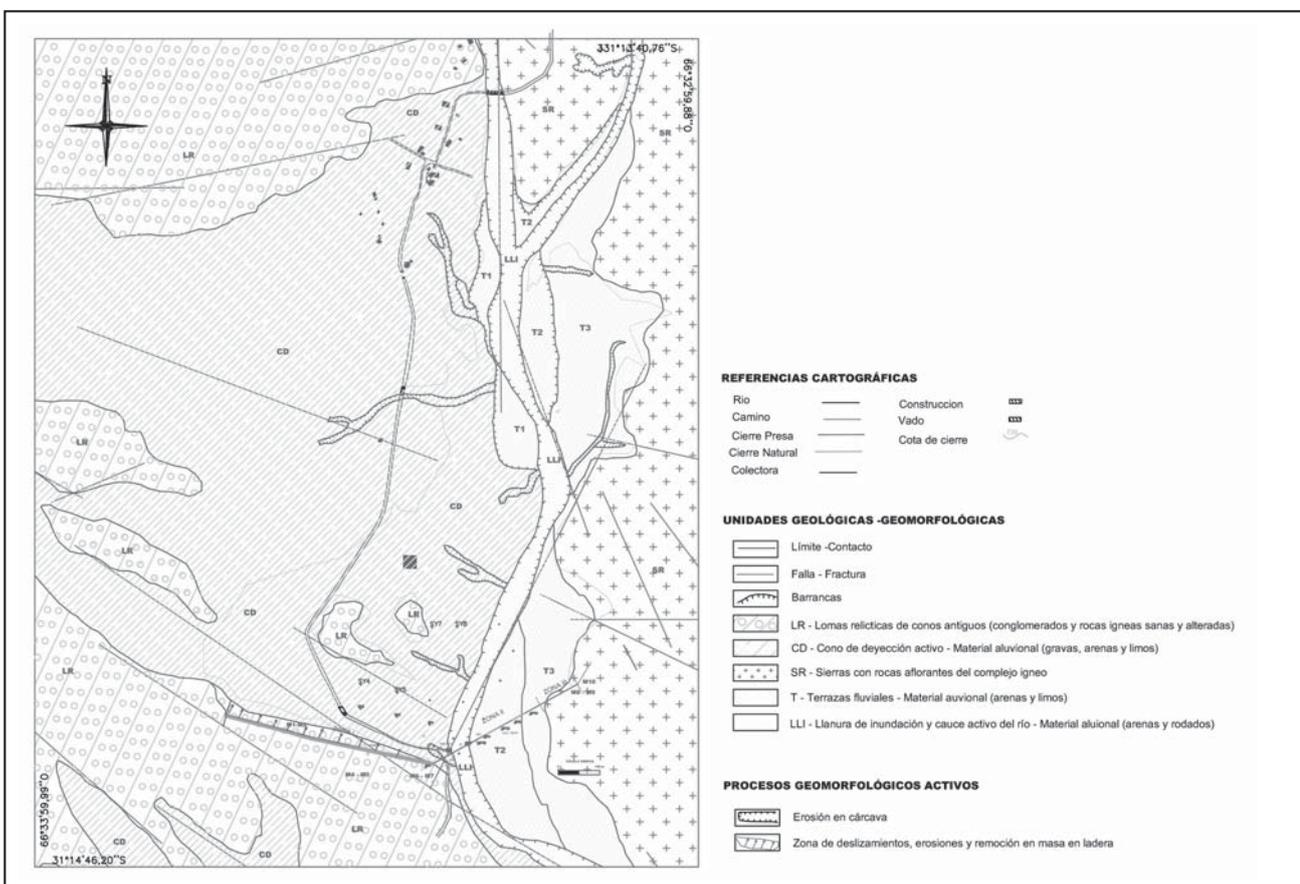


Figura 2. Carta geológico-geomorfológica Presa La Calera.

definir que los suelos estudiados son Dispersivos, observándose en la mayoría arrastre de material, con valores de turbidez desde moderadamente oscura a muy oscura, diámetro de orificio final superior a 2 mm, lo cual los encuadra en la clasificación según el Método A de la Norma D 4647- ASTM, como D1 (Altamente Dispersivos).

Estos resultados indican que los suelos regionales (arena fina limosa) pueden ser compactados a densidades aceptables con humedades de compactación razonables, en tanto los suelos de los sectores de yacimientos (limos pardos algo plásticos o con materia orgánica), en principio no alcanzan valores de compactación adecuados para ser utilizados en los terraplenes. Como se puede observar los suelos regionales (arena fina limosa y limos arenosos finos) son poco permeables y las arenas medianas a gruesas limosas con gravas de la zona del vertedero y zona de influencia (bajo del río Quinto) tienen permeabilidad baja.

Presa la Calera

Como se puede ver en el perfil, las características geológicas identificadas con las perforaciones coinciden con lo descrito en el apartado de geología y geomorfología y, en términos generales, con lo evaluado en la campaña geofísica. En el mismo se pueden distinguir tres sectores con morfologías y materiales sedimentarios o rocosos expuestos, de propiedades disímiles. Un primer sector (Zona I) en la margen derecha del río, de aproximadamente 500 m de longitud, que conformará el cierre morfológico natural de la presa y corresponde a la loma relicta de los antiguos conos de deyección. Aquí se pudo establecer

una secuencia de sedimentos aluviales modernos (conglomerados polimícticos parcialmente cementados de matriz arena limosa, arenas limosas y limo arenosos con gravas) que apoyan sobre rocas del basamento ígneo (granitos y granitoides) muy alteradas. Estas últimas rocas, en algunos sectores se encuentran muy húmedas a saturadas, como por ejemplo en las inmediaciones del río (SEV 1). Las mismas van gradando su estado de alteración en profundidad, hasta alcanzar las rocas ígneas frescas del complejo granítico que se encuentran fracturadas y escasamente alteradas. Como se dijo anteriormente, en los sectores más alejados de la barranca del río, a aproximadamente 350 m hacia el oeste de la misma, las rocas ígneas afloran en superficie en la zona cumbre de la loma. Estas rocas ígneas aflorantes presentan distinto grado de alteración y seguramente son las que conforman el núcleo litológico de la loma. En la ladera norte de la loma en análisis existen cortes antrópicos (talud del camino y zanja de acueducto), como así también erosiones y pequeños procesos de remoción en masa, donde queda expuesta la secuencia de materiales conglomerádicos y aluviales mencionados anteriormente. En estas exposiciones se pudo determinar que los conglomerados apoyan sobre sedimentos finos de granulometrías arena limosas y limos arenosos con gravas, que son producto de la meteorización y descomposición de las rocas ígneas alteradas.

Con la perforación ejecutada en este sector, se corroboró y precisó con mayor detalle lo determinado con la geofísica. Allí se pudo observar que, por debajo de los cuatro metros de materiales sedimentarios aluviales, el paquete roca ígnea alterada (granitoide) tiene un espesor de aproximadamente veinticinco

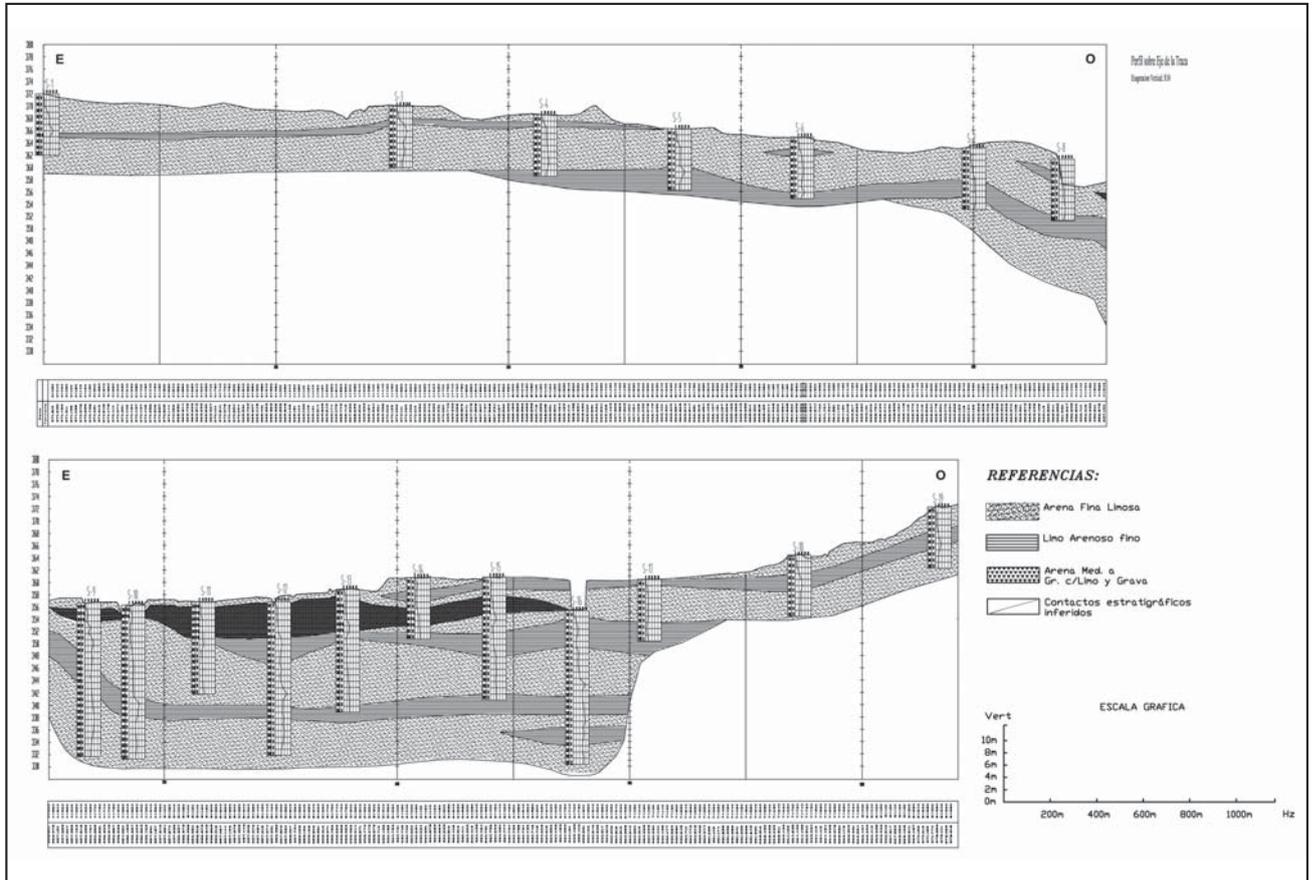


Figura 3. Perfil geológico-geotécnico Presa El Chañar.

metros. Esto hace que la roca sana se encuentre a veintinueve metros de profundidad. La segunda perforación se ejecutó en un sector que actualmente es ocupado por el lecho del río, pero que fue ganado a la barranca del mismo con excavaciones antrópicas. Por lo tanto, la perforación mencionada comienza directamente en materiales rocosos muy alterados que gradan a una tonalita en buen estado y resistente. Intercalada en la secuencia de la roca alterada, entre los cinco y los nueve metros de profundidad, se pudo identificar una roca aplítica o pegmatítica muy resistente y con baja alteración. La existencia de este tipo de roca, probablemente explique los valores elevados que arrojó el ensayo de sismica de refracción ejecutado en este punto.

El nivel freático mantiene relación con la cota del lecho del río y presenta algunas variaciones en su cota, que probablemente se deban al período del año en que se ha medido. Al estar vinculado a la cota del pelo del río, se presume que este nivel freático tiende a ascender cuando el mismo presenta crecidas estacionales. El propio cauce, al haber erosionado verticalmente la llanura y profundizado su cota, funciona como depresor del nivel freático en su área de influencia. En las terrazas de la margen izquierda del río, la cota del nivel freático se encuentra un poco más elevada, lo cual estaría indicando que el río se comporta de manera influente y efluente, dependiendo de la época del año. El resultado del ensayo de permeabilidad in-situ (Lugeon), indica que las rocas alteradas y en buen estado (sana), que se encuentran en profundidad por debajo del lecho del río, presentan permeabilidad muy baja. El resultado del ensayo de permeabilidad in-situ, mediante el Ensayo Lefranc, indica que los materiales aluvionales del lecho del río, presentan permeabilidad media a alta.

En los sondeos y calicatas realizados en los sectores sedimentarios del pie de monte, se pudo ver que existen zonas claramente definidas y con una marcada homogeneidad en los materiales sedimentarios en cada una de ellas. Los sedimentos que predominan en los sectores distales del cono de deyección ubicado en la margen derecha del río, son de granulometría fina (limos arenosos finos, arenas finas limosas y arcillas limosas). Hacia el oeste del área de estudio predeterminada, se observan bancos de arena media a gruesa con gravilla. Estos materiales finos a medios son característicos de las zonas distales del pie de monte y coinciden con los descritos en la evaluación geomorfológica realizada. En general, los suelos de la zona distal del cono de deyección son clasificados en el Sistema Unificado de Casagrande como: "ML" (limos arenosos finos), "CL" o "CL-ML" (arcillas y arcillas limosas plásticas), "SM" (arenas limosas de baja cohesión y plasticidad) y "SP" o "SP-SM" (arenas y arenas limosas). Los materiales que predominan en el cauce del río y en la terraza de la margen izquierda del mismo son de granulometría gruesa, en particular en el cauce, donde predominan las arenas, gravas y rodados. En esta zona se identificaron bancos o lentes de materiales con granulometrías gruesas, clasificados como "SM" (arenas limosas de baja cohesión y plasticidad), "SP" o "SP-SM" (arenas y arenas limosas) y "GP" (gravas), que puedan ser utilizados como materiales de filtros o para la ejecución de hormigones.

Los suelos regionales (limos arenosos finos y limos algo arcillosos), pueden ser utilizados en los terraplenes y alcanzan densidades de compactación aceptables, cuando se los compacta con elevadas energías de compactación. Los suelos regionales ensayados sobre muestras compactadas con distinta energía de compactación, son poco permeables y pueden ser utilizados como material de relleno del terraplén de cierre. Este grado im-

permeabilidad se podría optimizar aún más, ejecutando una capa de suelo - cemento en la cara del talud del terraplén expuesta al agua embalsada en la presa. Sobre la base de los resultados obtenidos, se puede observar que los suelos ensayados aumentan su ángulo de fricción interna y, consecuentemente, sus tensiones admisibles cuando se los compacta. Los resultados de los ensayos triaxiales consolidados, donde se puede simular una aproximación mayor a la condición final del estado de los suelos en el núcleo de la presa en el tiempo, permiten determinar que los ángulos de fricción aumentan aún más. Estas tensiones fueron calculadas sobre la base de la Fórmula General de Capacidad de Carga de Terzaghi, con sus modificaciones, a las cuales se les aplicó un coeficiente de seguridad de 3. Para estimar valores de tensiones admisibles a dos profundidades (5 m y 10 m) en el núcleo de la presa, se utilizaron valores de fricción interna de 22° para el caso del estado no consolidado y de 30°, para el caso del estado consolidado, con cohesiones de 0,110 kg/cm² y 0,130 kg/cm² respectivamente. Los Ensayos de Compresión Confinada realizados, permitieron definir que todos los suelos analizados tienen características similares y, en términos generales presentan menores deformaciones cuando han sido previamente compactados. En los resultados se puede ver que estos suelos, para deformaciones del 3 %, pasan de valores del orden de 0,400 kg/cm² en estado saturado y 0,650 kg/cm² en estado seco, cuando no están compactados, a valores máximos del orden de 1,250 kg/cm² en estado saturado y 2,100 kg/cm² en estado seco, cuando si lo están. De estos mismos resultados se desprende que, en estado natural, todos los suelos analizados son Potencialmente Colapsables.

Las muestras de rocas analizadas corresponden a rocas ígneas plutónicas de texturas equigranulares de grano medio. Las muestras extraídas de un sector ubicado sobre la dorsal de la loma relicta en lo que constituirá el cierre natural derecho de la presa, corresponden a un monzogranito de color gris, cuya mineralogía principal está constituida por cuarzo, feldespatos y biotita. Otra muestra extraída en este sector es un monzogranito biotítico con abundancia de cristales de microclino, y además se observa la presencia de allanita como accesorio importante. A una muestra extraída de la barranca derecha del río, no fue posible clasificarla adecuadamente debido al avanzado estado de alteración de los feldespatos, cercano al 95 %. Sin embargo, en ésta se observaron núcleos allaníticos alterados con epidoto secundario en disposición coronítica, similar lo observado en las muestras descriptas. De las dos muestras extraídas en el sector de cierre izquierdo del río, que además podría funcionar como yacimiento de material de escollera, una es una tonalita de color gris, con claro predominio de plagioclasa sobre el feldespatos alcalino (feldespatos alcalino ~ 2-5 % modal), y la otra es una aplita color rosado pálido, con presencia de feldespatos, cuarzo y biotita como minerales principales. De acuerdo con la clasificación del estado de macizos rocosos, según *ISRM (1981)*, las rocas de las muestras obtenidas en la loma relicta tienen grado bajo de alteración/meteorización leve a moderado (Grado entre II y III), una de las muestras del sector izquierdo presenta alteración muy baja (Grado I) y la M7 tiene un grado de alteración extrema (Grado V, completamente alterado/meteorizado). Sobre la base de los resultados obtenidos, se puede observar que los parámetros físicos de las rocas ensayadas tienen una directa relación con las características litológicas, estructurales y de yacencia de las mismas. Esto se expresa en los valores porcentuales de absorción, densidad y, particularmente, en la resistencia a la compresión de las mismas. Por otra parte, tiene un correlato directo con el grado de

alteración que presentan y la posterior dificultad para excavación que pueda presentar cada una de ellas.

Los volúmenes y las características geotécnicas de los materiales analizados, permiten determinar que en la zona estudiada existen condiciones adecuadas en calidad y cantidad para la apertura de yacimientos de materiales finos, granulares o rocosos, para ser utilizados en la ejecución de la presa.

Esto sucede para el caso que se pretenda utilizarlos como yacimientos de materiales finos susceptibles de ser compactados si la presa se diseña con materiales homogéneos, como así también, para el caso que se decida diseñar una presa de escollera. Además, existen materiales suficientes para ser utilizados como filtros del núcleo de la presa o áridos para la ejecución de estructuras de hormigón. Con un talud de diseño 3h:1v, si se toman los valores de ángulo de fricción promedios obtenidos de los ensayos triaxiales no consolidados (22°), para el caso de suelos finos compactados y sin considerar cohesión, los valores obtenidos con el método de Bishop para el cálculo de estabilidad de taludes verifican con coeficiente de seguridad (F) del orden de 1,70. Cuando se consideran los valores promedio de ángulo de fricción con los ensayos triaxiales consolidados (30°), los valores de estabilidad verifican con un de seguridad (F) del orden de 2,40. En ambos casos, los valores son superiores al F= 1,5° establecido. En el caso de los materiales rocosos y con un talud de diseño 3h:1v, si se ejecutara una presa de escollera, con un ángulo de fricción conservador estimado en 40° para las rocas partidas y con cohesión nula, los valores obtenidos con el método de Bishop para el cálculo de estabilidad de taludes verifican con coeficiente de seguridad (F) del orden de 3,35.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presa El Chañar

- En el área en estudio se observa una dinámica geomorfológica pasada, reciente y actual muy activa con cambios permanentes y alternativos de los brazos meándricos del río Quinto (Popopis). Esta dinámica se refleja en el subsuelo y en los estratos sedimentarios.

- Se observan dos zonas o unidades geomorfológicas, geológicas y geotécnicas claramente diferenciadas: Zona de terraza alta (sobre la cota 360 snm) y Zona de terrazas bajas, llanura de inundación y brazos del río (bajo la cota 360 snm).
- La zona alta presenta características de mayor estabilidad que la baja, que está muy influenciada por la dinámica hídrica del río y su brazo secundario.
- Se observa una zona diferenciada de ambas, que es un relicto de la terraza alta comprendido entre las progresivas 5950 m y 6700 m (Sondeo S14).
- Si se las analiza como unidades separadas, en las dos zonas principales (Zona Alta y Zona Baja) se observa uniformidad en la estratigrafía y en el perfil sedimentario. Alternancia de estratos de arenas finas limosas y limos arenosos finos en la Zona Alta y un manto de arena media a gruesa con una capa superficial de limo arenoso fino con materia orgánica, sobre capas de arenas finas limosas castañas y limo arenoso fino, en la Zona Baja.
- En los sondeos realizados en ambas zonas lo niveles freáticos se presentan a profundidades similares: Por debajo de 8 m en la Zona Alta y a menos de 2,5 m en la Zona Baja (promedio 1,5 m de profundidad). La freática en la Zona Baja puede obstaculizar las tareas de excavación, obligando a su depresión.
- Los materiales predominantes en la Zona Alta son arenas finas limosas o limos arenosos finos poco cohesivos y con baja plasticidad y, en la Zona Baja, se observa de 3 m a 8 m de espesor un manto de arenas medias a gruesas con gravillas algo limosas.
- Las tensiones admisibles a distintas probables cotas de fundación en los sectores bajos (arenas medias a gruesas con gravas limosas), son más elevadas que en los sectores altos (arenas finas limosas y limos arenosos finos).

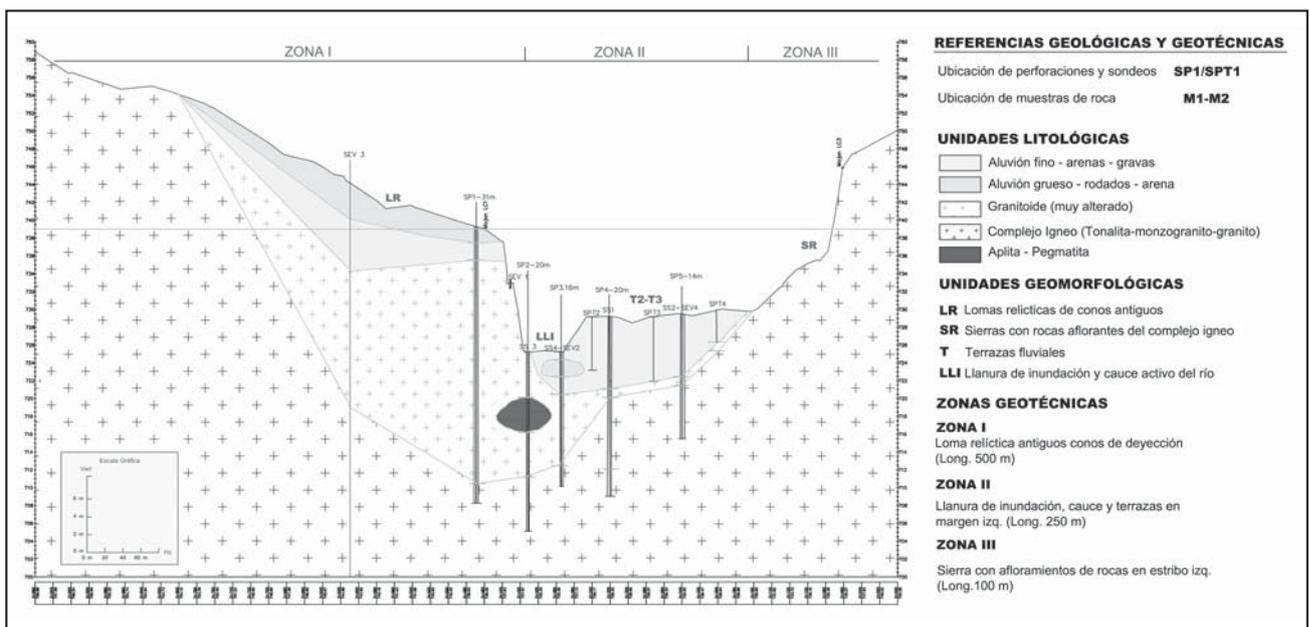


Figura 4. Perfil geológico-geotécnico Presa La Calera.

- En términos generales los materiales regionales (arenas finas limosas o limos arenosos finos) no son colapsables, sólo en algunos casos potencialmente colapsables (suelos con elevado contenido de limo), particularmente en la margen izquierda. En todos los casos los suelos son muy dispersivos y poco permeables (particularmente en la zona alta).
- No se han encontrado zonas con dimensiones significativas con suelos cohesivos para materiales de rellenos y blanket. En la margen izquierda del río Quinto se encontraron zonas con suelos plásticos, pero con predominio de fracción limo y abundante materia orgánica, poco apto para rellenos.
- Los materiales regionales, cuando son compactados, presentan valores de Humedad Óptima y Densidad Máxima, adecuados para su uso en los terraplenes. La mezcla que mejor Valor Soporte presenta (CBR) es la compuesta por 70 % de arena media a gruesa de Brazo Secundario y 30 % de arena fina limosa.
- Existen zonas con materiales arenosos para filtros y drenes (lecho e inmediaciones del brazo secundario), pero no se los encuentra expuestos en superficies significativas (solo en cauce secundario) y los subyacentes se encuentran en bancos intercalados con bancos de limos.
- En la zona del bajo, en las inmediaciones del futuro vertedero y el río Quinto, existe un manto de arena que, una vez cubicado y analizado su potencial de explotación, puede ser utilizado para la extracción de materiales para filtros y drenes, como áridos para hormigones o paquetes estructurales viales.

Presas de la Calera

- Los estudios geomorfológicos y geológicos con su correspondiente mapeo, los geofísicos, los petrográficos y las perforaciones realizadas, permitieron identificar tres zonas geológicas y geotécnicas diferenciadas sobre el eje de la presa. Éstas fueron denominadas como: Zona I (Loma relíctica), Zona II (Llanura de inundación, cauce y terrazas bajas del río) y Zona III (Sierra con afloramientos rocosos).
- La Loma relíctica (Zona I), ubicada al oeste del río, funcionará como cierre morfológico natural del vaso de la presa y servirá para el anclaje al estribo del cierre de la misma en la margen derecha del río. La obra principal de cierre de la presa y el vaso se emplazarán en la llanura de inundación, cauce y terrazas bajas del río (Zona II). El estribo izquierdo y probable yacimiento de materiales rocosos para escolleras o protección de taludes, estarán emplazados en la sierra con afloramientos de rocas ígneas que se ubican en el extremo este del sector de cierre de la presa (Zona III). Las obras de control y descarga, podrán estar ubicadas en las zonas II o III.
- En las inmediaciones cercanas del área de emplazamiento del cierre de la presa, existen zonas aptas en cantidad y calidad para ser utilizados como yacimientos de materiales de construcción del terraplén de la presa y aluvionales, para filtros u otros requerimientos. La existencia de materiales finos y rocosos en los yacimientos antes mencionados, permite la posibilidad de ejecución de ambas hipótesis de presa planteadas en los objetivos: presa de sección homogénea en capas compactadas (sedimentos limo arenosos) o presa de escollera (rocas ígneas).
- En la loma relíctica (Zona I), se pudo determinar una secuencia de sedimentos aluvionales modernos (conglomerados polimícticos parcialmente cementados de matriz areno limosa, arenas limosas y limo arenosos con gravas). Estos materiales aluvionales apoyan sobre rocas del basamento ígneo (granitoides) muy alterados, que presentan profundidades superiores a los 20m. En la zona de influencia directa del río, como por ejemplo en la barranca, estas rocas muy alteradas se presentan expuestas. Las rocas alteradas apoyan sobre rocas del complejo ígneo (tonalitas y otras) que se encuentran fracturadas pero con bajo estado de alteración. En la zona cumbral de la loma, las rocas ígneas afloran en superficie con distinto grado de alteración. En esta Zona I, sobre el eje de la presa y en la zona cumbral de la loma, se deberá prever la ejecución de una pantalla impermeable del orden de 140m de longitud y una profundidad variable entre una máxima de 10m y una mínima de 3m. Esta pantalla se deberá ejecutar, a los efectos de evitar filtraciones en los materiales aluvionales gruesos y permeables y podrá ser conformada con una mezcla de suelo, cemento y bentonita. En la pared de la barranca expuesta, donde afloran las rocas graníticas alteradas, se deberá prever algún tipo de inyección o anclaje especial, para evitar que la degradación y expansividad de las mismas afecten las fundaciones de la presa.
- En el sector de la Zona II, que corresponde a la llanura de inundación, cauce y las terrazas de la margen izquierda del río, se pudo determinar una secuencia de espesores variable de sedimentos aluviales sueltos de granulometrías, que gradan desde rodados y arenas gruesas en el lecho del río, hasta sedimentos finos limo arenosos y areno limosos en las terrazas. Estas secuencias sedimentarias presentan espesores variables y apoyan sobre la roca granítica muy alterada. Esta roca alterada está en mejor estado de conservación en profundidad, hasta encontrarse prácticamente inalterada. Los sedimentos aluvionales vinculados al río, identificados en esta Zona II, presentan permeabilidades elevadas, por esta razón y al igual que en la Zona I, se deberá prever la ejecución de una pantalla impermeable. Esta pantalla deberá tener una longitud del orden de 300m y una profundidad que varía entre los 4m y 10m. Esta pantalla también se podrá ejecutar, con una mezcla de suelo, cemento y bentonita.
- La roca ígnea alterada que se encuentra por debajo de los sedimentos aluvionales de las zonas I y II, al igual que la roca inalterada que se encuentra por debajo de la misma, se presentan confinadas y son impermeables. Por esta razón no se sugieren inyecciones especiales y, si se decidiera hacerlas por las condiciones del proyecto, la profundidad de las mismas se deberá evaluar oportunamente.
- El sector que corresponde a la Zona III, constituye la zona de cierre y estribo izquierdo de la presa. En este sector se pueden observar afloramientos de rocas graníticas fracturadas, con intrusiones aplíticas. Este complejo rocoso se encuentra con una cobertura de suelos de

espesores someros, está muy fracturado y presenta grados de alteración medios en la zona de contacto con los suelos y bajos en la roca fresca infrayacente. Para el anclaje y fundación de la presa y estructuras especiales, como por ejemplo obras de descarga u otras, en todas las zonas definidas (I, II y III), se deberá remover la vegetación existente, ejecutar un desenraizado profundo, extraer el suelo orgánico superficial y, en el caso de las áreas rocosas, escarificar el material superficial alterado.

- Para una presa de sección homogénea de materiales finos compactados, en las inmediaciones del eje de la presa, a una distancia inferior a 500 m y sobre la margen derecha del río, en la denominada zona distal del cono de deyección activo con materiales aluvionales, fluvioeólicos y eólicos, se identificaron dos áreas con volúmenes suficientes para ser utilizadas como yacimiento de materiales finos. Estos materiales pueden ser utilizados para la ejecución de una presa homogénea, con materiales finos compactados en capas. El comportamiento geotécnico de dichos materiales, en cuanto a las densidades de compactación y las permeabilidades alcanzadas en estado de compactación, los estados friccionales obtenidos y los grados de asentamientos esperables luego de la compactación, permite determinar que son aptos para este tipo de presa.
- Los taludes mínimos de construcción de la presa deberán ser 3h:1v y el talud expuesto a los movimientos del agua deberá ser protegido para evitar erosiones. La protección sugerida se debe a que los suelos analizados, aún compactados, se presentan dispersivos y erosionables. Por lo tanto, en el talud expuesto a los movimientos del embalse, se recomienda ejecutar una capa de suelo cemento, cubierta con una membrana geotextil y material rocoso tipo rip-rap. El talud de aguas abajo, podrá ser protegido con una cobertura material vegetal seleccionada. En el núcleo de la presa se deberá conformar un filtro con materiales gruesos (arenas o gravas) seleccionados. El diseño de este filtro deberá estar a cargo del ingeniero proyectista. En las inmediaciones del eje del cierre de la presa, a una distancia inferior a 300 m, en su cauce y terraza de margen izquierda, existen materiales granulares gruesos en cantidad y calidad suficiente para ser utilizados como filtro o para la ejecución de hormigones.
- Para una Presa de escollera, teniendo en cuenta, la cercanía al eje geográfico del centro de la presa, las características topográficas (morro que sobresale de su entorno), la tipología y el porcentaje de los materiales rocosos expuestos, el sector este de la Zona III puede ser utilizado como yacimiento para materiales rocosos para la ejecución de una presa de escollera. Este sector también puede ser utilizado para la extracción de rocas para las protecciones de los taludes en el caso de presa de materiales finos compactados. De acuerdo a lo analizados los volúmenes de materiales disponibles son suficientes y aptos en calidad. El comportamiento geotécnico de estos materiales rocosos, en cuanto a su calidad (densidades, absorción y resistencia a la compresión, entre otros), los estados friccionales y los grados de asentamiento esperables, permite determinar que estos materiales son aptos para el tipo de presa de escollera o

para ser utilizados como protección de talud (Rip-rap). Los taludes sugeridos para la construcción de este tipo de presa deberán ser 3h:1v y el núcleo de la misma deberá conformarse con materiales impermeables.

- Durante el funcionamiento de la presa, en las maniobras de embalse y desembalse de la misma, se pueden generar procesos erosivos en la zona de las barrancas del río y acelerarse los procesos detectados en el cono de deyección de la margen izquierda del mismo. También se pueden presentar procesos de inestabilidad de taludes, como por ejemplo remoción en masa u otros, en los sectores con más pendientes elevadas de la ladera norte de la loma relíctica. Hasta su estabilización, estos procesos pueden poner en movimiento una importante carga sedimentaria. Por estas razones, puede ser necesaria la ejecución de obras complementarias de control de cabeceras en algunas cárcavas, como cuencos disipadores u otras. También se deberá estudiar la posibilidad de construir obras de estabilización en el talud de la ladera norte de la loma relíctica (Zona I) que funcionará de cierre natural en la margen derecha de la presa, como por ejemplo rellenos y reperfilados, revegetación con especies autóctonas, revestimientos con colchonetas o construcción de gaviones en le pié del talud.
- Teniendo en cuenta el importante volumen de material granular grueso (arenas y gravas) que aporta el río estacionalmente y sobre la base de estudios complementarios que deberán realizar los ingenieros proyectistas, probablemente corresponda evaluar la necesidad de ejecución de estructuras especiales, como válvulas desarenadoras u otras.

CONCLUSIONES GENERALES

Podemos concluir, en forma general, que este tipo de evaluaciones realizan un importante aporte para los estudios preliminares de pequeñas presas al brindar información relevante que permite ajustar los estudios geotécnicos específicos. Si los análisis geológicos y geomorfológicos están bien realizados, los estudios geotécnicos posteriores tienden a ratificarlos, complementando la información elaborada en los primeros. En ambos casos, las evaluaciones geológicas y geomorfológicas realizadas, permitieron hacer una correcta aproximación y aportaron elementos para la ejecución de los estudios geotécnicos posteriores que, en términos generales, validaron los diagnósticos previos.

En el caso de la presa El Chañar, como resultado de estos estudios geomorfológicos donde se pudo verificar el comportamiento presente y pasado del río, se optó por profundizar el conocimiento de los bancos arenosos, realizando mayor cantidad de sondeos y ensayos de permeabilidad complementarios, por cuanto estos bancos responden a la impronta dejada por el mismo. Finalmente, en el proyecto se optó por la construcción de una pantalla vertical de suelo-cemento-bentonita, que atravesó los bancos de arena gruesa permeables, descartándose la pantalla horizontal. En cuanto a los materiales de préstamo, el estudio geomorfológico permitió delimitar los sectores de terrazas con sedimentos aptos para la conformación del terraplén de la presa, además de los gruesos, para filtros y otras estructuras de drenaje.

En la presa La Calera, los resultados del estudio, permitieron determinar la necesidad de ejecutar una pantalla impermeable por debajo de la presa en los materiales sedimentarios

gruesos y la posibilidad de optar por alguna de las hipótesis constructivas propuestas (presas de materiales sueltos o escollera), porque existen volúmenes y calidades de materiales adecuados. En este caso, además de la información aportada por

los estudios geomorfológicos para evaluar el comportamiento del río, los estudios geológicos, permitieron hacer una correcta evaluación de los tipos de rocas, las características de su yacencia y su estado.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CAPITANELLI, R., 1979.
Geomorfología en: Geografía Física de la Provincia de Córdoba.
Cap. V pp. 263-279. Ed. Boldt, Córdoba.
- CANTÚ, M. P. Y DEGIOVANNI, S. B., 1984.
Geomorfología de la región centro sur de la provincia de Córdoba.
IX Congreso Geológico Argentino. Actas IV pp. 76-92.
- CUSTODIO, L Y M. R. LLAMAS, 1976.
Hidrología Subterránea.
Ediciones Omega, Barcelona. 1156 p.
- DAHLQUIST J. A. Y C. GALINDO, 2004.
Geoquímica isotópica de los granitoides de la sierra de Chepes: un modelo geotectónico y termal, implicancias para el orógeno famatiniano.
Revista Asociación Geológica Argentina v.59 n.1, Buenos Aires.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO L.I., 2002.
Ingeniería Geológica.
Pearson Educación SA, Madrid.
- GUTIÉRREZ ELORZA, M., 2008.
Geomorfología.
Pearson Educación SA, Madrid.
- JIMÉNEZ SALAS Y OTROS, 1976.
Geotecnia y Cimientos I y II - Mecánica del Suelo y de las Rocas.
Editorial Rueda, Madrid.
- KRYNINE, D. P. Y W. R. JUDD, 1980.
Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros.
Ediciones Omega. 829 p.
- SEGEMAR, 1998.
Carta Geológica Chepes N° 3166-III
- TERZAGHI, K. Y R. B. PECK, 1971.
Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.
Editorial El Ateneo, Barcelona. 681 p.
- U.N.C, 2003.
Geotecnia II - Primera Parte.
Cátedra de Geotecnia - Departamento de Construcciones Civiles de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- VERSTAPPEN, H. TH., 1983.
Applied Geomorphology - Geomorphological Surveys for Environmental Development.
Elsevier.
- WHITLOW, R, 1994.
Fundamentos de Mecánica de Suelos.
Compañía Editorial Continental, México. 589 p.



Peligrosidad geológica y evaluación de la aptitud para la urbanización en Junín de los Andes (provincia de Neuquén)

Geological Hazards and urban use assessment in Junin de los Andes (Neuquén Province)

Pereyra, F. X. ✉ - Lara, J. - Tobío, M. I.

Recibido: 16 de Julio de 2012 • Aceptado: 16 de Julio de 2013

Resumen

Se realizó un estudio geo-ambiental aplicado en la zona de Junín de los Andes (71°10' O y 39°55' S) como elemento de análisis territorial tendiente al ordenamiento y dirigir la expansión urbana. La zona estudiada se ubica en el sector norte de los Andes Patagónicos, en la provincia del Neuquén (Departamento de Huiliches). Se analizaron las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, geotécnicas, climáticas, edáficas y bióticas. Sobre la base de los mismos se realizó un mapa de Sistemas de paisaje, diferenciándose: 1) Terrazas glaci-fluviales con estepa herbácea, 2) Terrazas y planicies fluviales con estepa, 3) Abanicos aluviales con estepa, 4) Laterales de valles con estepa y forestación, 5) Relieve denudacional en rocas con estepa mixta y 6) Morenas con estepa arbustiva. Asimismo, se estudiaron los diversos peligros naturales presentes. Los procesos que pueden constituir amenazas naturales en el área estudiada son: 1) Inundaciones y anegamientos por ascensos freáticos, 2) Inestabilidad de pendientes debidas a remoción en masa, 3) Erosión fluvial, 4) Sismos y 5) Volcanismo. Como producto final se evaluó y confeccionó un mapa de aptitud para la urbanización diferenciándose cuatro clases en función de la naturaleza del sustrato, ángulo de las pendientes, peligrosidad natural y morfodinámica actual, distancia a cursos fluviales, profundidad del nivel freático y incompatibilidad de usos de la tierra. La unidad más apta es para la urbanización son las Terrazas glaci-fluviales con estepa herbácea

Palabras Clave: *Junín de los Andes, Andes Patagónicos, ordenamiento territorial, peligros naturales, urbanización.*

Abstract

As a tool for landscape planning and urban expansion an applied geo-environmental study was made in Junín de los Andes zone (71°10' O y 39°55' S). Studied area is located in northern Patagonic Andes, Neuquén Province (Departament of Huiliches). Main geologic, geomorphologic, hydrologic, soil, geotechnical, climatic y biotic features were analyzed. On the base of these factors a Landscape systems map was made. Units mapped are: 1) glaciofluvial terraces with steppe, 2)

Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, SEGEMAR,
Julio A. Roca 651, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

✉ ferxp2007@yahoo.com.ar

fluvial terraces and alluvial plains with steppe, 3) alluvial fans with steppe, 4) valley flanks with steppe and forestation, 5) denudational relief with mixed steppe and 6) moraines with schrub steppe. Natural hazards occurrence was also studied, evaluated and mapped. Main hazards are 1) floodings, 2) slope instability, 3) fluvial erosion, 4) earthquakes and 5) volcanism. As a final product, urbanization landscape capacities was evaluated and mapped. Four classes were defined based on substrate nature, slopes, natural hazards occurrence, distance to rivers and creeks, subsurface water depth and land use incompatibilities. Most suitable landscape system unit for urbanization is glaciofluvial terraces with steppe

Keywords: *Junín de los Andes, Patagonian Andes, land use planning, natural hazards, urbanization.*

INTRODUCCIÓN

La localización de asentamientos humanos, su estructura interna y funcionamiento están fuertemente influenciada por los factores ambientales y, particularmente por la configuración del terreno. Como en la mayor parte de las poblaciones en la Patagonia Andina, la población se ha ido incrementando notoriamente en las últimas décadas lo que ha motivado la aparición de nuevos problemas ambientales y el agravamiento de los existentes. Estos aspectos justifican la necesidad de encarar estudios de ordenamiento ambiental, especialmente en lo concerniente a la aptitud para la urbanización de las diferentes unidades de paisaje, así como en lo referente a los conflictos de usos.

La zona estudiada se ubica en el sector norte de los Andes Patagónicos, en la provincia del Neuquén, incluyendo el sector ocupado por la ciudad de Junín de los Andes (71°10' O y 39°55' S, Figura 1) en el Departamento de Huiliches. Actualmente, el área urbanizada supera los 12000 habitantes. Mediante un convenio entre el SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino), la Municipalidad de Junín de los Andes y el Gobierno de la provincia de Neuquén se realizó un estudio geo-ambiental aplicado de un sector del ejido municipal, presentándose en este trabajo algunas de las conclusiones a las que se arribó.

El manejo poco efectivo de las tierras en zonas urbanas resulta en una generalizada degradación de suelos, agua y paisaje, ocupación de áreas riesgosas, pérdida de espacios verdes y de tierras agrícolas. El crecimiento desordenado y sostenido de Junín de los Andes en el último siglo, ha tenido lugar en general sin el establecimiento de pautas de ordenamiento territorial que tuvieran en cuenta las particularidades del medio físico. El crecimiento experimentado en las últimas décadas ha resultado en la existencia de importantes problemas ambientales, algunos de difícil solución. Ejemplo de esta falta de previsión es la ocupación de zonas anegables (planicies de inundación y mallines).

METODOLOGÍA

Los factores geoambientales que juegan un papel importante en el desarrollo de las ciudades pueden ser englobados en tres grandes grupos: 1) las geoformas, 2) los procesos geomorfológicos y 3) las condiciones del suelo y del subsuelo. Dentro del primer grupo se incluyen las características morfológicas y morfométricas, la situación geográfica, la distribución espacial, la forma del relieve como relieve relativo, grado de disección, orientación, ángulos de las pendientes y el tamaño de las geoformas. Estos elementos influyen, entre otras funciones, en el transporte, la necesidad de movilizar materiales

para nivelaciones, la mayor o menor concentración poblacional en áreas de menor relieve, etc. Dentro del segundo grupo, se enmarcan los relacionados con los diferentes peligros naturales. Finalmente, el tercer grupo de factores se relaciona con los aspectos esencialmente geotécnicos, ingenieriles y de recursos minerales necesarios para la construcción.

En la presente contribución se analizan dos aspectos: 1) diagnóstico de las características del territorio y su influencia en la tipología y distribución de los peligros o amenazas naturales y 2) evaluación de la aptitud para la urbanización del medio natural.

Para el primero de ellos, los aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos y edáficos, así como la peligrosidad geológica han sido cartografiados a una escala de 1:20000, utilizándose a tal efecto imágenes satelitales Landsat TM y ASTER del SEGEMAR, fotos aéreas de diferentes escalas y años, complementados por los correspondientes trabajos de campo. Se tomaron muestras de suelos y rocas y se identificaron diferentes aspectos geotécnicos y estructurales. En función de las limitaciones propias de las publicaciones en revistas, todos estos mapas no pueden ser presentados por lo que se refiere a su consulta en las publicaciones del SEGEMAR. Por su parte numerosos peligros naturales tienen lugar en la región; las inundaciones y la inestabilidad de pendientes son los principales factores de peligrosidad natural, mientras que la degradación del paisaje, de la vegetación y de los suelos, junto con los incendios y la contaminación de aguas y suelos aparecen como peligros de tipo mixto (natural-antrópico).

Para el segundo de ellos, se ha adoptado una aproximación metodológica desarrollada por *Pereyra et al. (2004)* para la zona de San Carlos de Bariloche (Río Negro). Esta metodología se basa en la definición y delimitación de unidades naturales homogéneas, denominadas Sistemas de paisaje. Estas se sustentan en la consideración cualitativa de aspectos geológicos, geomorfológicos, edáficos y bióticos. Una vez identificadas estas unidades se analiza la aptitud frente a diferentes acciones antrópicas asociadas al funcionamiento y expansión de una zona urbana. En los apartados correspondientes se detallan algunos aspectos metodológicos más.

CARACTERIZACIÓN GEO-AMBIENTAL

El área de estudio se ubica en la provincia geológica Cordillera Patagónica Austral, aflorando en la misma: 1) secuencias volcánicas y volcanoclásticas paleógenas de la Fm. Auca Pan, 2) piroclásticas y sedimentitas clásticas de la Fm. Chimehuin, de edad mio-pliocena, 3) volcanitas neógenas, 4) depósitos glaciares, glaciafluviales y fluviales cuaternarios y 5) tetras holocenas.

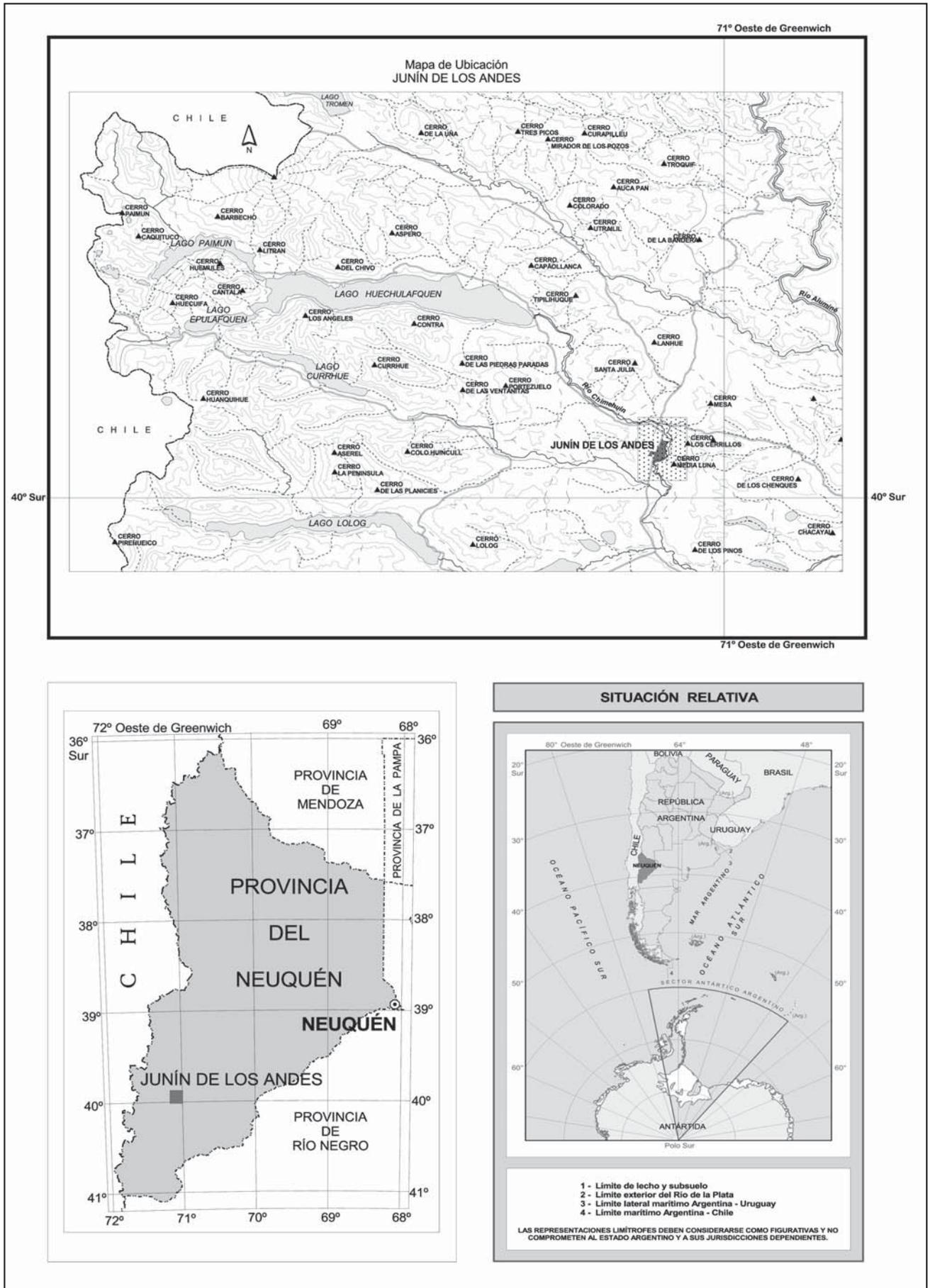


Figura 1. Mapa de ubicación.

Junín de los Andes se ubica principalmente sobre estos dos últimos, si bien, en función de la expansión urbana que esta experimentando, el crecimiento está involucrando litologías más antiguas. Desde el punto de vista tectónico, corresponde a una faja plegada y corrida de retroarco y, hacia el oeste, en la zona limítrofe, se encuentra representado el arco volcánico actual, destacando el Cerro Lanín. La localidad de Junín de los Andes se ubica en una estructura de rumbo norte-sur, coincidente con la estructuración andina. Las características geológicas regionales fueron tomadas de *Turner (1973)* y *Cucchi y Leanza (2005)*.

El clima, utilizando la clasificación de Koeppen corresponde a un tipo "Csa" (Subhúmedo mesotermal con moderada deficiencia de agua en el verano), con precipitaciones anuales comprendidas entre 700 y 600 mm y una temperatura media anual cercana a 15°C. Las características climáticas de la zona se basan en los trabajos de *Arroyo (1980)* y *Barros (1983)*, así como en datos disponibles del S.M.N. (Servicio Meteorológico Nacional). En los meses de invierno, las temperaturas mínimas medias se encuentran por debajo de 0°C, lo que implica el congelamiento parcial del agua contenida en el suelo, especialmente en las zonas más elevadas. En relación a las lluvias la zona se caracteriza por una marcada estacionalidad. La mayor parte de las precipitaciones se produce en los meses de invierno, con valores máximos en junio-julio, en los que predominan las nevadas. En la Tabla 1, se observan los principales parámetros climáticos de la zona, según datos del Servicio Meteorológico Nacional. Los vientos dominantes provienen del cuadrante oeste y son fuertes todo el año, si bien alcanzan valores mayores en los meses de primavera. Respecto al clima edáfico, la zona se encuentra en la transición entre los regímenes údico (al oeste) y xérico (centro y este de la zona estudiada). En relación a la vegetación, la región considerada se encuentra en la franja ecotonal que margina por el este al Bosque Andino-patagónico (Cabrerá, 1994), representado a estas latitudes por

diversas variedades de *Nothofagus*, así como ciprés (*Austrocedrus chilensis*) y pehuén (*Araucaria araucana*). Consecuentemente predomina la estepa herbácea (dominada por diferentes variedades de coirón) y la estepa mixta, en este caso con la vegetación arbustiva subordinada a la herbácea. Las zonas forestadas son especialmente importantes al oeste del área urbanizada.

La región se caracteriza por poseer un paisaje labrado esencialmente por la acción glaciaria y glaci-fluvial asociada, a la que con posterioridad se sobrepuso la acción fluvial. La participación de material eólico (cenizas retransportadas y arenas) como material originario de los suelos, es fundamental. Al oeste del área considerada se han identificado una serie de morenas terminales y laterales, y en ciertos sectores la acción deposicional glaciaria ha adquirido las características de manto de till tapizando los afloramientos rocosos, parcialmente modificados por la acción erosiva del hielo (Figuras 2 y 3).

Caldenius (1932) fue el primero en realizar un esquema regional, en el que identificó y mapeó diferentes términos morénicos que atribuyó a cuatro glaciaciones. Su esquema ha servido de base a todos los estudios posteriores. La Última Glaciación habría tenido lugar entre los 40 Ka y los 14 Ka años AP aproximadamente. *Flint y Fidalgo (1964)* denominaron Nahuel Huapí a la Última Glaciación para la zona de Patagonia Norte. *Rabassa et al. (1987 y 1990)*, en la zona del río Malleo, llamaron Mamuil Malal a los depósitos morénicos correspondientes a la Última Glaciación, diferenciando dos sistemas separados por un interestadial: Mamuil Malal I y II (coincidentes con Nahuel Huapí I y II, respectivamente). En general se considera que el máximo del Estadio Isotópico 2 (LMG, Último máximo glaciario), se habría producido a los 18 Ka AP. *Rabassa y Clapperton (1990)* plantearon la existencia de morenas post Nahuel Huapí y pre-neoglaciales en la zona de Puerto Blest y Lago Moreno. Por lo tanto, hubo cierto grado de avance de los glaciares en el intervalo 11-10 Ka. En la zona del río Malleo, *Rabassa et al. (1987 y 1990)* no identificaron depósitos Tardiglaciales. Para la

Tabla 1. Principales parámetros climáticos de la zona estudiada [Fuente S.M.N.].

Meses	Temperatura media [°C]			Humedad [%]	Lluvia [mm]
	Mensual	Máxima diaria	Mínima diaria		
Enero	23,95	29,48	7,62	31,28	11,30
Febrero	22,69	28,42	6,54	33,36	7,90
Marzo	20,05	25,15	5,15	38,97	15,40
Abril	15,27	20,98	2,99	48,22	36,50
Mayo	11,62	16,81	1,72	57,77	65,00
Junio	6,58	11,16	-0,61	64,73	189,50
Julio	8,54	12,99	-1,74	61,49	96,80
Agosto	9,64	14,88	-1,10	55,01	80,50
Septiembre	12,37	17,02	0,48	45,39	48,30
Octubre	17,11	21,89	3,03	40,08	32,50
Noviembre	18,71	23,34	5,27	39,17	28,20
Diciembre	22,15	27,90	7,97	34,43	17,20
Anual	15,72	20,83	3,11	45,83	629,10

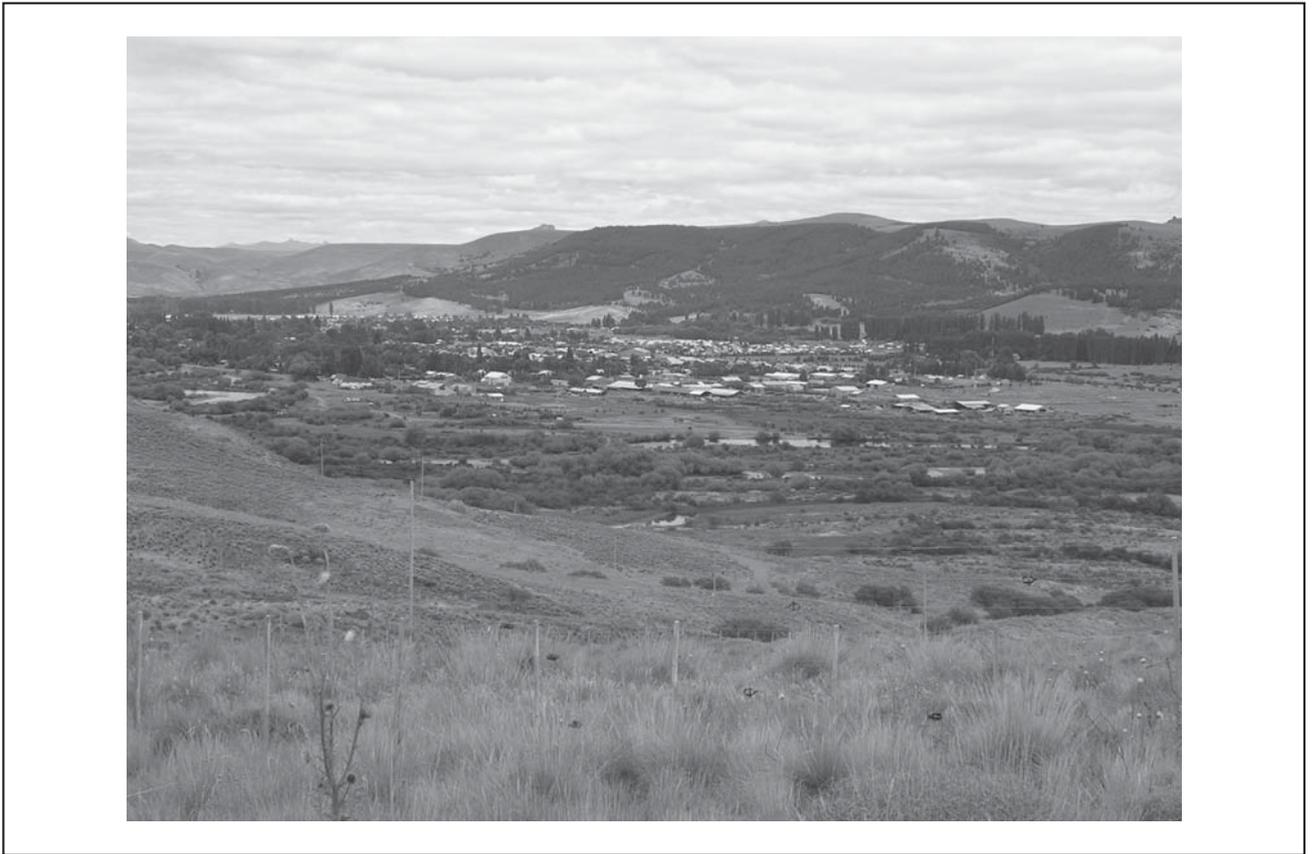


Figura 2. Vista parcial de la localidad de Junín de los Andes en la que se observa la planicie aluvial del río Chimehuin.

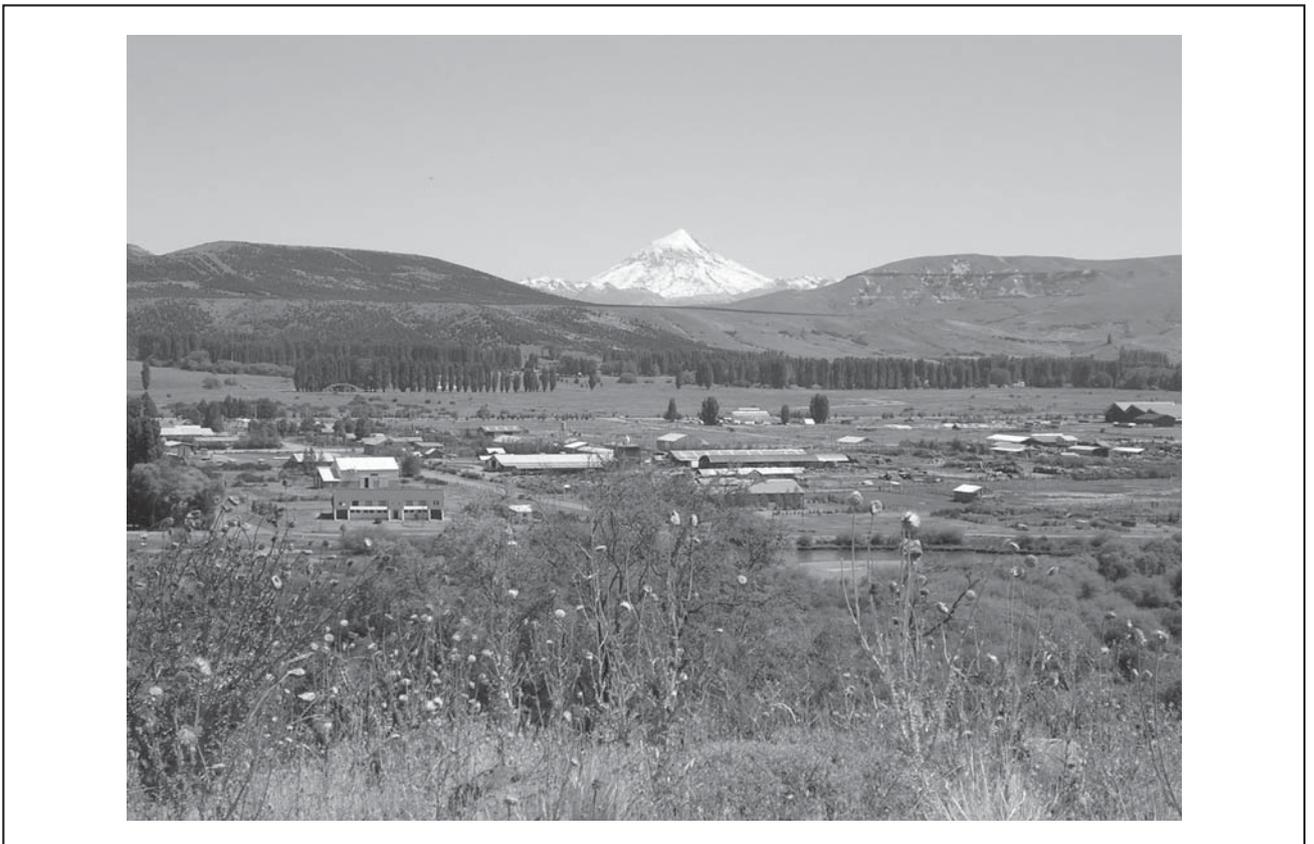


Figura 3. Vista de las características geomorfológicas del valle en el que se localiza Junín de los Andes, en segundo plano volcán Lanín. Se observa la disposición de las terrazas glacifluviales y fluviales y los afloramientos de la Fm. Chimehuin.

Patagonia, Mercer (1976) planteó la existencia de una serie de avances neoglaciales cuya cronología se basa en dataciones radiocarbónicas de depósitos asociados a morenas neoglaciales. La cronología planteada y generalmente aceptada, es de tres avances neoglaciales. El Neoglacial I se habría producido entre los 4700 y 4200 años AP, el Neoglacial II, entre los 2700 y 2000 años AP y el Neoglacial III (también conocido como "Pequeña Edad de Hielo"), entre los siglos XIII-XVIII aproximadamente.

En función de la acción diferencial de los procesos morfogenéticos han sido diferenciadas 12 unidades geomórficas: 1) Terrazas glacifluviales, 2) Morenas glaciarias, 3) Terrazas fluviales, 4) Planicies aluviales y cañadones, 5) Mallines (bajos anegables), 6) Pendientes aluvio-coluviales, 7) Abanicos aluviales, 8) Bajadas aluviales, 9) Nivel de agradación pedemontana, 10) Planicies estructurales labradas en la Formación Chimehuin, 11) Relieve erosivo en la Formación Chimehuin y 12) Relieve erosivo-estructural en volcánicas cenozoicas. La zona poblada se ubica principalmente en las terrazas glacifluviales y sobre las pendientes aluvio-coluviales que marginan las planicies estructurales en cotas cercanas a los 750-800 m de altitud (Figuras 4 y 5). Si bien a nivel regional las morenas ocupan extensas áreas, dentro de la zona urbanizada se encuentran escasamente representadas, ocupando un pequeño sector en la zona NO y SO.

Los suelos reconocidos pertenecen básicamente a cuatro Órdenes: Andisoles, Molisoles, Entisoles e Inceptisoles utilizando la Taxonomía de Suelos (USDA, 2010). Predominan los Hapludands, Haploxeroles y Xerortentes, pertenecientes respectivamente a los tres primeros Ordenes señalados. Las diferentes propiedades de los suelos (así como sus asignaciones taxonómicas que de ellas se desprenden) fueron reconocidas

tomando como base el trabajo de Ferrer y otros (2006). Independientemente de la asignación taxonómica los suelos de la región se caracterizan por poseer perfiles simples, en general A1-C o a lo sumo, A1-AC-C con escaso contraste morfológico, salvo en contados casos. En todos los casos el predominio de Andisoles y de subgrupos énticos, evidencia la dominante participación de las cenizas volcánicas post-glaciales (Laya, 1977) y en segundo lugar, lo reciente de su depositación, en el Holoceno (Figura 6).

La existencia de varios eventos de caída de cenizas aún en tiempos recientes, ha resultado en un permanente "rejuvenecimiento" de los suelos. Estos hechos se registran por haberse constatado la presencia de una delgada capa de ceniza muy superficial fresca y por el creciente grado de alteración de los piroclastos en profundidad. Finalmente, otros aspectos importantes en la génesis de los suelos de la región han sido las oscilaciones climáticas holocenas, en particular durante el Neoglacial. La morfogénesis del sector abarcado en este trabajo es comparativamente importante, por lo que la existencia de largos períodos de estabilidad, necesarios para el desarrollo de los suelos, no ha sido frecuente para la región. El factor relieve aparece como importante en la diferenciación de suelos a nivel Subgrupo (líticos y ácuicos). En la zona urbanizada es también frecuente la presencia de un nivel freático somero que se materializa en la presencia de moteados y otras evidencias de hidromorfismo en los suelos. Asimismo, la pedregosidad es alta en las terrazas fluviales y glacifluviales, así como los contenidos de materia orgánica.

Se realizó la caracterización geotécnica del área considerada sobre la base de la geología, complementada por observaciones de campo específicas. Consecuentemente han sido



Figura 4. área de "mallín" en la zona urbanizada [suelos hidromórficos con nivel freático a menos de 1 m].



Figura 5. planicie aluvial del río Chimehuin en época seca aguas arriba de la población.



Figura 6. Haploxeroles ándicos, muy pedregosos en profundidad en terraza glacial

diferenciadas las siguientes unidades: 1) Rocas sedimentarias y piroclásticas poco consolidadas con o sin delgada cobertura aluvio-coluvial (Esencialmente Formación Chimehuin), 2) Rocas volcánicas consolidadas con o sin delgada cobertura aluvio-coluvial (basaltos neógenos), 3) Rodados, arenas y gravas moderadamente bien seleccionados parcialmente cementados con intercalaciones finas (depósitos glacifluviales) y 4) Rodados, arenas y gravas fluviales inconsolidados. Las diferentes litologías que integran la Formación Chimehuin no presentan graves problemas geotécnicos, si bien las rocas muestran, en algunos casos, un grado bajo de cohesión y una tendencia a la meteorización física. Los sedimentos cuaternarios tienen amplia distribución en la zona y exhiben gran variabilidad en sus características, aún dentro de una misma unidad. Los depósitos glacifluviales poseen poca variabilidad. Para la clasificación geotécnica se ha utilizado la propuesta por Casagrande (Clasificación Unificada de Suelos). Pertenecen a las clases GW, SP y SW, el primero corresponde a gravas y arenas bien seleccionadas, casi sin finos; los otros dos son arenas con gravas bien y mal seleccionadas, con escasos finos. Estos materiales son muy permeables y, en zonas planas, no implican problemas de fundaciones si bien en los cortes verticales artificiales son poco estables.

Los rodados, arenas y gravas fluviales inconsolidados incluyen principalmente a los Depósitos Fluviales Holoceno-actuales tienen una gran heterogeneidad debido a la frecuente ocurrencia de cambios de facies, los que implican variaciones tanto verticales como horizontales. De todas formas, tanto en los abanicos aluviales como en las planicies aluviales predominan los materiales de las clases GP (gravas con intercalaciones de gravas y arenas mal seleccionadas y con escasos finos) y SP (arenas mal seleccionadas con gravas y casi sin finos). Estos sedimentos son por lo general moderadamente a bien permeables, y no tienen limitaciones para las fundaciones, si bien son poco estables en cortes artificiales. En algunos sectores, en especial en las planicies aluviales, aparecen materiales más finos y en algunos casos más plásticos (SM y SC, respectivamente). Por último, en los mallines, los materiales suelen ser Pt (suelos altamente orgánicos) y OL, limos orgánicos con arcillas limosas orgánicas. Finalmente, los depósitos piroclásticos (no diferenciados en el mapa tal como se dijera previamente, dado su escaso espesor y

generalizada presencia) incluyen cenizas (predomina el tamaño arena) y lapilli (tamaño grava-gravilla) en proporciones variables. En líneas generales estos materiales están bien seleccionados y, en algunos casos, presentan cierta plasticidad. Pueden ser clasificados como SW, SM, GM y ML. Son materiales poco estables, fácilmente erosionables y proclives a experimentar movimientos gravitacionales en zonas de pendientes.

En general todos los sedimentos cuaternarios son relativamente inestables si se encuentran en zonas de pendientes sobre roca relativamente fresca, tal como ocurren en la mayor parte de los valles glaciarios de la región. Las capacidades portantes de los sedimentos en la mayor parte de la región no son buenas en los primeros 20-30 cm debido a que los sedimentos se hallan edafizados con una elevada cantidad de materia orgánica. En los sedimentos Pt y OL las capacidades portantes son muy bajas, debido a que son muy plásticos y tienen asentamientos diferenciales ante esfuerzos y la deshidratación. Esta situación se observa principalmente en la zona de mallines.

Para la identificación de los Sistemas de paisaje se ha seguido una metodología cualitativa expeditiva basada en las características geológico-geotécnicas, geomorfológicas, bióticas y edáficas. Estos sistemas corresponden a unidades de paisaje homogéneas a la escala de trabajo. Los lineamientos básicos utilizados han sido señalados por Pereyra et al. (2004) a los que se han sumado algunos aspectos planteados por Sánchez (2009) quien retoma lo establecido originariamente en Sánchez (1993). Los principales criterios adoptados para la delimitación de las unidades son: 1) presencia de roca aflorante o no, 2) granulometría de las formaciones superficiales, 3) proceso geomorfológico dominante, 3) grado de morfodinámica actual, 4) relieve relativo, 5) inclinación de las pendientes, 5) presencia de suelos y grado de desarrollo de los mismos y 6) tipo de cobertura vegetal y densidad o grado de cobertura.

Las unidades diferenciadas son: 1) Terrazas glacifluviales con estepa herbácea, 2) Terrazas y planicies fluviales con estepa, 3) Abanicos aluviales con estepa, 4) Laterales de valles con estepa y forestación, 5) Relieve denudacional en rocas con estepa mixta y 6) Morenas con estepa arbustiva. Las características de las mismas se sintetizan en la Tabla 2 y la distribución de las mismas se observa en la Figura 7.

Tabla 2. características principales de los Sistemas de paisaje.

Unidad de paisaje	Formaciones geológicas aflorantes	Material Superficial	Morfodinámica actual	Relieve relativo pendientes	Suelos principales	Vegetación	Agua subterránea
Terrazas glacifluviales con estepa herbácea	Cuaternario (gravas+tefras)	Grueso y arenoso	Baja	Muy bajo	Molisoles Entisoles Andisoles	Estepa herbácea y mixta	Varios acuíferos
Terrazas y planicies fluviales con estepa	Cuaternario	Grueso y arenoso	Alta	Muy bajo	Entisoles Molisoles	Estepa arbustiva y mixta	Varios acuíferos
Abanicos aluviales con estepa	Cuaternario	Grueso y arenoso	Alta	Bajo	Entisoles Molisoles	Estepa arbustiva y mixta	Acuíferos discontinuos pequeños
Laterales de valles con estepa y forestación	Fm. Chimehuin Cuaternario (till+tefras)	Grueso, tefras y afloramiento rocoso	Muy alta	Muy alto	Entisoles Andisoles Inceptisoles	Ecotono Bosque mixto, y Matorral	Sin acuíferos, permeabilidad fisural
Relieve denudacional en rocas con estepa mixta	Fm. Chimehuin	Grueso y afloramiento rocoso	Muy alta	Muy Alto	Entisoles Inceptisoles	Ecotono, Bosque mixto, Matorral estepa de altura	Sin acuíferos, permeabilidad fisural
Morenas con estepa arbustiva	Cuaternario (till+tefras)	Grueso, arenas y tefras	Baja	Moderado	Andisoles Molisoles	Estepa arbustiva y mixta	Acuíferos pequeños discontinuos

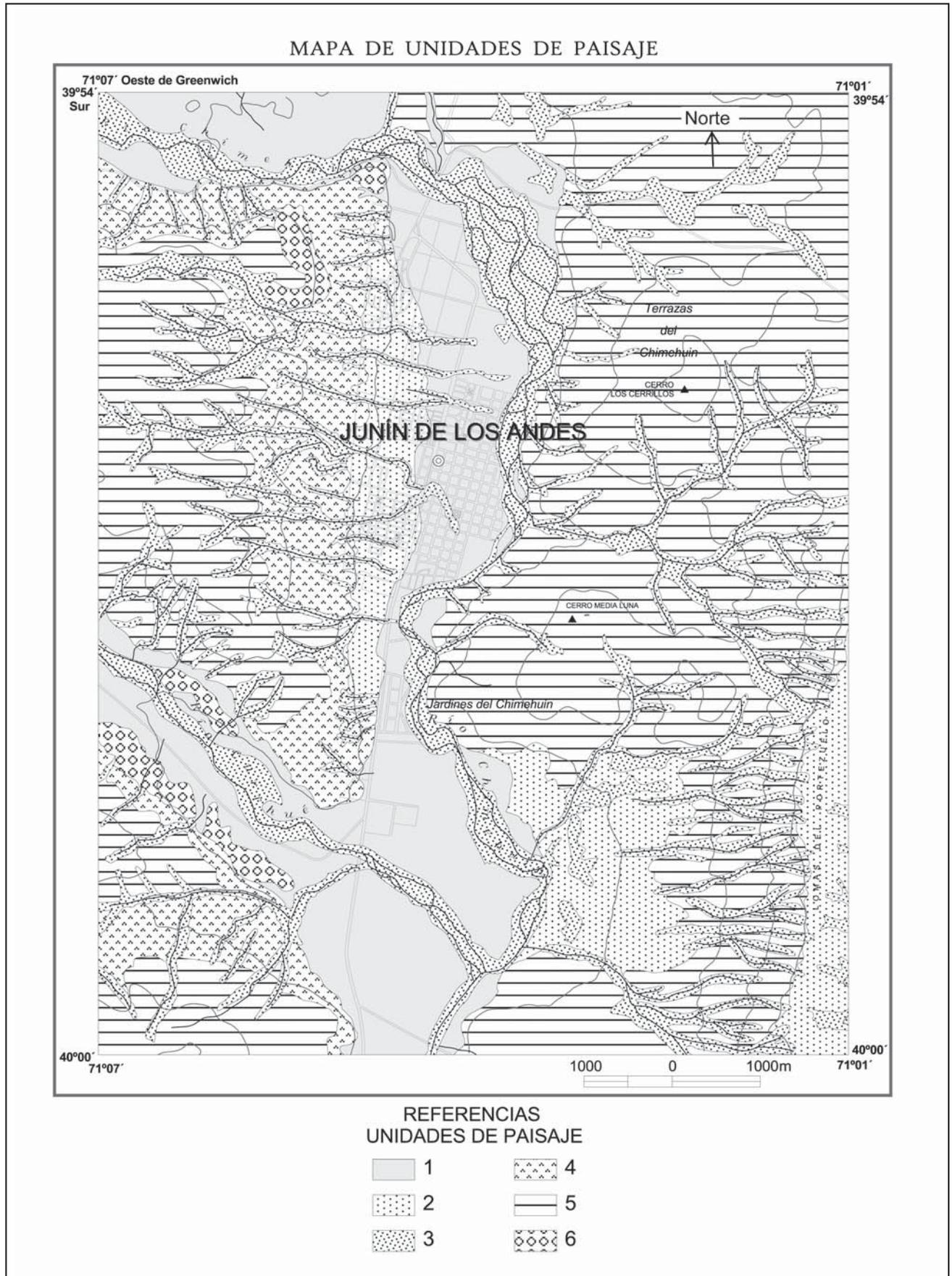


Figura 7. Mapa de Unidades de paisaje (Sistemas de paisaje). Referencias: 1) Terrazas glaci-fluviales con estepa herbácea, 2) Terrazas y planicies fluviales con estepa, 3) Abanicos aluviales con estepa, 4) Laterales de valles con estepa y forestación, 5) Relieve denudacional en rocas con estepa mixta y 6) Morenas con estepa arbustiva.

PELIGROSIDAD NATURAL

Una amenaza o peligro natural es la existencia de una condición geológica, proceso o suceso potencial que puede suponer una afectación de la salud, bienestar o seguridad de una población, o para el desarrollo de las actividades económicas de una determinada sociedad. Por su parte, el riesgo es la mayor o menor probabilidad de que se produzca un daño en una zona dada debido a la ocurrencia de un fenómeno natural peligroso, o sea que incluye la exposición y la vulnerabilidad de las comunidades humanas, así como la evaluación de los daños ocasionados.

La zona estudiada se encuentra localizada en una zona de gran variabilidad ecoambiental por lo que numerosos peligros naturales e inducidos tienen lugar en la región, la cual exhibe una marcada fragilidad frente a acciones antrópicas. Las inundaciones y la inestabilidad de pendientes por procesos de remoción en masa constituyen los principales factores de peligrosidad natural en la zona, mientras que la degradación del paisaje, de la vegetación y de los suelos, junto con los incendios y contaminación de aguas y suelos aparecen como peligros de tipo mixto (natural-antrópico). Asimismo, la peligrosidad volcánica es un aspecto que debe ser encarado con mayor detenimiento a los efectos de evaluar su potencial impacto, pero que en el presente estudio no ha sido considerado en particular, ya que será motivo de una futura publicación.

Los procesos que pueden constituir amenazas naturales en el área estudiada son: 1) Inundaciones y anegamientos por ascensos freáticos, 2) Inestabilidad de pendientes debidas a remoción en masa (en particular flujos densos, deslizamientos y caídas), 3) Erosión fluvial y eólica, 4) Sismos y 5) Volcanismo. En la Tabla 3 se indican los grados de peligrosidad natural según unidad geomórfica basados en criterios cualitativos. En la

confección de la misma se tuvieron en cuenta las características relevantes de las principales unidades geomórficas, el grado de actividad de los procesos geomorfológicos (morfodinámica actual), el registro de eventos históricos, la información suministrada por los pobladores y la comuna y controles de campo. Se consideraron la intensidad de los procesos, la recurrencia y frecuencia (en los casos en los que se contó con esa información), así como el grado de afectación areal y en infraestructura de cada factor de peligrosidad según la unidad geomórfica. En general es notoria la ausencia de información geológica publicada para la zona considerada, especialmente en lo referente a la peligrosidad natural.

Las inundaciones constituyen el principal peligro natural y en la región se producen por: 1) inundaciones por desborde de cursos, 2) ascensos freáticos (anegamientos) y 3) desbordamientos de lagos, si bien este último caso no afecta a la zona considerada ya que los lagos Huechulafquen y Curruhé se ubican al oeste de la misma. Debido a las características ecoambientales y geomorfológicas, las inundaciones poseen los rasgos propios de *flash-floods*, o sea inundaciones relámpago, en las cuales los picos llegan muy rápido (muy próximos a la ocurrencia de las precipitaciones). Las mayores inundaciones tienen lugar cuando se combinan tres factores: 1) intensas nevadas seguidas de un fuerte aumento de temperatura, 2) ocurrencia a continuación de intensas lluvias y 3) ocupación de planicies aluviales. Otro aspecto importante a considerar es que los lagos presentan grandes variaciones en su nivel tanto estacionales como interanuales.

El río Chimehuin muestra grandes variaciones de caudal y de nivel a lo largo del año como respuesta a grandes precipitaciones. Así en la zona de Junín de los Andes, son frecuentes oscilaciones de más de 2 m del nivel del río y aumentos del caudal de más del 200% con recurrencias de menos de 50 años

Tabla 3. Grados de peligrosidad según unidad geomórfica.

	Inundaciones	Ascensos freáticos y flujos densos	Deslizamientos	Caídas de rocas	Erosión hídrica	Erosión eólica
Morenas	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Alto	Bajo	Moderada
Terrazas glacifluviales	Moderado	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Moderado	Alta
Relieve erosivo en la Formación Chimehuin	Nulo	Nulo	Alto	Muy alto	Alta	Baja
Planicies aluviales y cañadones	Muy alto	Muy alto	Moderado	Muy bajo	Muy alta	Baja
Nivel de agradación Moderada pedemontana		Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Moderada
Mallines (bajos anegables)	Muy alto	Muy alto	Muy bajo	Nulo	Moderada	Muy baja
Planicies estructurales labradas en la Formación Chimehuin	Muy Bajo	Nulo	Moderado	Muy bajo	Baja	Moderada
Bajadas aluviales	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alta	Moderada
Terrazas fluviales	Muy alto	Muy alto	Muy bajo	Muy bajo	Muy alta	Alta
Abanicos aluviales	Alto	Alto	Moderado	Nulo	Muy alta	Alta
Relieve erosivo-estructural en volcanitas cenozoicas	Nulo	Bajo	Alto	Baja	Baja	
Pendientes aluvio-coluviales	Muy baja	variable	alto	alto	Muy alto	Moderada

(Cubero, 2001). Los sectores más proclives a sufrir anegamientos están localizados en las zonas aledañas al río, tanto en las planicies aluviales como en las terrazas fluviales. En las zonas de mallines y pequeñas lagunas ubicadas en el paisaje glaciar y glaciifluvial también se producen anegamientos. En este último caso, los anegamientos se deben esencialmente a ascensos freáticos tras importantes precipitaciones, mientras que en los anteriores se trata esencialmente de desbordes. Asimismo, debe tenerse en cuenta que el potencial erosivo de los cursos fluviales se incrementa considerablemente durante los picos de crecida destruyendo puentes y afectando viviendas y otras instalaciones. Particularmente evidentes son los efectos de la erosión lateral del río en la zona urbanizada denominada Jardines del Chimehuin.

La peligrosidad por inundaciones también es alta en los pequeños abanicos aluviales que se forman en la desembocadura de los cañadones, en la parte alta del área urbana. En estos casos las viviendas se ubican en zonas de potenciales desbordes de los cursos fluviales. En éstos pequeños cañadones se observan numerosas evidencias de intervenciones antrópicas que afectan su comportamiento natural, incrementando el grado de peligrosidad de los mismos. Los lotes localizados en los ápices de los abanicos también se encuentran en situación de potencial peligrosidad alta.

La remoción en masa se halla ampliamente distribuida en la zona estudiada debido básicamente al alto relieve relativo disponible y a la acción glaciaria que "preparó" la roca y dejó como resultado grandes depósitos de material escasamente cohesivo. Sin embargo, en función de lo observado en el campo, no alcanzan gran magnitud, lo cual podría deberse, en primer

lugar a la existencia de un relieve relativo y de pendientes no demasiado altos. El grado de perturbación antrópica y la erosión hídrica de los cursos fluviales actúan básicamente como factores disparadores, junto con las grandes precipitaciones (nievas y pluviales). Los sismos también pueden ser disparadores de movimientos, si bien no existen registros que vinculen ambos fenómenos. En relación con la inestabilidad de pendientes debida al accionar de la remoción en masa, los factores controlantes considerados más relevantes para la zona estudiada son: 1) tipo litológico aflorante, 2) grado de meteorización y diaclasamiento de las rocas, 3) presencia de cobertura detritica, 4) inclinación de las pendientes, 5) grado de cobertura y tipo de vegetación de las pendientes, 6) exposición (frente a las lluvias, sol y nieve) y 7) suelos de bajo grado de desarrollo.

Existen diferentes clasificaciones de movimientos gravitacionales, si bien en líneas generales todas suelen utilizar criterios semejantes: tipo de movimiento, velocidad, material implicado, participación del agua. En el presente estudio se han seguido los lineamientos básicos establecidos por Varnes (1978), con las modificaciones realizadas por Hungr et al. (2001). Los fenómenos más frecuentes pueden ser agrupados de la siguiente forma: 1) caídas y vuelcos (*fall y topless*), 2) solifluxión, 3) flujos densos (*debrisflows*) y 4) deslizamientos (planares y rotacionales). De ellos, los más comunes y los más peligrosos en la zona considerada son las caídas y los deslizamientos, si bien debe establecerse que algunos movimientos son complejos, incluyendo una facies inicial como caída o vuelco y una facies posterior como flujo denso al encauzarse parcialmente en rills o cárcavas preexistentes e incorporar agua a la masa rocosa seca movilizadora originariamente (Figura 8).



Figura 8. Zona de arranque de pequeño deslizamiento planar en las inmediaciones del área urbanizada. Las rocas implicadas son las tobos de la Fm. Chimehuin.

Los elementos que condicionan la estabilidad de los taludes rocosos de la zona tienen gran variabilidad debido a que afloran varios tipos litológicos con diferentes características geomecánicas. Las metamorfitas y las sedimentitas tienen líneas de debilidad representadas por la esquistosidad, la estratificación y las fracturas, mientras que en los granitos y en las vulcanitas las líneas de debilidad son las diaclasas y las fracturas. Las combinaciones existentes entre orientación e inclinación de las líneas de debilidad y la relación entre las estructuras y las pendientes determinan que las condiciones de estabilidad sean muy variables de un sitio a otro del paisaje. Así, cuando coinciden la dirección los planos de debilidad con las pendientes, la posibilidad de movimientos se incrementa notoriamente. En el caso de la zona estudiada, si se tiene en cuenta que los estratos de la Formación Chimehuin, están generalmente subhorizontales, la situación antes aludida es menos significativa.

Por su parte, los elementos que condicionan la estabilidad de los taludes en sedimentos cuaternarios dependen de varios factores, entre otros: a) el espesor, b) el contenido de humedad, c) la forma de la ladera, d) el tipo de sedimento, e) características del plano de debilidad y f) características del sustrato rocoso. Los sedimentos de las laderas son generalmente gruesos (glaciarios o coluviales) mezclados en proporciones variables con materiales piroclásticos (SW o SC-ML). Las tefras forman agregados que, bajo la acción de la edafización y la humedad, se desagregan confiriendo mayor plasticidad (clases MH-ML). El contenido de humedad también es muy variable en la zona de estudio, tal como ya se dijera, debido a dos causas, cambio del régimen pluviométrico por el efecto orográfico y por la orientación de las laderas. De esta forma, al oeste el contenido de humedad en los sedimentos es mucho mayor y por ende son más inestables. Asimismo, las laderas que miran al sur son potencialmente más inestables debido a que son más húmedas y en consecuencia la humedad muchas veces pueden ser superiores a los límites Atterberg.

Las superficies de las pendientes en las que se asientan los sedimentos cuaternarios generalmente son rocosas, abruptas e inclinadas. Entre el sustrato y los depósitos tiende a circular el agua hipodérmica, la que reduce el esfuerzo de corte. Todas estas características determinan que las laderas sean potencialmente inestables. Los ángulos de reposo de los materiales inconsolidados varían en función de numerosos factores, entre los que destacan la presencia de materiales finos que brindan cohesión a los más gruesos y la cobertura vegetal. En general depósitos cuaternarios gruesos como los presentes en la mayor parte de la región suelen tener ángulos de reposo que varían entre 30° y 35° aproximadamente. En consecuencia, cualquier pendiente labrada en sedimentos de este tipo, de mayor inclinación, debe ser considerada como potencialmente inestable. La presencia de un sustrato rocoso por debajo de los depósitos a poca profundidad reduce considerablemente el ángulo de reposo.

En función de las características de los peligros o amenazas naturales, la configuración de las pendientes (teniendo en cuenta tanto los diferentes tramos diferenciados como sus inclinaciones y los procesos geomorfológicos involucrados) y la distribución de los suelos y la vegetación en el faldeo, se ha realizado una zonificación de la peligrosidad diferenciando tres sectores, tanto para las inundaciones, como para movimientos gravitacionales y la erosión hídrica: peligrosidad alta, peligrosidad moderada y peligrosidad baja a nula. Considerando la conjunción de fenómenos naturales peligrosos, la zona de mayor peligrosidad corresponde a aquellos sectores en los que las

pendientes son mayores al 40%, la proporción de afloramientos rocosos es alta y los suelos son poco potentes o se encuentran cubiertos por detritos movilizados por remoción en masa o por escurrimiento superficial. Asimismo, son los sectores en los cuales son frecuentes los bloques grandes en la pendiente, alguno de ellos frescos, lo que evidencia una alta actividad geomorfológica materializada principalmente en caídas o vuelcos.

La zona de alta peligrosidad corresponde principalmente a las geformas denominadas planicies aluviales, abanicos aluviales y cañadones. En estos sectores se concentra la mayor parte de la actividad geomorfológica si bien, tal como se dijera previamente, la mayor parte de las mismas se encuentra en la zona aledaña a la población. Las zonas de peligrosidad moderada y baja se localizan en las morenas y terrazas glaciafluviales, así como en el paisaje erosivo-depositacional debido al accionar de diferentes procesos.

La región se caracteriza por tener una moderada sismicidad y volcanismo activo. Según la zonificación de la Argentina, realizada por el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica), la región en consideración se encuentra localizada dentro de la Zona 2 correspondiente a un riesgo sísmico moderado. Sismos de magnitud 5 o inferiores con epicentros en la zona son frecuentes, así como las réplicas de sismos mayores ocurridos en otras regiones como por ejemplo el terremoto de Concepción del 2010 que fuertemente sentido en toda la región. En el lago Huechulafquen, al oeste de la zona estudiada, réplicas de este sismo generaron oleajes importantes que afectaron algunos muelles.

Entre los 37° y los 42° S se localiza una zona de muy activo volcanismo, con numerosos volcanes que presentan actividad actual e histórica y numerosos aparatos volcánicos que pueden ser considerados como dormidos. La mayor parte de los volcanes activos se ubican en territorio chileno o en la zona del límite, por lo tanto relativamente alejados de los principales centros poblados de la Patagonia Cordillerana argentina (*González Ferrán, 1985*). Consecuentemente, el principal peligro volcánico es la caída de tefras. Debido a su posición latitudinal y su relación con las masas oceánicas, la región de los Andes Patagónicos se caracteriza por tener alta frecuencia de vientos procedentes del O y del SO de gran intensidad. Esta situación incrementa las posibilidades de caída de cenizas y otros productos piroclásticos.

Existen muchos fenómenos peligrosos asociados al volcanismo, excluyendo los terremotos y tsunamis, se reconocen seis: Flujos de lavas, Caída balística de tetras, Flujos piroclásticos, Lluvias de cenizas, Emisión de gases y Lahares y glacier bursts (explosión de glaciares). En líneas generales, los efectos de los diferentes peligros volcánicos se limitan a las cercanías de los aparatos volcánicos, a excepción de las lluvias de cenizas, las cuales pueden afectar grandes extensiones y zonas alejadas a varios cientos de kilómetros del centro eruptivo. Los efectos sobre la zona considerada se restringen esencialmente a la lluvia de cenizas, que pueden alcanzar gran intensidad como se desprende del registro geológico reciente. En las cercanías se encuentran tres volcanes considerados activos (*González Ferrán, 1985* y *Simthsonian program Website, 2013*): Lanín, Achen Niyeu o Huanquihue (en la zona de Lago Paimún) y Villarica.

El volcán Lanín es el de mayores dimensiones en toda la Patagonia y si bien no hay registros históricos de actividad volcánica, debe ser considerado un volcán activo. Es un estratovolcán simétrico de más de 3700 m que se eleva 2500 m sobre unas hombreras que conformaron una antigua caldera pleistocena.

Al sur del lago Paimún se ubica en Argentina el Grupo Huanquihue, pequeños conos basálticos y piroclásticos con numerosas evidencias de actividad holocena y reciente, una de ellas de menos de 200 años, ubicada sobre el lago Epulafquen. Incluye los cerros La Angostura y Escorial (*Inbar et al., 1994*). Hacia el oeste, en territorio chileno se ubica el Volcán Villarica de importante y sostenida actividad, si bien, en tiempos recientes no ha significado un gran impacto en la zona argentina. La reciente erupción del 2011 del Cordón Caulle-Volcán Puyehue implicó la lluvia de cenizas finas en la zona si bien no alcanzó acumulaciones de espesores importantes. De todas formas la región estudiada debe ser considerada como de alta peligrosidad volcánica, especialmente en lo referente a la caída de tetras.

EVALUACIÓN DE LA APTITUD PARA LA URBANIZACIÓN

El ordenamiento territorial es la concreción espacial, en forma de normativas y directrices, de las políticas sociales, culturales y económicas de una sociedad de forma tal que sean compatibles con las características naturales del medio físico. El objetivo es conseguir un desarrollo equilibrado y sustentable de regiones, optimizar la utilización de los recursos naturales a la vez que la organización física del territorio, todo lo cual debe redundar en la mejora de la calidad de vida de todos los habitantes actuales y futuros de una región o país. La resolución de los conflictos que se plantean en diversos niveles entre los diferentes actores sociales que interactúan en un espacio dado, implican potenciales definiciones y desarrollos que se apartan en uno u otro sentido de un ideal de crecimiento armónico. Por lo tanto es estrictamente necesario llegar a diferentes grados de consensos y acuerdos sociales que permitan el mantenimiento de condiciones de vida adecuadas para toda la población. Estos consensos, plasmados en las primeras etapas de cualquier plan son el verdadero componente del ordenamiento territorial.

Existen cuatro conflictos paradigmáticos y recurrentes: 1) la contradicción entre conservación y desarrollo, 2) la pugna entre intereses públicos y privados, 3) el conflicto de intereses entre diversos sectores y 4) la confrontación entre intereses locales y nacionales/provinciales. Los planes de ordenamiento territorial deben procurar: 1) Adaptar las actividades a las capacidades de acogida del medio físico frente a cada una de las actividades socio-económicas, 2) Optimizar las interacciones entre las diversas actividades a localizar y 3) Tender a una utilización múltiple del territorio en el cual se garantice la superposición de actividades compatibles y complementarias en el tiempo y en el espacio. Consecuentemente los objetivos del ordenamiento son la utilización racional del territorio que permita una gestión responsable y sustentable de los recursos naturales y un desarrollo socioeconómico equilibrado de regiones y comarcas. Esto resulta en la preservación del medio físico y una mejora de la calidad de vida.

La capacidad de acogida de un territorio puede definirse en forma empírica a través de una serie de aproximaciones (*Gómez Orea, 1994*). Se desprende del compromiso existente entre la aptitud potencial de los ecosistemas y el impacto o fragilidad de los mismos, los que conjugados permiten hacer una valoración de la capacidad de aceptación del ecosistema. En una segunda etapa se ha combinado este resultado con la valoración de los procesos activos y peligros naturales lo que permite establecer la capacidad de acogida del territorio. Las categorías de ordenación han resultado finalmente, de la

consideración conjunta de las capacidades de acogida y el Mapa de Sistemas de paisaje. A partir de la información generada previamente y como insumo básico para la elaboración de planes y políticas de desarrollo urbano, se ha realizado un Mapa de Aptitud (Figura 9) para la urbanización para el área de Junín de los Andes sobre la base de la consideración cuali-cuantitativa de una serie de aspectos relevantes.

Los criterios básicos fueron establecidos por Pereyra y otros (2004) para la zona urbana de San Carlos de Bariloche. Los factores tomados en cuenta, en lo referente al medio natural, son: 1) Naturaleza del sustrato (roca-suelo-consolidación-fracturación, etc.); 2) Pendientes; 3) Peligrosidad geológica y morfodinámica actual (grado relativo según zonificación previa); 4) Distancia a cursos fluviales; 5) Profundidad del nivel freático y 6) Incompatibilidad de usos (excluyente). Para cada una de los factores analizados se ha realizado una categorización. Para la Naturaleza del sustrato (roca-suelo-consolidación-fracturación, etc.), se plantearon las siguientes clases: Roca en buen estado, Roca fracturada y/o meteorizada, Suelo grueso, Suelo fino y Suelo expansivo. Para las Pendientes, se consideraron tres agrupamientos: Alta (más de 30°). Mediana (entre 5 y 30°) y Baja a horizontal (menos de 5°). La Peligrosidad geológica y morfodinámica actual se clasificó en forma cualitativa y global, planteado el grado relativo según zonificación (Alta, Moderada y Baja y muy baja). En relación a la Distancia a cursos fluviales (principales) se diferenciaron tres clases: 1) Aledaño (al lado), 2) Próximo (menos de 50 m) y 3) Alejado (más de 50 m); mientras que para la Profundidad del nivel freático, solo se distinguieron dos: 1) Somero o aflorante (a menos de 2 m) y 2) Profundo (más de 2 m). Finalmente se consideraron las Incompatibilidad de usos en relación a la urbanización, planteándose incompatibilidades con los usos protección naturaleza, recreativos-turísticos y forestal.

Por su parte, se consideraron dentro de la urbanización una serie de aspectos a los que se asignó un puntaje según la mayor o menor facilidad frente a cada tipo de acción. Las actividades consideradas son: A-Construcción de viviendas, B-Infraestructura de servicios (agua, gas, electricidad, cloacas, teléfono), C-Infraestructura vial y D- Construcción y funcionamiento de instalaciones comunitarias, incluyendo industriales, de servicios, sociales (escuelas, salitas, policía, bomberos), recreativas, turísticas y comerciales. En función de las anteriores se definieron cinco conjuntos. El primero, denominado A considera la facilidad/dificultad para construcción de viviendas. El B, la facilidad/dificultad para construcción infraestructura de servicios. El C estima la facilidad/dificultad para construcción infraestructura vial, mientras que el cuarto, D, la facilidad/dificultad para construcción de instalaciones comunitarias. Finalmente, el factor E cuantifica las compatibilidades con otros usos sugeridos/deseables.

La consideración de estos aspectos fue aplicada a cada Sistema de paisaje en forma ponderada y relativa obteniendo una diferenciación de las mismas en Clases de aptitud para la urbanización, las que se encuentran sintetizadas en la Tabla 4. En tal sentido fueron distinguidas cuatro clases (las que se encuentran representadas en el Mapa adjunto, figura 2): 1) Apta, 2) Moderadamente apta (con restricciones), 3) Poco apta y 4) No apta (distinguiendo en el mapa una subclase de esta última asociada a las planicies aluviales). El cálculo de la mayor o menor aptitud se realizó a partir de la suma de los valores obtenidos para cada conjunto en cada Unidad de paisaje. De A a D, los valores son de 1 a 4, correspondiendo el 1 a fácil y el 4 muy

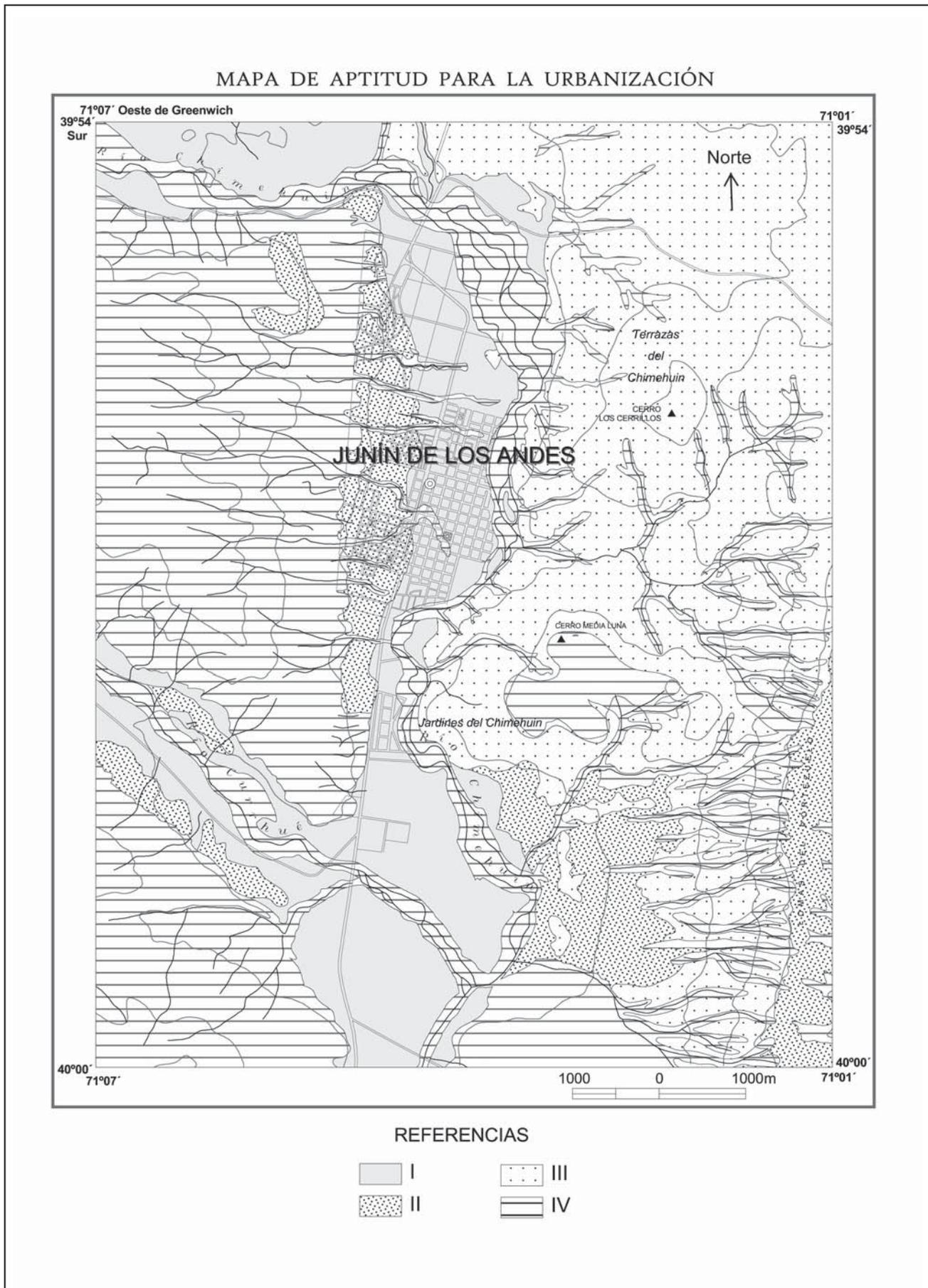


Figura 9. Mapa de aptitud para la urbanización. Referencias: Clases: I Muy apta, II Apta, III Poco apta y IV No apta.

difícil. El parámetro E correspondiente a las compatibilidades de uso, tiene tres valores, C, compatible, MC, medianamente compatible e I, incompatible. MC suma 1 punto más, mientras I es excluyente y la unidad en cuestión pasa directamente a no apto.

Las Unidades o Sistemas de paisaje que presentan las mejores posibilidades para ser utilizadas en un futuro como sectores de expansión urbana son la Terrazas glacifluviales con estepa herbácea, precisamente sobre las cuales se desarrolla la mayor parte de la expansión urbana en ejecución. La Unidad Morenas con estepa arbustiva y mixta ocupa sólo una pequeña porción del área estudiada por lo cual no ha sido considerada en la estimación, si bien puede señalarse que se trataría de un ambiente apto para la urbanización, salvo limitantes localizados, como por ejemplo pendientes altas y presencia de materiales muy gruesos. Este aspecto es relevante, si se tiene en cuenta los futuros loteos y urbanizaciones en la zona del lago Huechulafquen, al oeste de la zona estudiada.

La Unidad de paisaje, Laterales de valles con estepa y forestaciones, posee una aptitud aceptable para la urbanización si bien su posible utilización como zona de expansión urbana debería hacerse con algunas limitaciones y precauciones diferentes a los consideradas precedentemente. En primera instancia, debe establecerse que la capacidad de carga de la misma es inferior a las primeras, por lo tanto no puede pensarse en una ocupación densa. En segundo lugar, deberán realizarse estudios de impacto ambiental de detalle previo a loteos y construcción de instalaciones sociales, comunitarias y comerciales, así como

para la construcción de vías de comunicación e infraestructura de servicios.

Respecto a las unidades Abanicos aluviales y Terrazas y planicies fluviales, debe tenerse en cuenta que estas unidades, dadas sus características, solo una parte de las mismas es efectivamente apta para la urbanización (correspondiendo a los abanicos antiguos y terrazas altas). Por otro lado, dentro ellas, las planicies aluviales y terraza inferior son absolutamente inapropiadas para la urbanización y su uso debería ser prohibido totalmente.

La utilización de la Unidad de paisaje Relieve denudacional en rocas con estepa mixta para futura expansión urbana es totalmente desaconsejable a riesgo de producir impactos irreversibles sobre el medio natural así como garantizar la rentabilidad de las inversiones a mediano y largo plazo. La diferencia entre las clases III y IV es que en la segunda y en lo posible, la urbanización debería ser vedada, mientras que en la primera debería restringirse a su menor expresión posible, si bien podría permitirse, previo estudio pormenorizado de impacto ambiental, ciertas construcciones.

La existencia de sectores poco aptos o moderadamente aptos no supone la imposibilidad de su loteo ni de su ocupación, sino que significa que la utilización de los mismos implicará estudios específicos en cada caso. Estos dependerán de las intenciones y objetivos de los propietarios particulares y de la política que al respecto se trace la Municipalidad de Junín de los Andes y la Provincia.

Tabla 4. aptitud para la urbanización de los diferentes Sistemas de paisaje. Referencias: Clases: I Muy apta, II Apta, III Poco apta y IV No apta. A: facilidad/dificultad para construcción de viviendas. B: facilidad/dificultad para construcción infraestructura de servicios. C: facilidad/dificultad para construcción infraestructura vial. D: facilidad/dificultad para construcción de instalaciones comunitarias. E: Compatibilidades con otros usos sugeridos/deseables. De A a D, los valores son de 1 a 4, correspondiendo el 1 a fácil y el 4 muy difícil. E tiene tres valores, C, compatible, MC, medianamente compatible e I, incompatible. MC suma 1 punto más, mientras I es excluyente y pasa a clase IV

	A	B	C	D	E	S	Clase
Terrazas y planicies fluviales con estepa	2	2	3	4	MC+1	12	III
Laterales de valles con estepa y forestaciones	3	3	3	4	MC+1	14	IV
Morenas con estepa arbustiva y mixta	2	2	2	2	C	8	II
Terrazas glacifluviales con estepa herbácea	1	2	1	1	MC+1	6	I
Abanicos aluviales con estepa	1	2	2	1	MC+1	7	II
Relieve denudacional en rocas con estepa mixta	3	3	3	4	MC+1	14	IV

CONCLUSIONES

Considerando las características generales del paisaje, la zona estudiada presenta una gran variabilidad geo y ecoambiental que se plasma en un complejo mosaico de Unidades de paisaje. De la combinación de los diferentes aspectos considerados: relieve, topografía, geología, vegetación, geomorfología, hidrología e hidrogeología, suelos y variabilidad climática han surgido seis Unidades de paisaje, las cuales presentan un aceptable grado de homogeneidad interna. Consecuentemente, las mismas son unidades funcionales, útiles a los fines de su ponderación frente a una futura urbanización y como herramienta de zonificación del ejido municipal y área de expansión urbana futura.

En términos generales, la zona abarcada en este estudio muestra un estado de conservación alterado, habiéndose modificado la estructura y composición de los ambientes, principalmente por la incorporación de la forestación de especies exóticas como lo es el pino. Los suelos de la zona poseen en general una alta vulnerabilidad a procesos erosivos, principalmente en áreas de mayores pendientes y en donde se observa menor cobertura vegetal.

Las zonas de mayor peligrosidad natural corresponden principalmente a las planicies aluviales, abanicos aluviales y cañadones. Por su parte, las zonas de peligrosidad moderada y baja se localizan en las morenas y terrazas glacifluviales. Si se tiene en cuenta la recurrencia, en tiempos geológicos recientes

de la depositación de cenizas, la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos es alta y por lo tanto debe ser tomada en cuenta en el futuro en los planes de defensa civil.

Finalmente se ha analizado la aptitud para la urbanización para las diferentes unidades geoambientales distinguidas en el área sobre la base de la consideración cuali-cuantitativa de una serie de aspectos relevantes. Las unidades de paisaje que presentan las mejores posibilidades para ser utilizadas en un futuro como sectores de expansión urbana son las Terrazas glaci-fluviales con estepa mixta. Respecto a la unidad Terrazas y planicies fluviales, solo una parte de las mismas es efectivamente apta para la urbanización (terrazas altas), mientras que las planicies aluviales son absolutamente inapropiadas para la urbanización. La Unidad Morenas con estepa arbustiva y mixta ocupa sólo una pequeña porción del área estudiada por lo cual no ha sido considerada en la estimación, si bien puede señalarse que se trataría de un ambiente apto para la urbanización. La Unidad de paisaje Laterales de valles con estepa y forestaciones, posee una aptitud aceptable para la urbanización si bien su posible utilización como zona de expansión urbana debería ha-

cerse con algunas limitaciones y precauciones diferentes a los consideradas precedentemente. En primera instancia, debe establecerse que la capacidad de carga de la misma es inferior a las primeras, por lo tanto no puede pensarse en una ocupación densa.

Del análisis de los factores antes señalados, de su ponderación relativa y de su combinación se desprenden una serie de conclusiones. Las mismas pueden ser incorporadas a cualquier plan futuro de desarrollo urbano, con el objetivo de dirigir la expansión urbana de forma tal de que sea compatible con la preservación del medio natural y con la mejora de la calidad de vida de los pobladores. En tal sentido se plantea la necesidad de la adecuación de las normativas vigentes a los resultados, conclusiones y recomendaciones que se desprenden del presente estudio. Asimismo, se considera necesario adaptar las normativas vigentes a la variabilidad eco-ambiental que presenta el ejido en toda su extensión y especificarla cuando sea necesario, especialmente en lo referente al futuro desarrollo de los loteos de la Boca del Huechulafquen y de Quilquihue, ubicados fuera del área abarcada en el presente estudio.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ARROYO, J., 1980.
Clima de la Provincia del Neuquén.
En: Relevamiento y priorización de áreas con posibilidades de riego. Publicación Especial COPADE - CFI, 2, 181 pp. Bue.nos Aires.
- BARROS, V., 1983.
Cartas de precipitación de la zona oeste de las Provincias Río Negro y Neuquén.
Facultad Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Comahue. Argentina.
- CABRERA, A.L., 1994.
Regiones fitogeográficas argentinas.
En: Kugler, W. (Ed.) Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería, 2, 2a Edición, 1a reimposición, 85 pp. Acme. Buenos Aires. Argentina.
- CALDENIUS, K., 1932.
Las glaciaciones cuaternarias de Patagonia y Tierra del Fuego.
Boletín del Servicio Geológico Nacional, 95: 1-150. Buenos Aires.
- CUBERO, C., 2001.
Cuenca del río Chimehuin. Estudio de las Inundaciones en la localidad de Junín de los Andes.
AIC. Informe inédito. Cipoletti.
- CUCCHI, R Y H. LEANZA, 2005.
Hoja Geológica 3972-IV, Junín de los Andes.
SEGEMAR Boletín 327, 102 pp. Buenos Aires.
- FERRER, J.A., J. IRISARRI Y J.M. MENDÍA, 2006.
Suelos de la provincia del Neuquén.
Escala 1:500.000. INTA-CFI-UN del Comahue, 224 pp. Buenos Aires.
- FLINT, R.F. Y F. FIDALGO, 1964.
Geología glacial de la zona de borde entre los paralelos 39° 10' y 41° 20' de latitud sur, en la Cordillera de los Andes.
Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 93. Buenos Aires.
- GÓMEZ OREA, D., 1994.
Ordenación del territorio. Una aproximación desde el medio físico.
Instituto Geom-Minero de España (ITGE), Madrid, 238 páginas.
- GONZÁLEZ FERRÁN, O., 1995.
Volcanes de Chile.
Instituto Geográfico Militar, Santiago de Chile, 641 páginas.
- HUNGR, O., S. EVANS, M. BOVIS Y J. HUTCHINSON, 2001.
A review of the classification of landslides of the flow type.
Environ. & Engineering Geosciences, 7(3):221-238.

- INBAR, M., C. RISSO Y C. PARICA, 1994.
The morphological development of a young lava flow in the Southwestern Andes, Neuquén, Argentina.
Zeitschrift für Geomorphologie, 39 (4): 479- 487. Stuttgart.
- LAYA, H., 1977.
Edafogénesis y paleosuelos de la Formación téfrica Río Pireco. (Holoceno), Neuquén.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 32 (1): 3-23. Buenos Aires.
- MERCER, J., 1976.
Glacial History of Southernmost of Southamerica.
Quaternary Research, 6: 125-166.
- PEREYRA, F., F. HELMS, W. KRUCK, A DZENDOLETAS Y C. LÓPEZ, 2004.
Estudio geocientífico aplicado al ordenamiento territorial de San Carlos de Bariloche.
Publicación conjunta BGR-SEGEMAR. Serie Anales SEGEMAR N°42. 165 páginas. Buenos Aires.
- RABASSA, J. Y G. CLAPPERTON, 1990.
Quaternary glaciations of the Southern Andes.
Quaternary Science Review, 9: 153-174.
- RABASSA, J., E. EVENSON, G. SHLIEDER, J.M CLINCH, G. STEPHENS Y P. ZITLER, 1987.
Edad Pre-Pleistoceno superior de la glaciación El Cóndor, valle del río Malleo, Neuquén. República Argentina.
10º Congreso Geológico Argentino, 3: 261-263. San Miguel de Tucumán.
- RABASSA, J., E. EVERSON, J.M. CLINCH, G. SCHLIEDER, P. ZILTER Y G. STEPHENS, 1990.
Geología del cuaternario del valle del río Malleo, provincia del Neuquén.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 45 (1-2): 55-68. Buenos Aires.
- SÁNCHEZ, R., 1993.
Zonificación ecológica-paisajística de la provincia de Salta.
Consejo Federal de Inversiones. Informe Final inédito, 98 págs., Buenos Aires.
- SÁNCHEZ, R., 2009.
Ordenamiento Territorial. Bases y estrategia metodológica para la Ordenación ecológica de las tierras.
Orientación Gráfica Editora S.R.L., 260 págs., Buenos Aires.
- SMITHSONIAN INSTITUTION, 2013.
Global Volcanism Project, WEBSITE.
- TURNER, J.C.M., 1973.
Descripción geológica de la Hoja 37 a-b, Junín de los Andes, provincia del Neuquén.
Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 138: 1-86. Buenos Aires.
- USDA, 2010.
Claves para la Taxonomía de Suelos.
10a Edición, 339 pp.
- VARNES, D., 1978.
Slope movements types and processes.
Transport Research Board, Special Report 176:11-33. Washington D.C.



Nota Técnica

Caracterización morfológica y granulométrica de algunas arenas de la ciudad de Córdoba

Grain size and morphological characterization of some sands from Cordoba city

Aiassa Martínez, Gonzalo M. ¹ ✉ - Arrúa, Pedro A. ¹ - Eberhardt, Marcelo G. ¹

Recibido: 30 de Julio de 2012 • Aceptado: 25 de Julio de 2013

Resumen

Los estratos de arena son utilizados con frecuencia como mantos de fundación para diferentes tipos de estructuras. En la Ciudad de Córdoba, los limos de origen predominantemente eólico y las arenas aluviales son suelos frecuentes en los perfiles geotécnicos.

El comportamiento de los suelos de granos gruesos, como las arenas, se encuentra influenciado por la morfología y distribución de tamaños de granos, manifestado por la interacción entre las partículas. Este trabajo presenta una caracterización de algunas arenas de la Ciudad de Córdoba. En el análisis se consideraron zonas de gran desarrollo urbano, y se conformaron grupos con características similares, los grupos se denominaron: General Paz, Centro, Colorada y Ayacucho. En laboratorio se efectuaron ensayos granulométricos y clasificación de suelos, junto con un análisis morfológico de partículas por medio de micrografías.

Palabras Claves: *Partícula, Forma, Micrografía.*

Abstract

The sand layers are often used as foundation beds for different types of structures. In Córdoba city, predominantly wind origin silts and alluvial sands are common soils in geotechnical profiles.

The soil behavior, particularly coarse-grained soils like sands, is strongly influenced by the particles morphology and grain sizes distribution, expressed by the interaction between the particles. This paper presents a characterization of some sands from Córdoba City. The analysis considered highly developed urban areas and groups with similar characteristics were formed, the groups were designated: General Paz, Central, Colorada and Ayacucho. In laboratory tests for classification and grain sizes distribution were conducted, together with a morphological analysis of particles by micrographs.

Keywords: *Particle, Shape, Micrographs.*

¹. Departamento de Ingeniería Civil.
Facultad Regional Córdoba. Universidad Tecnológica Nacional

✉ gaiassa@scdt.frc.utn.edu.ar

INTRODUCCIÓN

En la Ciudad de Córdoba los suelos limosos y limo-arenosos de origen eólico (loess) y las arenas aluviales, son suelos frecuentes en los perfiles geotécnicos de los primeros 20 metros de profundidad (Rocca y Quintana Crespo, 1999). El comportamiento a macroescala del suelo resulta de la interacción entre las partículas. La distribución de tamaños y forma de los granos juegan un rol fundamental en la determinación del comportamiento y constituyen un indicador del proceso de formación, transporte y ambiente de deposición. En el análisis de la forma de los granos, en general se establecen dos escalas: la forma global del grano y la característica de la superficie (Mitchell y Soga, 2005; Cho et al., 2006).

En este trabajo se presenta un análisis de tamaños, distribución y morfología de los granos de algunas arenas de la Ciudad de Córdoba. La morfología se analizó por medio de la técnica micrográfica presentada en Uday et al. (2013). Se han considerado zonas de gran desarrollo urbano, y se constituyeron Grupos de suelos con similares características. Los resultados obtenidos aportan una base para el desarrollo de investigaciones orientadas a la interpretación del comportamiento de estos suelos utilizados en diferentes proyectos de ingeniería.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se han considerado cuatro grupos de estudio, el primer Grupo se ha denominado General Paz, abarca gran parte de los Barrios General Paz y Juniors, y se localiza sobre el margen Norte del Río Suquia. El segundo Grupo se denomina Centro y se ubica en el mismo sector sobre el margen Sur del Río, limitando con el Arroyo La Cañada hacia el Oeste, el tercer Grupo es el designado como Colorada, y abarca un sector de Nueva Córdoba y parte de los Barrios Observatorio y Paso de Los Andes. Por último, el cuarto Grupo corresponde al de Ayacucho, y se ubica en el margen Oeste del Arroyo La Cañada, a la altura de Barrio Observatorio (Figura 1).

Los Grupos definidos presentan perfiles geotécnicos característicos y, en general, todos los casos presentan materiales rellenos y suelo limo-arenoso en los primeros 2 a 3 metros de profundidad medidos desde la superficie del terreno. A partir de estas profundidades se detectan los estratos de arenas de donde fueron recolectadas las muestras. Las curvas granulométricas fueron obtenidas por tamizado (Figura 1). La mayor parte del material (>90%) se encuentra contenido dentro de la categoría de arena, con ligera participación de gravas de menor tamaño (<20mm). Todas las arenas consideradas son limpias, ya

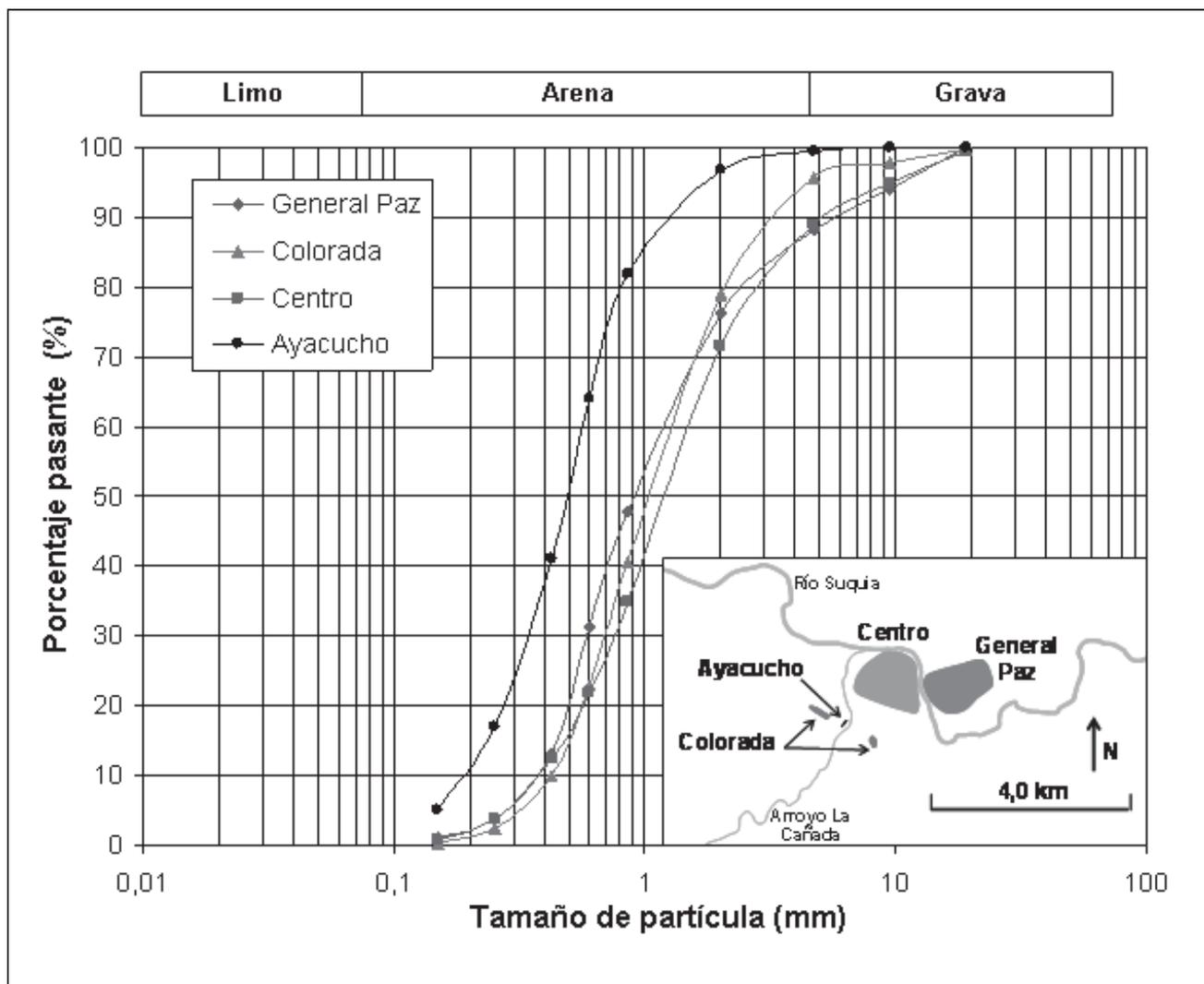


Figura 1. Curvas de distribución granulométrica.

que no evidencias contenidos significativos de limos y/o arcillas. La clasificación corresponde al de arenas mal graduadas y se designan como SP según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) (Lambe y Whitman, 1969). La distribución de tamaños de partículas se analiza con el coeficiente de uniformidad (Cu), y el coeficiente de curvatura (Cc) (Tabla 1). En los Grupos General Paz y Centro se encontraron rodados aislados de mayor tamaño (>75mm) que no fueron incluidos en las muestras.

La morfología de las partículas de los diferentes grupos puede analizarse en la Figura 2 a partir de las micrografías obtenidas mediante microscopio. Visualmente la morfología se describe a partir de la esfericidad (S), la redondez (R), y la regularidad (ξ) (Mitchell y Soga, 2005; Uday et al., 2013). La esfericidad depende del alargamiento, mientras que la redondez depende de las salientes angulares de las partículas. En general, el incremento de la redondez se asocia con reducciones en los valores del ángulo de reposo del material. Los resultados de S y R fueron obtenidos numéricamente por el procedimiento de Uday et al. (2013), a un conjunto de 10 granos aleatorios de cada Grupo. Todos los Grupos presentan características de media a elevada esfericidad, y baja redondez. En general, se observan superficies de partículas rugosas y limpias, con excepción del Grupo Colorada en donde puede apreciarse una película superficial adherida a los granos.

Tabla 1. Características de distribución de tamaño y morfología de partículas.

Grupo	Cu	Cc	USCS	R	S	ξ
General Paz	2,8	0,8	SP	0,40	0,63	0,51
Centro	3,0	1,1	SP	0,46	0,57	0,51
Colorada	2,7	1,1	SP	0,44	0,59	0,51
Ayacucho	2,9	0,9	SP	0,45	0,62	0,53

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un análisis de morfología y tamaño de los granos de algunas arenas de la Ciudad de Córdoba. Se han agrupado zonas con características geotécnicas similares, localizadas en sectores de gran desarrollo urbano. A partir de muestras de arenas representativas de los Grupos se efectuaron ensayos de caracterización granulométrica. Por medio de micrografías se ha podido analizar la morfología y características superficiales de los granos. En general, se han observado granos con media a elevada esfericidad y media a baja redondez. Las superficies de los Grupos General Paz, Centro y Ayacucho se identificaron como limpias y rugosas, mientras que en el Grupo Colorada se identificaron películas superficiales de material.

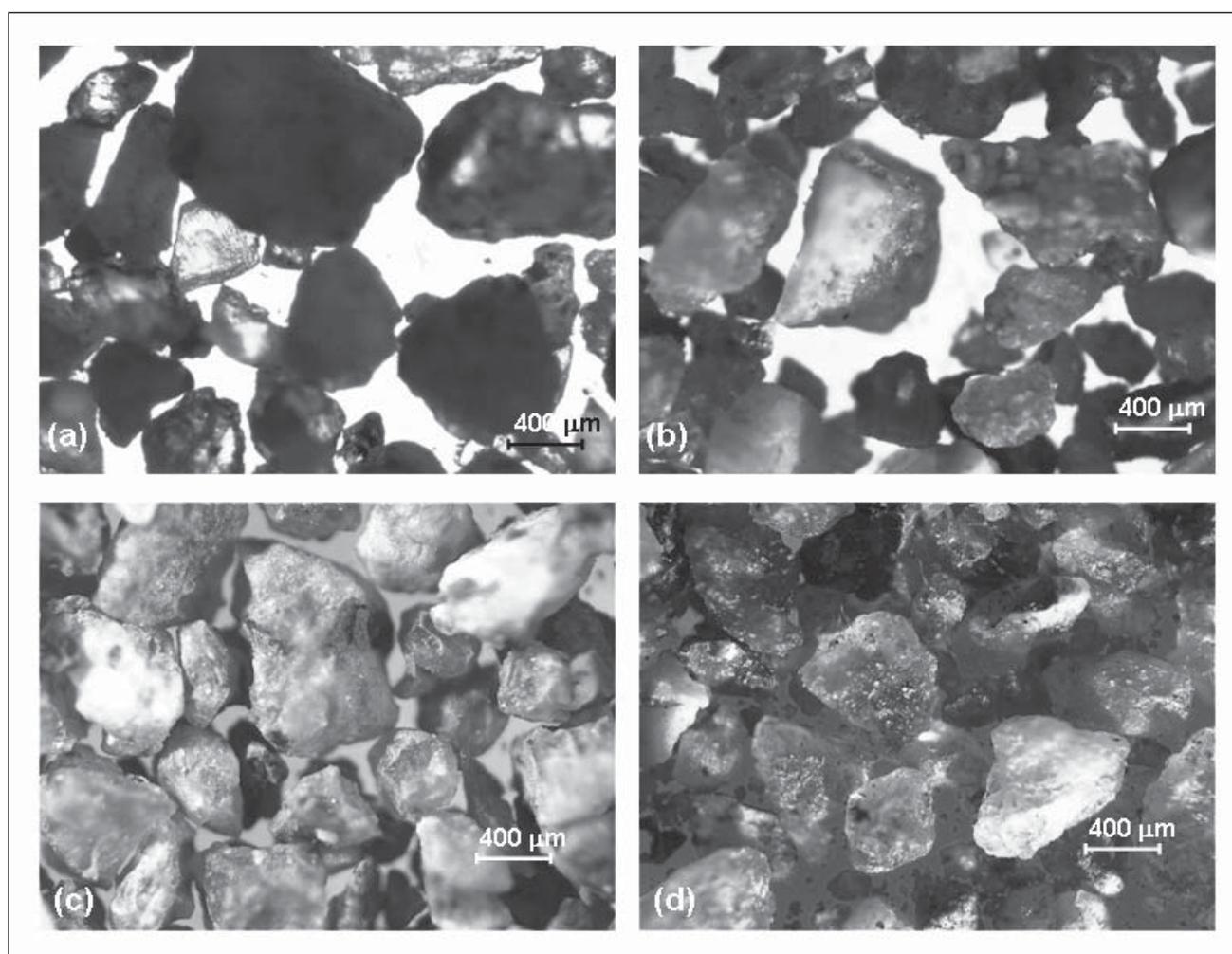


Figura 2. Micrografías de cada uno de los Grupos: (a) General Paz, (b) Centro, (c) Colorada, (d) Ayacucho.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SCyT, y al Dpto. de Ing. Civil, de la FRC, UTN. Al Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, FONCYT, proyecto PICT.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CHO, G., DODDS, J. AND SANTAMARINA, J. 2006.
Particle shape effects on packing density, stiffness and strength - Natural and crushed sands.
Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 132, No. 5, 591-602.
- LAMBE, T.W. AND WHITMAN, R.V., 1969.
Soil Mechanics.
John Wiley & Sons.
- Mitchell, J. and Soga, K., 2005.
Fundamental of soil behavior.
John Wiley & Sons.
- ROCCA, R.J., Y QUINTANA CRESPO, E., 1999.
Zonificación de Córdoba mediante análisis estadístico de perfiles geotécnicos.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. No 13, 137-150.
- UDAY, K.V., PADMAKUMAR, G.P. AND SINGH, D.N., 2013.
Some studies on morphology of the coarse-grained soils.
Engineering Geology. 152, 48-55.

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

La Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente publica: Artículos Originales, Artículos Invitados, Notas Técnicas, Reseñas de Libros, Artículos especiales sobre casos de estudio históricos de interés relevante, Discusiones Técnicas breves de artículos y comunicaciones publicadas en la Revista y Anuncios de eventos.

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

a) De carácter general:

- Las contribuciones deben ser originales.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no ha sido publicado, total o parcialmente, con anterioridad.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no será publicado en otras publicaciones en cualquier idioma sin el consentimiento de los propietarios de los derechos de autor (o copyright), que los derechos de terceros (terceras partes) no serán violados y que el editor no será considerado legalmente responsable si existe algún reclamo de indemnización.
- Se podrán recibir trabajos escritos en español, portugués o inglés.
- El Comité Editorial y la Dirección de la Revista se reservan la posibilidad de invitar a especialistas reconocidos a enviar artículos sobre temas de interés específico

b) Sobre el formato y la extensión del texto, tipos de letra, páginas, párrafos y leyendas:

- La versión original deberá ser editada en Microsoft Word (.doc o .docx).
- En la primera página se deberá incluir el título del artículo, que debe ser conciso, informativo e indicativo del contenido del mismo y escrito sin utilizar abreviaturas. Se debe utilizar letra Times New Roman tamaño 12, mayúscula, negrita y centrado, sin subrayar.

El título se debe expresar en español y en inglés. Si el trabajo está escrito en portugués, también se debe incluir en inglés. Si el trabajo está escrito en inglés, también se debe incluir en español.

- Debajo del título, el texto centrado, en letra Times New Roman tamaño 10, con los datos de los autor/es y afiliaciones. Los nombres de los autores se deben escribir en letra normal, las afiliaciones y direcciones de correo electrónico en letra cursiva. Se deberá identificar con un superíndice al autor que se deba dirigir la correspondencia.
- Desde la segunda página comienza el desarrollo del trabajo. Se debe incorporar, en forma consecutiva, el "Resumen" de hasta 250 palabras; un "Abstract", y opcionalmente se podrá incorporar el "Resumo" en portugués, de hasta 200 palabras y las Palabras Clave en un número entre 3 y 5 y las correspondientes "Keywords" y "Palavras chave" en portugués.
- En el caso que el idioma del trabajo no sea español, la primera sección será el "Abstract", además de un resumen en el idioma en el que está escrito el trabajo. A continuación el resumen en español y tras ello el desarrollo.
- 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 espacio entre párrafos. Se conservarán los destacados que el autor considere convenientes, así como los correspondientes a determinados términos científicos o expresiones latinas o extranjeras. Deberá estar escrito en una sola columna. El tamaño de la hoja es A4 (210 x 297 mm). El área de trabajo será de 170 mm de ancho y 247 mm de altura. Es decir, 20 mm de márgenes derecho e izquierdo y márgenes superior

e inferior de 25 mm. Se debe usar justificación completa.

- La extensión no deberá superar las 20 páginas en el caso de Artículos Originales. En el caso de Artículos Invitados la extensión podrá ser superior, siempre que el interés del contenido lo justifique y previo acuerdo con la Dirección de la Revista y el Comité Editorial. En el caso de las Notas Técnicas la extensión no deberá superar las 3 carillas, y en el resto de las situaciones mencionadas una página. En todos los casos la fuente y los márgenes se conservan.
- Es obligatorio el uso del sistema métrico decimal.
- Cuando una abreviatura, o un acrónimo, aparezca en el texto por primera vez, su significado deberá ser aclarado en forma completa entre paréntesis.
- No se aceptarán notas de pie de página. La información respectiva deberá incorporarse en el texto.
- Las expresiones matemáticas deben ser elaboradas con el procesador de texto y formar parte del mismo. Las ecuaciones deben estar centradas y separadas por una interlínea. Todas las ecuaciones deben estar numeradas consecutivamente, usando numerales en paréntesis alineados al margen derecho. La secuencia de paréntesis deberá ser la usual en Matemática:}}).
- Las fórmulas deben ser digitadas. Deje un espacio amplio alrededor de la fórmula.
- Los subíndices y superíndices deben ser claros.
- Los caracteres especiales y otras letras no latinas deben ser explicados en el margen, donde sean usados por primera vez. Tenga especial cuidado en diferenciar entre cero (0) y la letra "o", y entre uno (1) y la letra "l".
- Proporcione el significado de todos los símbolos inmediatamente después de la ecuación en la que son usados por primera vez.
- Para fracciones simples use el símbolo "/" en lugar de la línea horizontal; por ejemplo: Sy/Xm en lugar de $\frac{Sy}{Xm}$
- En las fórmulas químicas deben especificarse la valencia de los iones como, por ejemplo, Ca^{2+} y CO_3^{2-} , no como Ca^{++} o CO^{-3} .
- Los números de isótopos deben indicarse mediante un superíndice antecediendo a los símbolos químicos, por ejemplo: ^{18}O .
- Donde sea posible se debe evitar la escritura repetida de fórmulas químicas en el texto. En lugar de ello se debe dar el nombre completo del compuesto. Se exceptuarán aquellos casos de nombres muy largos y frecuentes, o de compuestos que son descritos como el producto final de una determinación gravimétrica (ejemplo: fosfato como P_2O_5).

c) Sobre el formato de figuras y tablas:

- Se incluirán como figuras todas las ilustraciones, mapas, fotografías, gráficos, etc., presentes en el texto, que deberán llevar numeración arábiga correlativa por orden de aparición y se ajustarán al tamaño de la caja. Las ilustraciones deben diseñarse teniendo en cuenta el formato de la página de la revista. Su tamaño original debe permitir una reducción del 50%, sin pérdida de claridad. Deben tener una resolución mínima de 300 dpi.
- Se deben evitar los espacios en blanco sobrantes alrededor de la figura, o la presencia de grandes sectores sin información en el interior de la misma.
- Todas las figuras llevarán su correspondiente leyenda, inmediatamente después de la misma, la que no se debe incluir en el cuerpo de la figura. Se usará letra Times New

Roman punto 12, a interlineado sencillo. La figura y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Figura n: donde n es el número de orden que corresponda. Se recomienda que las leyendas sean cortas y concisas.

- Las figuras serán citadas en el texto como (Figura n), siendo n el número de orden que corresponda, sea directamente como Figura 1, por ejemplo, o bien entre paréntesis como (Figura 1). Se deberán limitar, como máximo, a una caja de 15 x 23 cm, debiendo considerar el espacio ocupado por el epígrafe. Se las deberá enviar como archivos individuales en uno de los formatos aceptables (.tif, .jpg, .pdf o .eps). No se aceptan archivos incluidos en documentos de otros formatos, como Word o PowerPoint, por ejemplo. En el caso de una figura compuesta por varias imágenes las mismas deberán estar debidamente identificadas con una letra en la esquina inferior derecha de la misma.
- Las fotografías (y figuras en formato raster con tono continuo) deben ser pancromáticas, contrastadas, claras y con una luz adecuada, ni demasiado clara ni oscura. Deben ser enviadas como archivos .tif, .jpg, .pdf o .eps. No se aceptarán fotografías en color. Las fotografías en color serán reproducidas en escala de grises, salvo que él o los autores del trabajo se hagan cargo de la diferencia de costos.
Deberán incluir escala, vertical y horizontal en caso de ser distintas, cuando no existan elementos en la misma que permitan su dimensionamiento (escala, cinta métrica, martillo geológico, brújula, vehículo, etc.).
- Las figuras delineadas o dibujos deben ser contrastados y claros.
- Las figuras de tipo mapa deben estar orientadas, incluir escala gráfica e indicación de la localización geográfica (trazas UTM o Lat/Long). Deberán tener referencias adecuadas a los símbolos, rastras, etc. utilizados. No se aceptarán mapas en color. Los mapas en color serán reproducidos en escala de grises, salvo que él o los autores del trabajo se hagan cargo de la diferencia de costos.
- Se debe utilizar la misma tipografía en todas las ilustraciones.
- Los gráficos deben poseer ejes de coordenadas correctamente rotulados y con indicación de la unidad de medida correspondiente, en el caso que corresponda.
- Las tablas deben ser remitidas en páginas separadas, indicando su ubicación dentro del texto. Se deben remitir como archivo de texto y no como imagen.
- Las Tablas serán citadas en el texto iniciando con mayúscula en citas directas, o indirectas entre paréntesis. Es decir como Tabla 1, o bien (Tabla 1).
- La información presentada en las tablas no debe aparecer repetida en las figuras.
- Cada tabla debe llevar, del mismo modo que las figuras, una leyenda breve y explicativa, en la parte inferior. Se usará letra Times New Roman punto 12, a interlineado sencillo. La tabla y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Tabla n: donde n es el número de orden que corresponda.

d) Sobre las referencias bibliográficas y las citas de trabajos de otros autores

- No se admite la reproducción de figuras o tablas originales de otros artículos o capítulos de libros si no se dispone de la autorización expresa de quién detente los derechos, es decir de la editorial responsable de la publicación correspondiente o bien del autor o los autores. La reproducción autorizada de tablas, fotografías u otras ilustraciones procedentes de otros trabajos deberá incorporar en el epígrafe la cita del trabajo original de donde fue obtenido. Con respecto a las figuras, en el caso que la misma se reelabore, o de una tabla, que sea editada, se deberá indicar “modificada a partir de ...” seguido de la cita del artículo original.
- A los autores que deseen incluir figuras tablas o secciones completas de texto que ya han sido publicados en otras publicaciones, se les requiere obtener el permiso del/de los propietario/s del copyright y que incluyan evidencias que dicho permiso ha sido concedido al presentar sus artículos. Todo ello sin perjuicio que otras inclusiones de párrafos, definiciones, conceptos o clasificaciones provenientes de otros autores puedan ser aceptadas con la cita expresa de la referencia correspondiente. Cualquier material recibido sin esa documentación será considerado como originado por los autores, quienes, por lo tanto, deberán asumir la responsabilidad legal correspondiente.
- Las referencias bibliográficas serán incluidas bajo el título de TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO. Las mismas deberán estar ordenadas alfabéticamente.
- La cita de trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores (en mayúsculas) y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: (Caminos, 1975). En caso de ser más de dos autores se usará et al. (en itálica, sin subrayado ni negrita). Cuando se cite más de un trabajo del mismo autor se separarán por una coma, por ejemplo: Caminos (1956, 1978). En el caso de ubicar varios autores dentro del paréntesis se separarán entre ellos por un punto y coma. Si se citan varios trabajos del mismo autor y del mismo año se agregarán, a continuación del año, letras, de acuerdo al orden de aparición en el texto.
- Las citas bibliográficas estarán justificadas a la izquierda y la segunda línea tendrá una sangría especial francesa de 15 puntos ó 0,75 cm.
- Los artículos en publicaciones periódicas se citarán empleando texto en cursiva sea para el título de la revista o actas de congreso o reunión científica, en el caso de artículos o el título del libro, en el caso de textos:
CARRANZA TORRES, C.M., 1991. Cálculo analítico de redes de filtración. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Vol. VI: 250-267.
- Los artículos en textos:
MATEOS RUIZ, R.M. y M. FERRER GIJÓN, 1994. Methodology for landslides hazard map 1:10,000 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, Vol III: 2059-2064, Rotterdam.
- Los libros de textos:
DEARMAN, W.R., 1991. Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann Ltd, 387 pp. Oxford.
- En el caso de citar un párrafo o frase de otro trabajo, éste deberá aparecer entre comillas y cursiva, acompañada de la correspondiente cita. Por ejemplo,..... según Casio et al., (1980), “la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma”... o bien directamente “la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma” (Casio et al., 1980).
- Las citas correspondientes incluirán a la totalidad de los autores. Ejemplo para Casio et al., (1980):
CASIO, M.; MARCINUS, F; SALINA, R y HUBBARD, R.T., 1980. La caída del imperio romano. Revista de Occidente, Vol 180: 224-234.
- Las citas correspondientes de páginas Web se efectuarán de acuerdo al siguiente modelo: Barker, A and C Jones 2007.

Reassessing the direction of postgraduate environmental assessment education: the Manchester experience 1996–present. En *Environmental Assessment Lecturer's Handbook*, ed. T B Fischer et al., pp. 29-38. Disponible en <<http://www.penta-eu.net>>, ultimo acceso 28 de Junio de 2010.

e) Notas Técnicas

- Es un artículo original que describe un proceso o técnica sin incluir, necesariamente, una exposición teórica y datos. También puede referirse a un estudio de caso, el que por lo novedoso de los datos que se obtienen o de las técnicas utilizadas, el/los autor/es consideran de interés su difusión. La extensión total del manuscrito, que no debe superar las

3 (tres) páginas y ajustarse a los parámetros mencionados en el punto b, incluye Resumen, Abstract, palabras clave, keywords, hasta 2 (dos) figuras y una tabla acorde a lo establecido en el punto c. Las referencias bibliográficas deberán respetar lo establecido en el punto d.

f) Arbitraje

- La evaluación por pares es efectuada mediante el envío del original a dos evaluadores. En el caso de disparidad de opiniones, se remite a un tercer evaluador.
- Los Editores se reservan la posibilidad de tomar la decisión final en el caso que la tercera evaluación no establezca si el artículo debe ser aceptado, o no, para su publicación.

**Revista de Geología
Aplicada a la Ingeniería
y al Ambiente**

FORMULARIO DE SUSCRIPCIÓN O COMPRA

ENVIAR A:

Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería
Maipú 645 - Piso 1° - C1006ACG
Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

(Una vez completado el formulario envíelo a la dirección antes mencionada)

1. Suscripción a la *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, por el corriente año (marcar la siguiente casilla) []

2. Deseo adquirir los números *atrasados*:

_____ []

3. Deseo comprar los artículos:

_____ []

Indique si desea recibir su pedido en formato *papel* (por correo tradicional), o en formato *electrónico en fichero pdf* (por correo electrónico):

FORMA DE PAGO

Adjuntando cheque a nombre de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería.

Mediante depósito en la Cuenta Corriente N° 20566/5 Sucursal 115 del Banco Santander Río

Mediante transferencia bancaria a la Cuenta Corriente. CUIT: 30 - 67660597- 1.

CBU 0720 11542 000000 2056654

Solicitud de *factura* para pago mediante transferencia.

PRECIO DE COMPRA (Desde 01-06-2013):

Para Argentina: Gastos de envío incluidos.

- Compra de número vigente: **320** Pesos
- Compra de número atrasado: **280** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **135** Pesos por artículo

Para el exterior: Gastos de envío no incluidos.

- Compra de número vigente: **58** Dólares
- Compra de número atrasado: **50** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **30** Dólares por artículo

PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 01-03-2013):

Para Argentina: Gastos de envío incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **320** Pesos, en formato electrónico, y **430** Pesos en edición papel
- Suscripción Instituciones: **1280 / 1720** Pesos
- Compra de número atrasado: **280** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **135** Pesos por artículo

Para el exterior: Gastos de envío no incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **58/78** Dólares, según se trate de edición electrónica o impresa
- Suscripción Instituciones: **232/312** Dólares
- Compra de número atrasado: **50** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **50** Dólares por artículo

Envíos fuera de Argentina: se añadirán gastos de envío a los precios anteriormente señalados. Ver tarifas de correos en: www.correoargentino.com.ar

Quienes quieran asociarse a la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería encontrarán información a tal efecto en www.asagai.org.ar

Los Socios de ASAGAI reciben sin cargo alguno la revista.

Copyright
© Editorial ASAGAI. 2013
Printed in Argentina

Se terminó de imprimir en Diciembre de 2013