

Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina



Número 36 · Julio 2016

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la "Tambería de Guandacol" (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios

Martinez, Amancay - Sales, Daniel A.

Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte

Romero, Paula Elisa - González, Marcela Hebe

Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires

Schomwandt, David - Lucioni, Nora - Andrade, María Isabel

Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos

Galiano, Valdir Aparecido - Lorandi, Reinaldo - de Lollo, José Augusto

Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)

Pizzolon, Lino - Omad, Guillermo - Weidl, Mariana - Claverie, Horacio

Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta

Gonzalez, M. A. - Chayle, W.

Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)

Avila, Laura Sonia del C.

Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón

Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina

Reseña de Libros. Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas

Sarra Pistone, Raúl

Portada: Playa del Camping Americano en Monte Hermoso. Provincia de Buenos Aires. Fotografía Jorge Caló, Ricardo Caputo, Claudina Di Martino y Angel Marcos.

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



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



Córdoba - Argentina

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Publicación Oficial de



Número 36 • 2016

ISSN 2422-5703 (En línea)

ISSN 1851-7838 (Impresa)

Maipú 645, Piso 1° - C1006ACG
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
editor@editoresasagai.org.ar
www.editoresasagai.org.ar
www.asagai.org.ar
Tel/Fax (011)4322-2820



REVISTA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA Y AL AMBIENTE

EDITOR JEFE

MSc Geólogo Norberto Jorge Bejerman
Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba
Argentina
editor@editoresasagai.org.ar

EDITOR ASOCIADO

Dr. Clemente Irigaray Fernández
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Granada
España
clemente@ugr.es

COMITÉ EDITORIAL

Prof. Dr. Helder Iglésias Chaminé
Departamento de Engenharia Geotécnica
Politécnico do Porto
Portugal
hic@isep.ipp.pt

Prof. Dr. Luis I. Gonzalez de Vallejo
Departamento de Geodinámica
Universidad Complutense de Madrid
España
vallejo@geo.ucm.es

Dr. Julio Luis del Río
Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario
Universidad Nacional de Mar del Plata
Argentina
julioluisdelrio@gmail.com

Dra. Ofelia Tujchneider
Departamento de Hidrología y Ambiente
Universidad Nacional de El Litoral. Santa Fe
Argentina
pichy@fich1.unl.edu.ar

Lic. Luis Mario Giaconi
Cátedra de Geología Aplicada (FCNyM)
Universidad Nacional de La Plata
Argentina
lmgiaconi@gmail.com

SECRETARIA

Lic. María Paula Bunicontro
IGEBA (CONICET-UBA)
Argentina
paulabunicontro@hotmail.com

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Encargada de Diseño *Paula Paredes*
paulaparedes13@hotmail.com

Webmaster *Guillermo Saint*
saintdisegno@arnet.com.ar

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

COMISIÓN DIRECTIVA 2014 - 2018

PRESIDENTE	<i>Norberto Jorge Bejerman</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Fabio Sergio Luna</i>
SECRETARIA	<i>Cristina Dapeña</i>
TESORERO	<i>Luis Mario Giaconi</i>
VOCAL TITULAR	<i>Mabel Mena</i>
VOCAL TITULAR	<i>Rubén A. López</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Martín Eduardo Guichón</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>María Beatriz Ponce</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>Alejandro Emmanuel Celli</i>
REVISOR DE CUENTAS SUPLENTE	<i>José Gabriel Salminci</i>

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

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la "Tambería de Guandacol" (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios	<i>Martinez, Amancay - Sales, Daniel</i>	1
Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte	<i>Romero, Paula Elisa - González, Marcela Hebe</i>	7
Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires	<i>Schomwandt, David - Lucioni, Nora - Andrade, María Isabel</i>	15
Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos	<i>Galiano, Valdir Aparecido - Lorandi, Reinaldo - de Lollo, José Augusto</i>	29
Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)	<i>Pizzolon, Lino - Omad, Guillermo - Weidl, Mariana - Claverie, Horacio</i>	41
Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta	<i>Gonzalez, M. A. - Chayle, W.</i>	55
Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)	<i>Avila, Laura Sonia del C.</i>	63
Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón	<i>Priano, Carla - Señas, Lilia - Moro, Juan - Marfil, Silvina</i>	77
Reseña de Libros. Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas	<i>Sarra Pistone, Raúl</i>	87
Instrucciones para autores		93
Formulario de suscripción o compra		97

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 deberán contactarse con la Editorial (editor@editoresasagai.org.ar).

En la página 97 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 should be in contact with the Editor (editor@editoresasagai.org.ar).

In page 97 an application form to be fulfilled and sent to the Editor is available.



Análisis geotécnico sobre muestras de arcillas provenientes de los alrededores de la “Tambería de Guandacol” (prov. La Rioja), como posible fuente de aprovisionamiento de arcillas en la producción cerámica de los pueblos originarios

Geotechnical analysis on clay samples from around the “Tamberia Guandacol” (prov. La Rioja) as a possible source of supply clay ceramic production of native peoples

Martinez, Amancay ¹ ✉ - Sales, Daniel A. ¹

Recibido: 19 de mayo de 2015 • Aceptado: 4 de marzo de 2016

Resumen

En este trabajo se analizan sedimentos provenientes de las unidades mesozoicas y cenozoicas en cercanías de la localidad de Guandacol, mediante los ensayos de consistencia de Atterberg, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS), con la posibilidad de encontrar la fuente de aporte de la materia prima utilizada en la confección de cerámicas de las culturas originarias correspondiente a los alrededores de la Tambería de Guandacol, en la provincia de La Rioja. La información obtenida por estos métodos, estaría sugiriendo que un amplio grupo de recipientes cerámicos, tendrían una producción local o micro-regional, unos 15 km a la redonda del sitio estudiado, lo que podría vincularse su fuente de aprovisionamiento, a los sedimentos alojados en los estratos mesozoicos del Grupo Agua de la Peña, que presentan en su material fino, arcillas inorgánicas de baja plasticidad del tipo CL según la Clasificación Unificada de Suelos (S.U.C.S.), y que corresponderían a arcillas de la clase illita según los ensayos realizados.

Palabras claves: *Fragmentos cerámicas - Sedimentos - Culturas originarias.*

Abstract

In this paper, sediments from the Mesozoic and Cenozoic units are analyzed in near the town of Guandacol by the Atterberg consistency tests, X-ray diffraction and scanning electron microscopy (MEB-EDS) as a possible source of supply of the raw material used in the manufacture of ceramics of indigenous cultures, around the Tambería Guandacol in the province of La Rioja. The information obtained by these methods, would suggest that a large group of ceramic vessels, have a local or micro-regional production, about 15 km radius of the site studied, which could be linked to their source of supply, the sediment-hosted Mesozoic strata Water Group Peña, having in the fine material, inorganic clays of low plasticity CL type according to the Unified Soil Classification (USCS), corresponding to class illite clays as shown by tests.

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

✉ amartinez@unsl.edu.ar

Keywords: *Ceramics fragments - Sediment - Native Cultures.*

INTRODUCCIÓN

En la localidad de Guandacol, provincia de La Rioja (29°32' Lat. S y 68°33'54" Long. O), se encuentra el sitio arqueológico conocido como la Tambería de Guandacol (Figura 1a), área de ocupación de distintas manifestaciones arqueológicas, correspondiente a los Estilos Tecnológicos Sanagasta/Angualasto, Inca Local o Provincial, Diaguita Chileno Inca y Aguada; representados mediante fragmentos cerámicos pertenecientes al Periodo de Desarrollos Regionales (ca. 1200-1470 AD) y al de Dominio Incaico Regional (ca. 1470-1533 AD) (Bárcena 2010, Bárcena et al. 2010). En este trabajo se analizó material arcilloso que podría ser utilizado por los pueblos originarios para la confección de recipientes cerámicos provenientes

del estilo tecnológico de Sanagasta/Angualasto e Inca Local (Figuras 1b y 1c, respectivamente).

Se analizaron 10 muestras de sedimentos del Grupo Agua de la Peña (zanjón de La Viuda), recolectadas al Este de la Tambería y que corresponden a estratos de edad mesozoica, y sedimentos de la Fm. El Corral de edad neógena en el ámbito de la Precordillera ubicados al Oeste del sector arqueológico (Figura 2a).

Para la localización en el terreno de la distribución de las fuentes de materiales terrígenos se recopiló información geológica procedente de los estudios de Ramos (1999) y Caselli y Limarino (2002), que daban cuenta de un número importante

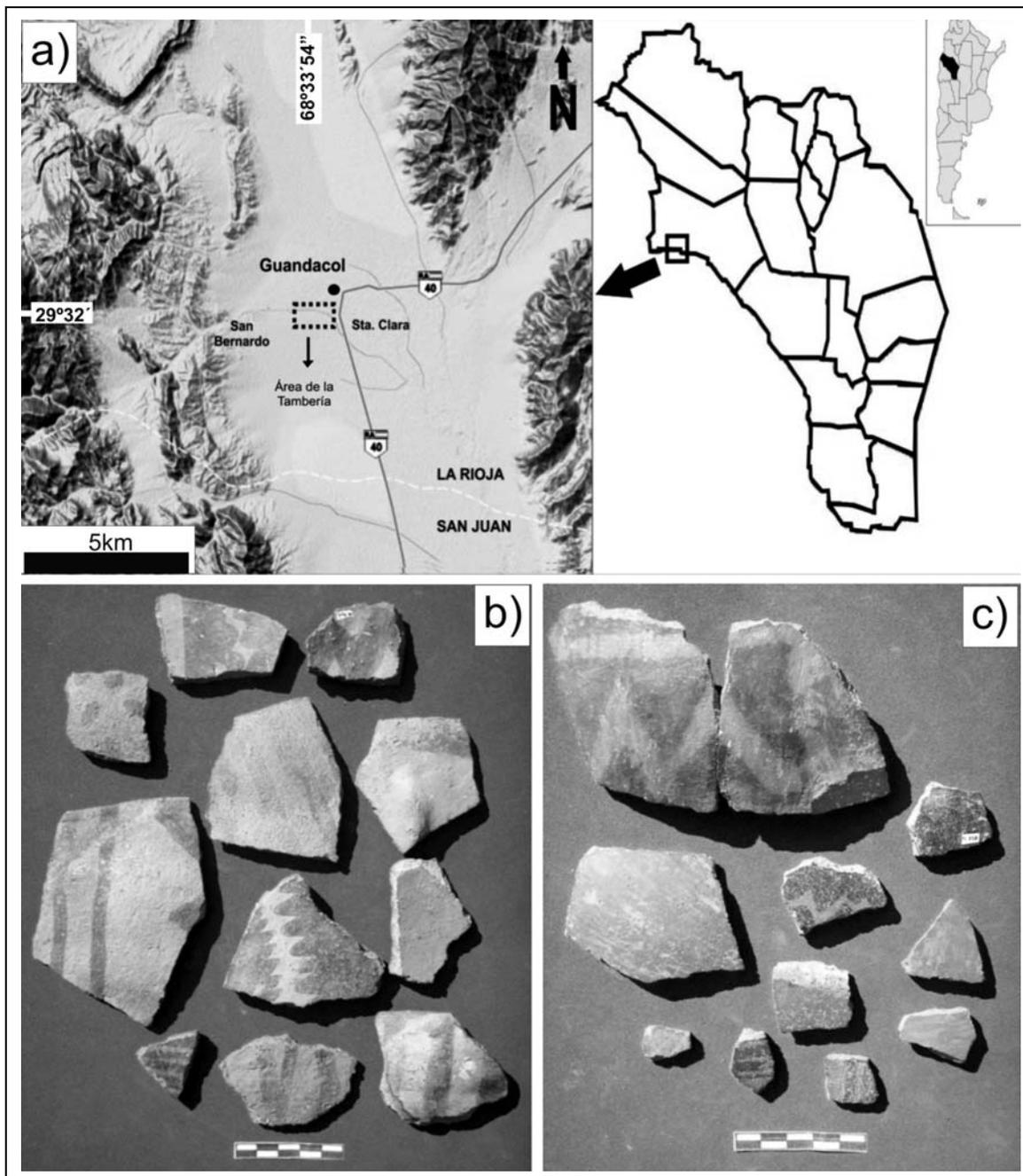


Figura 1. a) Mapa de ubicación del área de estudio; b) Fragmentos cerámicos de la cultura Sanagasta/Angualasto; c) Fragmentos cerámicos de la cultura Inca Local o Provincial.

de fuentes de arcillas distribuidas en la región. Para la toma de muestras, ante el difícil acceso a los afloramientos por la topografía del terreno y la cobertura vegetal, se consultó a los pobladores de la localidad de Guandacol, sobre sitios actualmente explotados como fuente de arcillas. Algunos de estos depósitos son utilizados hoy en día como material de relleno en superficies de canchas de tenis para su alisado final. En la Figura 2a, ilustra la ubicación de los sectores de muestreo, mientras que

en la Figuras 2b y 2c, se aprecia el aspecto general de algunos de los depósitos muestreados. Los sitios analizados fueron agrupados en tres zonas (Tabla 1), correspondientes al ámbito de Sierras Pampeanas y Precordillera, incluyendo los depósitos cuaternarios, que se encuentran a 10-11 km, 6-8 km y 1 km respectivamente, de la Tambería de Guandacol.

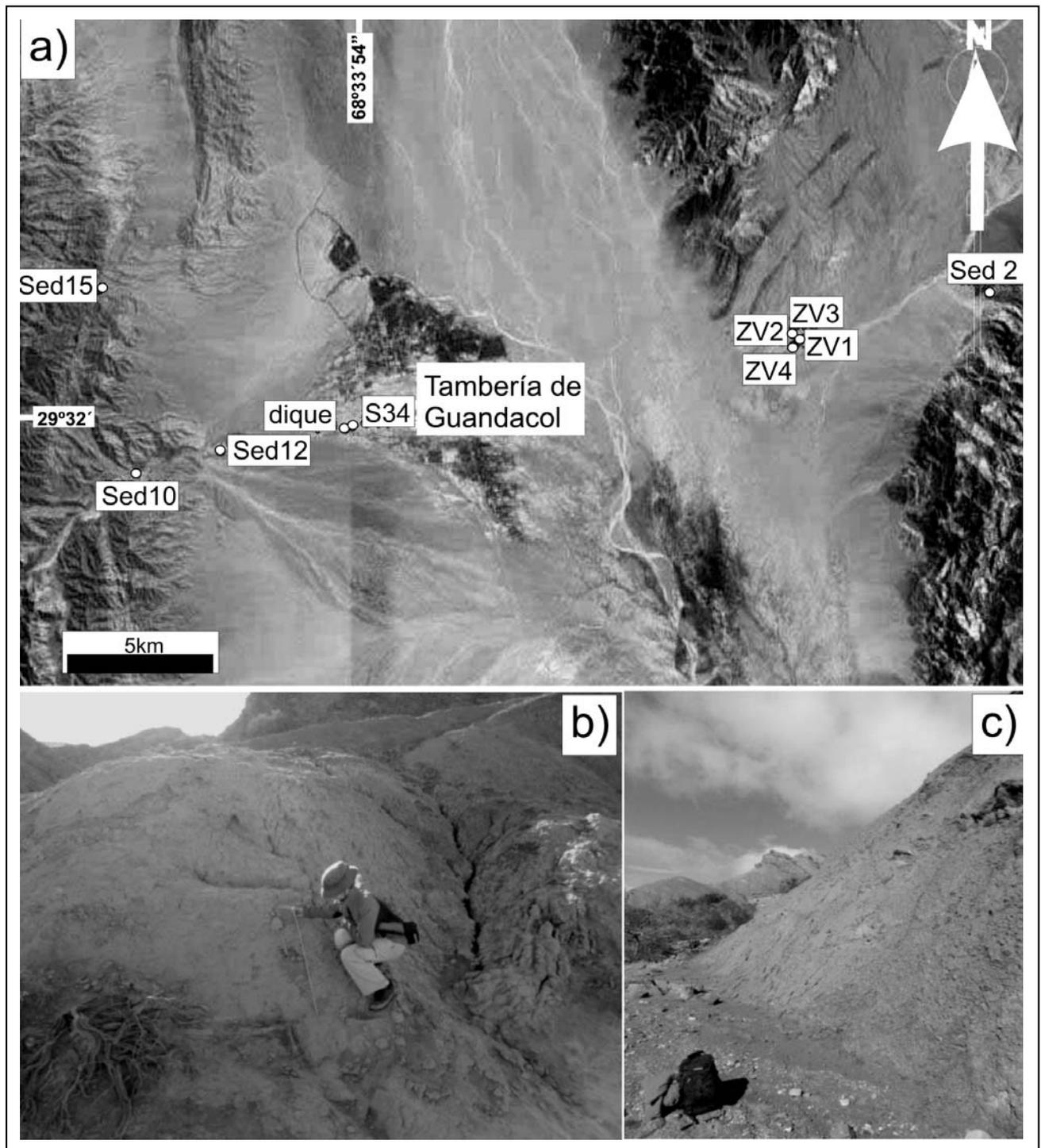


Figura 2. a) Mapa de ubicación de los sitios muestreados; b) Aspecto general de los afloramientos triásicos, c) Vista de las bancas arcillosos.

Tabla 1. Descripción del ámbito y formación geológica de las muestras obtenidas, y síntesis de sus características sedimentarias.

ÁMBITO	FORMACIÓN GEOLÓGICA	UBICACIÓN	MUESTRA N°	TIPO DE AFLORAMIENTOS
Sierras Pampeanas	Gr. Agua de la Peña (Triásico)	Zanjón de la Viuda y Sierra Morada	ZV1, ZV2, ZV3, ZV4	Bancos limo-arcillosos de 1 km ² aprox., semicompactos
	Fm. Talampaya (Triásico)		Sed 2	Bancos limo-arcillosos (50 m ² aprox.), semicompactos
Precordillera	Fm El Corral (Neógeno)	Cordón de Guandacol (San Bernardo)	Sed 15	Bancos limo-arcillosos de 1,5 km ² aprox.
			Sed 10	bancos arenoso-arcillosos de alrededor de 10 m ²
			Sed 12	bancos limo-arcillosos de 20 m ²
	Depósitos recientes cuaternarios	Área proximal a Tambería de Guandacol	Dique	bancos arenoso-arcillosos de alrededor de 3 m ²
	(Sector de Piedemonte)		S 34	banco arcilloso de alrededor de 5 m ²

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Los ensayos geotécnicos realizados involucran la determinación de los límites de Atterberg de los sedimentos recolectados en los alrededores de la localidad de Guandacol, como posibles fuentes de aprovisionamiento de materia prima, por lo que se analizaron la fracción pasante del tamiz N° 40 (425 µm). En primer lugar, se determinaron los porcentajes de humedad para los estados de consistencia de los sedimentos, a través de los límites líquido y plástico, con el fin de caracterizar el suelo según su índice de plasticidad, resultante de la diferencia entre los porcentajes de humedad del límite líquido respecto al límite plástico, con el objeto de determinar si en los sedimentos finos hay presencia de arcillas.

Los sedimentos analizados provienen de unidades mesozoicas como cenozoicas aflorantes en el área de estudio y que son sintetizados en la Tabla 1, que posibilitaría su uso a la industria cerámica artesanal de la región.

Para ello se realizaron los estudios para obtener el índice de plasticidad (Ip) de las muestras provenientes de diferentes zonas de aportes de estos materiales, previamente tamizados y que corresponden a muestras mesozoicas al Este del sitio de la Tambería de Guandacol, tomadas del Grupo Agua de la Peña (Zanjón de la Viuda) (muestras ZV1, ZV2, ZV3, ZV4, SED2), en cercanías al cerro Morado, Ischigualasto (Prov. de La Rioja) (Tabla 2). Mientras que las muestras obtenidas al Oeste del sitio de la Tambería, corresponden a las unidades cenozoicas de la Fm El Corral del Neógeno (SED10, SED12, SED15, dique y S34), en el ámbito de Precordillera (Tabla 1).

Según la tabla 2, las muestras que presentaron plasticidad, fueron la ZV1 y SED 2 (Grupo Agua de la Peña) y Dique (Cuaternario), con Ip entre 2,7 y 6,75 para las dos primeras, mientras que para la muestra Dique, se determinó un Ip= 0,49. Las muestras con arcillas se encuentran representadas en la Figura 3.

En los ensayos realizados, se observó correspondencia entre aquellas muestras donde se comprobó la presencia de arcillas en el ensayo de laboratorio a través de los límites de Atterberg, y los estudios efectuados por *Martinez et al. (2014)*, que permitieron determinar el tipo de arcilla mediante difracción de

rayos X. Los picos de las muestras analizadas ZV1 y SED 2, se corresponden entonces con la estructura de la illita perteneciente al grupo de las micas y del cuarzo (Figuras 4a, b). Por otro lado, en los diagramas de rayos X, se reconoce el pico a los 9° característico para las muestras que presentan illita en su composición.

A través de la aplicación de la técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) para las muestras tamaño arcilla, se identificaron las energías correspondientes a los elementos de Si y Al de gran intensidad y los de Fe, Mg, Na y K de menor energía. Las imágenes SEM (Figuras 4c, d) muestran un aspecto laminar y hojoso, dado por tener una dirección dominante de clivaje, característica del grupo de los filosilicatos. También se efectuaron análisis para los fragmentos cerámicos y se reconocieron los mismos elementos, por lo que se supone que podrían ubicarse dentro de la estructura de la illita dentro de las pastas de dichos fragmentos arqueológicos (*Martinez et al. 2014*).

Tabla 2. Valores obtenidos en la determinación del índice de plasticidad a partir de los límites de Atterberg, de las muestras mesozoicas y cenozoicas.

MUESTRA N°	L. LÍQUIDO (%)	L. PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
ZV1	2821,25	6,75	
ZV2	20,1	S/P	S/P
ZV3	17,9	S/P	S/P
ZV4	19,8	S/P	S/P
S34	24,1	S/P	S/P
SED 2	24,3	21,6	2,7
SED 10	19,2	S/P	S/P
SED 12	25,1	S/P	S/P
SED 15	35,5	S/P	S/P
DIQUE	2928,51	0,49	

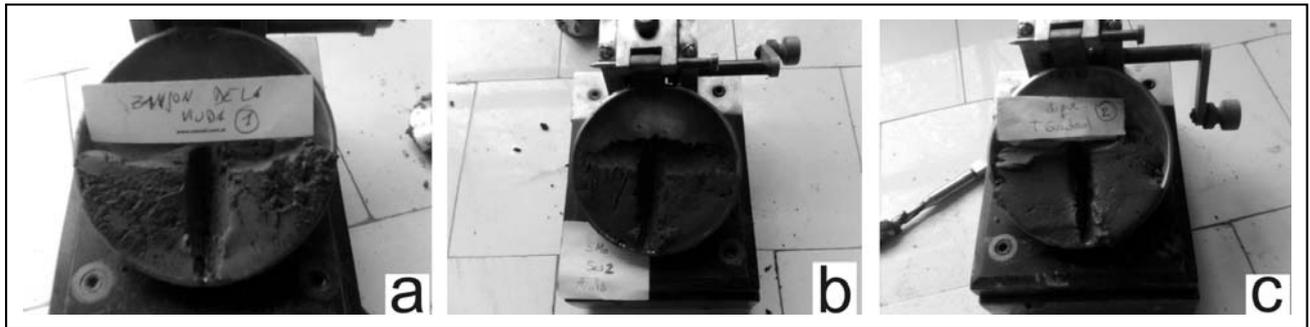


Figura 3. Determinación del límite líquido a través del cascador de Casagrande: a-b) Muestras ZV1 y SED 2 de los sedimentos mesozoicos del Grupo Agua de la Peña, c) Muestra Dique de los sedimentos cuaternarios, en el piedemonte de la localidad de Guandacol.

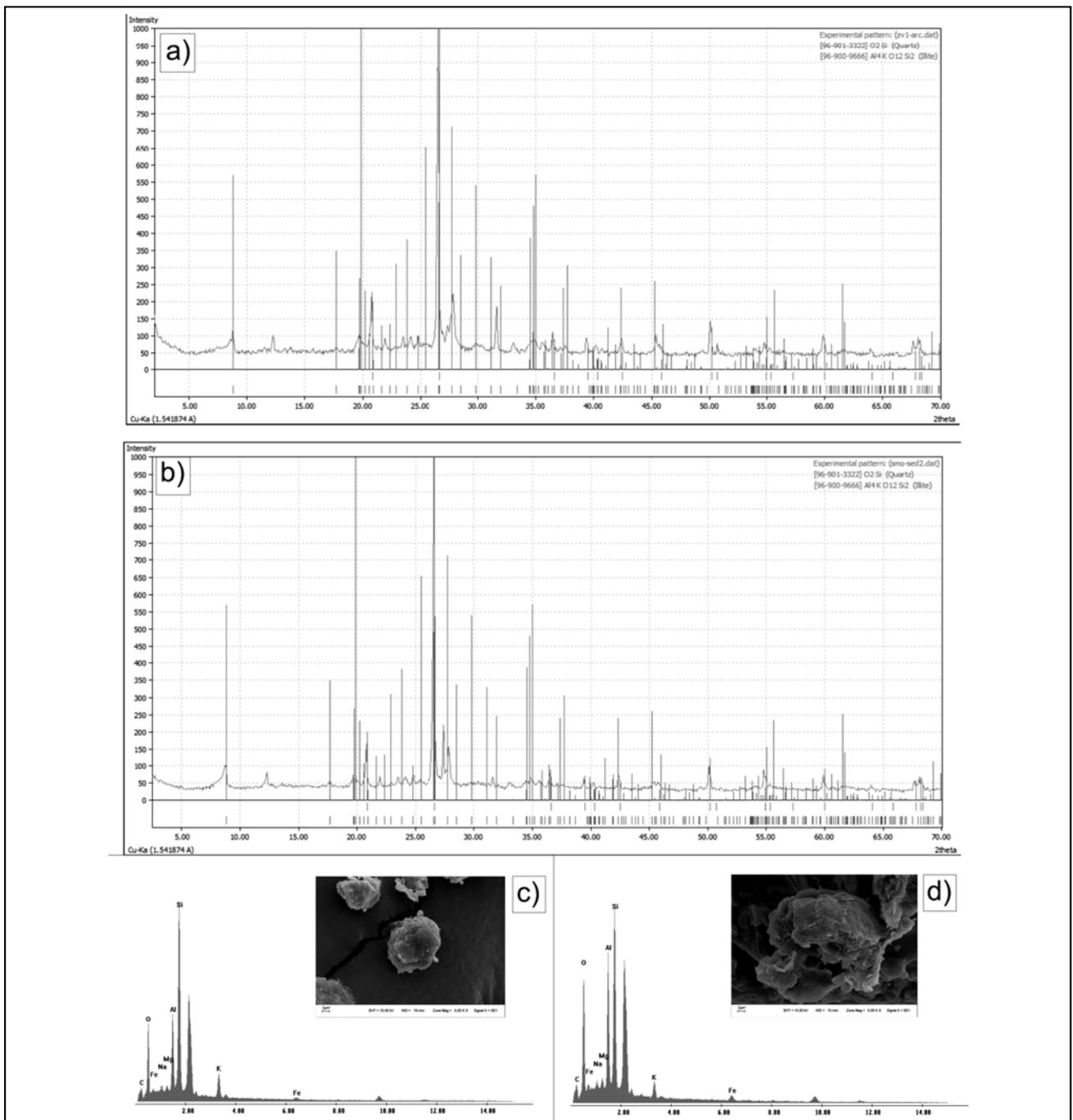


Figura 4. a-b) Diagramas de difracción de rayos X interpretados correspondientes con la estructura de la illita y cuarzo: a) muestra ZV1, b) muestra SED 2, c-d) espectrometría de energía dispersiva (EDS) y microfotografía SEM: c) muestra ZV1, d) muestra SED 2.

INTERPRETACIÓN

Se podría vincular como fuente de aprovisionamiento, los sedimentos alojados al Este del sitio la Tambería de Guandacol, donde los estratos mesozoicos presentan en su material fino, arcillas del tipo CL según la Clasificación Unificada de Suelos (S.U.C.S.), y que corresponden a arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, que podrían haber sido utilizado durante la confección del material cerámico. La distancia de estos sectores respecto al sitio arqueológico varía entre 9 y 15 km. En cambio, los sedimentos obtenidos en la zona del Dique, tam-

bién presentaron índice de plasticidad muy bajo, cuya parte fina de estos estratos, se caracterizan por presentar según S.U.C.S., suelos del tipo ML y que corresponde a limos inorgánicos, arenas muy finas, arenas finas limosas o arcillosas. Aunque la plasticidad de este material es muy baja, se encuentran los afloramientos a menos de 2,5 km desde la Tambería de Guandacol. Por lo tanto, los resultados de los ensayos realizados, estarían sugiriendo que un amplio grupo de recipientes cerámicos, tendrían una producción local o micro-regional, unos 15 km a la redonda del sitio estudiado.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BÁRCENA, J. R., 2010.

Investigaciones arqueológicas en la "Tambería de Guandacol" (departamento Felipe Varela, provincia de La Rioja). *4º Jornadas Arqueológicas Cuyanas, Xama Series Monográficas 2: 121-181. INCIHUSA-CONICET. Mendoza.*

BÁRCENA, J.R.; CAROSIO Y S. E INIESTA, L. 2010.

La Tambería de Guandacol y el registro arqueológico de vestigios de las poblaciones locales del período de desarrollo regionales y de dominación inka. Síntesis de los análisis e interpretación de la arquitectura y cerámica. *En J. R. Bárcena y H. Chiavazza (Edit.): Arqueología Argentina en el Bicentenario de la Revolución de Mayo. 17º Congreso Nacional de Arqueología Argentina: 1649-1654. Mendoza.*

CASELLI, A. Y O. LIMARINO, 2002.

Sedimentología y evolución paleoambiental de la Formación Patuía (Pérmico) en el extremo sur de la sierra de Maz y cerro Bola, provincia de La Rioja, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57 (4): 415-436. Buenos Aires.*

MARTINEZ, A., M. MERLO, S. CAROSIO Y E. CRESPO, 2014.

Comparación mediante microscopía electrónica y difracción de rayos x sobre fragmentos cerámicos y sus posibles fuentes de aprovisionamiento de arcillas, caso La Tambería de Guandacol, La Rioja. *10º encuentro internacional. E ICES 10. Buenos Aires.*

RAMOS, V. 1999.

Las provincias geológicas del territorio argentino. *En Caminos, R. (ed.) Geología Argentina, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 41- 96. Buenos Aires.*



Relación entre caudales y precipitación en algunas cuencas de la Patagonia norte

Relationship between flow and precipitation in some basins of northern Patagonia

Romero, Paula Elisa ✉ - González, Marcela Hebe

Recibido: 4 de mayo de 2015 • Aceptado: 4 de marzo de 2016

Resumen

El objetivo del presente estudio preliminar es establecer la relación existente entre el ciclo anual medio de caudal y el de precipitación en una estación representativa de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén, Negro y Colorado. Las dos primeras son relevantes en cuanto a la generación de energía hidroeléctrica y las dos últimas son zonas bastante áridas, pero con valles que producen especialmente el cultivo de frutales. Los datos utilizados fueron la precipitación mensual acumulada diferentes periodos de acuerdo a la cuenca para cinco estaciones y datos mensuales de caudal de los ríos Limay, Neuquén, Colorado y Negro provenientes de diferentes fuentes. Los resultados indican que en el río Limay el año hidrológico comienza en marzo con máximos caudales en julio, con un desfase de 1 mes respecto del máximo medio de precipitación mensual. La variabilidad interanual de los caudales medios y de la precipitación acumulada durante el año hidrológico muestra una buena relación indicando que los valores de precipitación se reflejan en los caudales en las cuencas del Limay y del Neuquén mientras que el caudal del río Negro se relaciona mejor con la precipitación en las cuencas del río Limay y Neuquén. Lo mismo se observa para la relación entre los máximos valores de precipitación y caudal. La cuenca del río Colorado no presenta esta relación entre precipitación y caudal.

Palabras clave: precipitación, caudal, correlación, tendencia.

Abstract

The aim of this preliminary study is to establish the relationship between the mean annual rainfall cycle and flow in a representative station in the basins of Limay, Neuquén, Negro and Colorado rivers. The first two are relevant in terms of hydropower generation and the last two are quite arid valleys but it is especially relevant fruit production. The data used were cumulative monthly rainfall for different periods in each basin for 5 stations and monthly flow data of the Limay, Neuquén, Colorado and Negro rivers from different sources.

The results indicate that in the Limay river the hydrological year begins in March with peak flows in July, with a gap of one month from the average monthly maximum precipitation. The interannual variability of mean flows and cumulative rainfall during the hydrological year shows a good relationship indicating that rain values are reflected in the flows in the

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - FCEN-UBA.

Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera - CONICET/UBA; UMI-FAECI/CNRS

✉ paulaelisaromero@gmail.com

basins of the Limay and Neuquén while the Negro river flow associated with better precipitation in the basins of the rivers Limay and Neuquén. The same is observed for the relationship between the maximum values of rain and flow. The Colorado River Basin is no relationship between rainfall and flow.

Keywords: *rainfall, flow, correlation, trend.*

INTRODUCCIÓN

La región patagónica argentina es una zona que ha sido muy poco estudiada aún desde el punto de vista climático. Sin embargo, la zona norte de la Patagonia que resulta de especial interés, abarca varias jurisdicciones (provincia de Neuquén y norte de provincia de Río Negro) y converge en diversos usos del recurso hídrico tales como: la generación hidroeléctrica para el sistema interconectado nacional, el abastecimiento de agua para el desarrollo de economías de subsistencia local, la actividad frutícola tanto para el mercado local como el de exportación, el abastecimiento de agua para el uso residencial, la industria del petróleo (incluyendo yacimientos convencionales y no convencionales), y la minería. Esta complejidad socio-ambiental se expresa en procesos de sobreexplotación, distribución inequitativa del acceso-control de los recursos naturales; en desplazamientos poblacionales y en la densificación urbana que incluye el poblamiento en áreas de riesgo. La zona noroeste de esta zona es la denominada Comahue y su principal recurso es la generación de energía hidroeléctrica. Hacia el este se encuentra el valle del río Negro y del río Colorado donde la producción frutícola es un recurso económico muy relevante. Para cualquiera de estas actividades el monitoreo y eventual pronóstico de variables meteorológicas como la precipitación son de gran importancia. La zona del Comahue presenta un régimen de precipitaciones invernales mientras que hacia el este en la Patagonia las precipitaciones son escasas, pero predominan en verano. La variabilidad interanual de las precipitaciones en el área total es muy grande y generalmente depende de forzantes climáticos de escala hemisférica como es la temperatura de la superficie del mar en los Océanos Pacífico, Atlántico e Índico y de los sistemas de onda de Rossby que se desplazan por el Pacífico y arriban a la cordillera de los Andes sur donde la altura moderada de la misma, permite el acceso de los frentes y la humedad hacia Argentina.

Algunos autores han estudiado la variabilidad de baja frecuencia de las precipitaciones especialmente en Patagonia (Castañeda y González, 2008; Barros y Mattio, 1978 y Barros y Rodríguez Sero, 1979) y obtuvieron una tendencia a un aumento progresivo de las precipitaciones en el norte patagónico y un decrecimiento en el oeste montañoso. Otros trabajos detallaron el estudio de la variabilidad de la precipitación en escalas interanuales (Aravena et al. 2008; Russian et al. 2010; González y Vera, 2010; González et al., 2010; Scarpati et al., 2014), generaron pronósticos estadísticos para la precipitación estacional (González y Cariaga, 2011; González y Herrera, 2014) y estudiaron forzantes de teleconexiones presentes en los patrones asociados a la precipitación (González, 2013).

Dado que la variabilidad interanual de la precipitación está relacionada con el caudal de los ríos y estas dos variables conjuntamente redundan en las actividades económicas de la

región, este trabajo intenta estudiar dicha relación y establecer los puntos de partida para un estudio detallado de las causas que generan los extremos de precipitación.

DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos de precipitación mensual que fueron utilizadas en este estudio derivan de 5 estaciones de diferentes fuentes (Servicio Meteorológico Nacional, Sub Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, la Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, Comité Interjurisdiccional del Río Colorado).

La región de estudio abarca cuatro cuencas principales: Limay al sur, Neuquén y Colorado al norte y al este la cuenca del río Negro. Las estaciones de medición de precipitación se encuentran en la región meridional de los Andes entre 35° y 43°S, abarcando las provincias argentinas de Neuquén y de Río Negro. En la provincia de Neuquén se encuentran las cuencas del río Neuquén en el norte (49958 km²) y el río Limay en el sur (área: 56000 km²). La cuenca del Río Negro (área: 125500 km²) se extiende desde la confluencia de los ríos Neuquén y Limay hasta su desembocadura en el Mar Argentino. Mientras que al norte la cuenca del río Colorado (área: 47458 km²) divide la provincia de La Pampa de la Río Negro y hacia el oeste de dicha cuenca el río Colorado divide la provincia de Mendoza de la de Neuquén (Figura 1).

Para estudiar los caudales se utilizaron datos de series de caudales naturales entrantes a los embalses para lo que seguidamente se detalla: para el río Limay, aguas arriba del embalse Alicurá; Neuquén, aguas arriba del embalse Barreales. En el caso del río Negro es una serie que considera las condiciones naturales como suma de los ríos Limay y Neuquén. Los datos de caudal del río Colorado provienen de la estación Buta Ranquil.

Los datos de precipitación y caudal tienen todos menos del 20% de sus datos faltantes y los mismos fueron completados utilizando la media mensual del período 1985-2012, común a todas las estaciones.

Para estudiar la relación entre el caudal de cada cuenca y la precipitación mensual, se tomaron estaciones de referencia para cada cuenca en un período común. Así, en la cuenca del río Limay se consideraron como estaciones representativas a Angostura (71,66°O 40,78°S) y Rahue (70,93°O 39,36°S), para la cuenca del río Neuquén a la estación Los Carrizos (70,75°O,37,12°S) con un porcentaje de aporte del 3%, para la cuenca del río Negro a la estación Neuquén (68,08°O 38,57°S) con un porcentaje de aporte del 71% y para la cuenca del río Colorado a la estación Buta Ranquil (69,73°O37,1°S) con un porcentaje de aporte del 32%. Los períodos de registro se detallan en la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Altura, ubicación y período de registro de las estaciones seleccionadas

Estación	Altura (msm)	Lat. (°S)	Long. (°O)	Período
Angostura	774	40,78	71,66	1976-2012
Rahue	845	39,36	70,93	1976-2012
Los Carrizos	1233	37,12	70,75	1981-2012
Neuquén	260	38,57	68,08	1951-2012
Buta Ranquil	850	37,1	69,73	1970-2012

Se consideró para el estudio la precipitación anual acumulada durante el año hidrológico en cada cuenca y se la correlacionó con el caudal medio anual. También se correlacionaron los picos máximos de precipitación y caudal y se evaluó su desfase.

Para el análisis de tendencias se usó un ajuste lineal por cuadrados mínimos y la significancia se evaluó aplicando un test T-Student (Wilks, 2010) al coeficiente de correlación lineal.

RESULTADOS

La evolución media anual de la precipitación y del caudal

Se calculó la precipitación media mensual promedio en el período de registro en las estaciones de referencia y el caudal medio mensual en las estaciones de aforo de cada uno de los ríos. Las Figuras 2a, 2b, 2c, 2d y 2e muestran dicha evolución. Puede observarse que la precipitación presenta un ciclo anual muy marcado con máximo en invierno, especialmente en junio en las cuencas de los ríos Limay (Angostura y Rahue), Neuquén (Los Carrizos) y Colorado (Buta Ranquil) mientras que en el río Negro (Neuquén) existen 2 máximos relativos: uno en mayo y otro en octubre. La precipitación disminuye sustancialmente en los meses de verano en todas las cuencas. Sin embargo, al considerar la precipitación anual media acumulada en el año calendario (Tabla 2) se observan valores muy altos en el caso de Angostura (1592 mm con desvío estándar de 80 mm), menores en Rahue y Los Carrizos y valores bajos en la medida que las estaciones se sitúan más al este (en las cuencas de Colorado y del Negro) disminuyendo hasta valores de 188 mm y 167 mm respectivamente. Al realizar el cociente entre el desvío y la media por el cual se obtiene la variabilidad relativa da como resultado que es mayor en la cuenca de los ríos Neuquén y Limay, disminuyendo en la cuenca de los ríos Colorado y Negro.

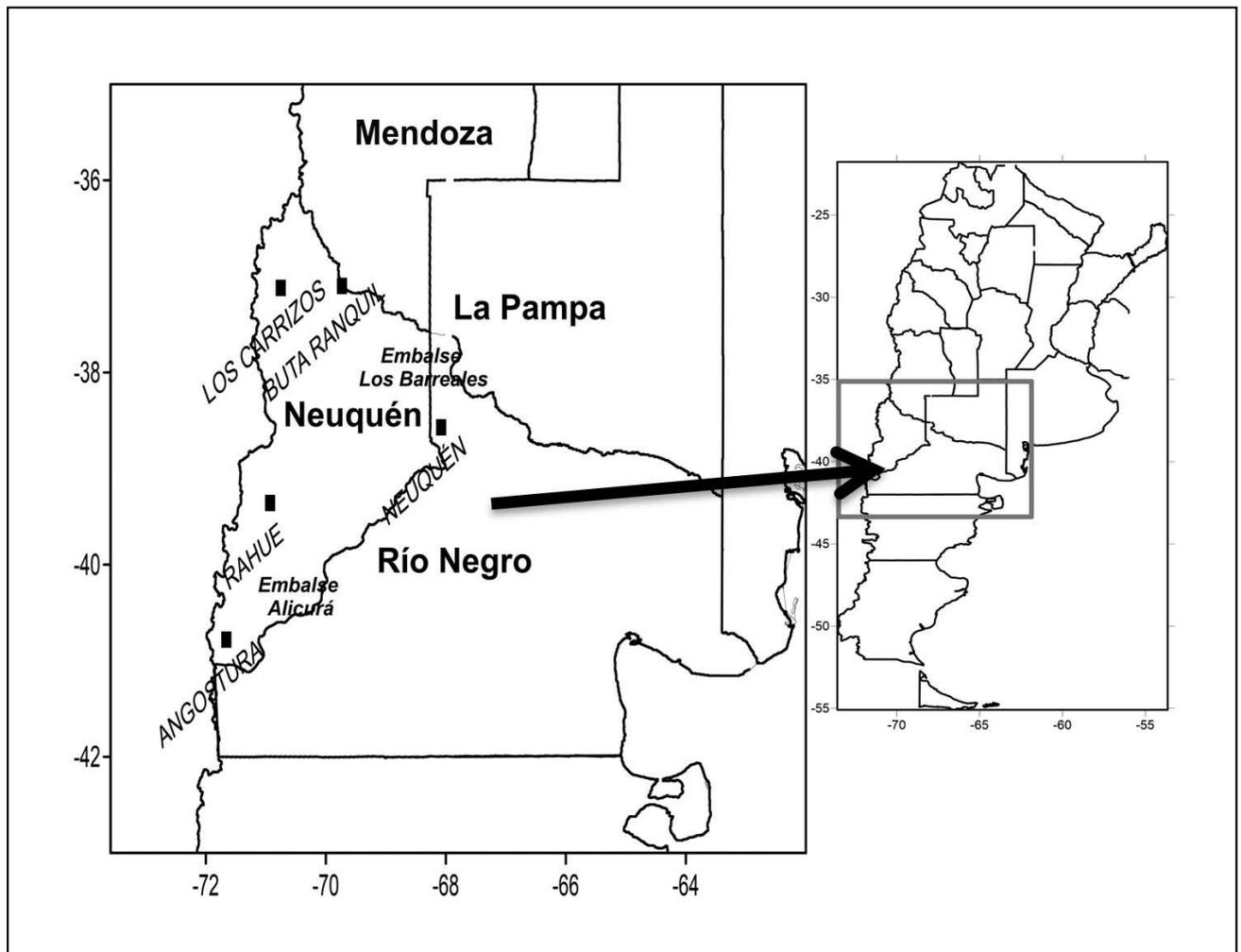


Figura 1. Ubicación de las estaciones analizadas y localización de los embalses según AIC.

Tabla 2. Cuenca, precipitación anual media acumulada en la estación de referencia de la cuenca, valor medio, desvío estándar y variabilidad relativa para el ciclo anual.

Río	Precipitación anual (mm)	Valor medio (mm)	Desvío (mm)	Variabilidad estándar relativa
LIMAY	Rahue: 750	62	49	0,79
	Angostura: 1592	132	80	0,61
NEUQUEN	892	74	68	0,92
NEGRO	188	15	4	0,26
COLORADO	167	12	7	0,56

Con respecto a la evolución de los caudales medios mensuales (Figuras 2a, 2b, 2c, 2d y 2e) los mismos son máximos en julio en el caso del Limay, un máximo en junio y otro en octubre en el Neuquén, un máximo en julio y otro en octubre en el Negro y máximo en diciembre en el Colorado. El caudal medio anual (Tabla 3) mayor lo registra el río Negro con 900 m³/s, luego los valores son menores para el Limay y el Neuquén y los más bajos se observan en el Colorado (146 m³/s). Los resultados

indican que la variabilidad relativa es similar en las 4 cuencas con valores que oscilan entre el 50% en el río Negro al 54% en el río Colorado.

Tabla 3. Cuenca, caudal medio anual en la estación de aforo, desvío estándar y variabilidad relativa para el ciclo anual.

Río	Caudal medio anual (m ³ /s)	Desvío estándar(m ³ /s)	Variabilidad relativa
LIMAY	608	308	0,51
NEUQUEN	291	148	0,52
NEGRO	900	451	0,50
COLORADO	146	79	0,54

Como se sabe el año hidrológico en cada río comienza cuando se registra el mínimo caudal medio mensual. Entonces para las cuencas del río Limay, Neuquén y río Negro el año hidrológico comienza en el mes de marzo mientras que para la cuenca del río Colorado el ciclo hidrológico comienza en abril.

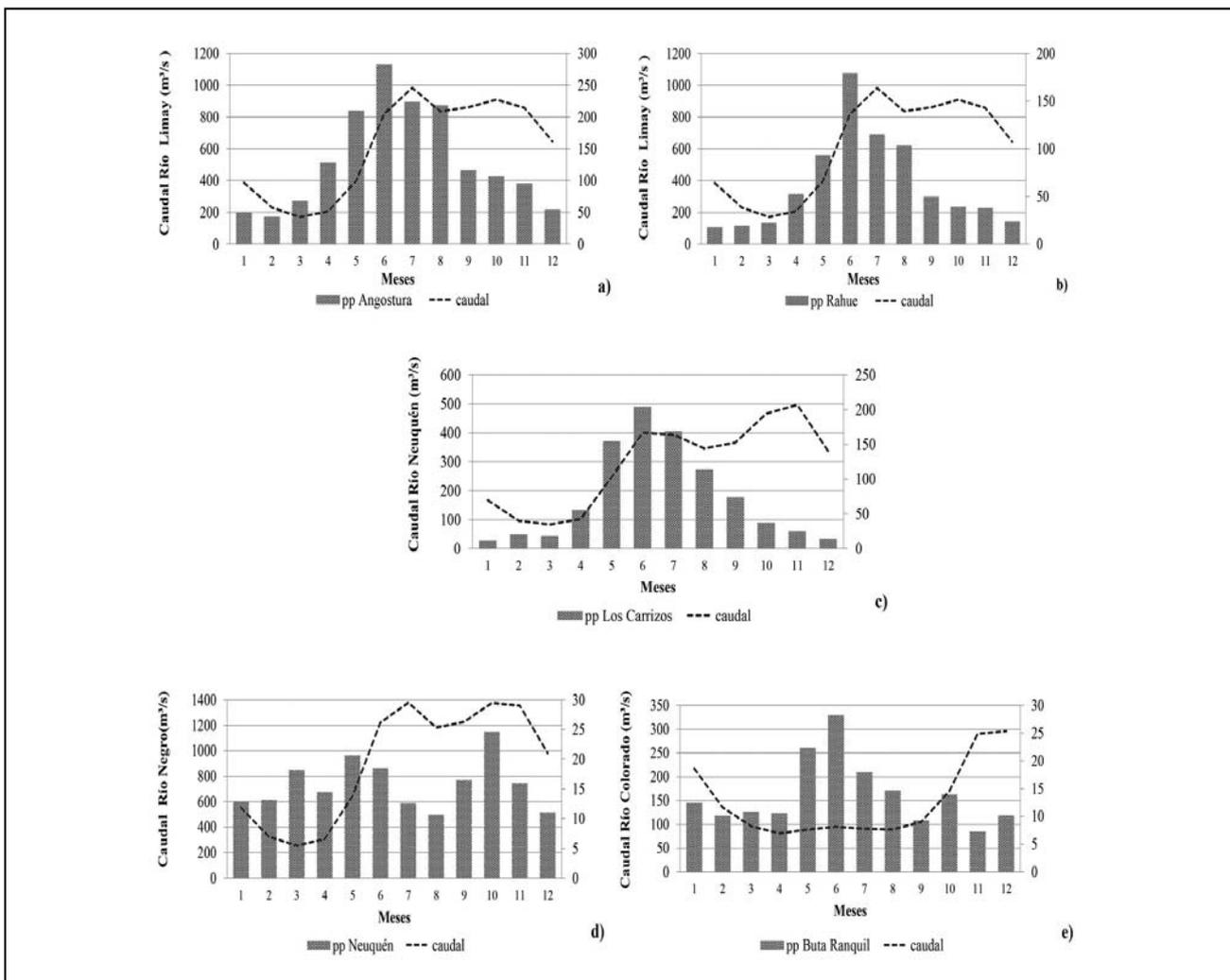


Figura 2. Ciclo anual de precipitación (sombra) para la cuenca del río Limay en estación Angostura (a) y en estación Rahue (b), en la cuenca del río Neuquén (c), del río Negro (d) de Buta Ranquil y del caudal del Río Colorado (e). En líneas punteadas se indican los ciclos anuales de caudal en las estaciones de aforo en cada cuenca.

Las tendencias de precipitación y de caudal

Se calculó la precipitación anual acumulada durante el año hidrológico para cada estación de referencia durante todo el período de registro. Por ejemplo, para la estación Angostura se computó la precipitación acumulada desde marzo de cada año hasta febrero del año siguiente. Se evaluó la tendencia lineal de dichas series ajustando la recta de mínimos cuadrados. También se consideraron los caudales medios anuales y se evaluó la existencia de tendencia por el mismo método. Los resultados se muestran en la Tabla 4 y Tabla 5. La tabla 4 muestra las cuencas, la estación representativa de precipitación, período, pendiente y coeficiente de correlación de la regresión lineal utilizada para ajustar la tendencia de la precipitación acumulada en el año hidrológico. La tabla 5 detalla el coeficiente de correlación de la regresión lineal utilizada para ajustar la tendencia del caudal medio en el año hidrológico en cada cuenca. Ningún coeficiente de correlación resultó significativo con el 95% de confianza.

Tabla 4. Pendiente de las rectas que ajustan la precipitación anual en cada cuenca.

Río	Estación	Período	Pendiente	r
LIMAY	Angostura	1976-2012	-5,6	-0,16
	Rahue	1976-2012	-2,92	-0,15
NEUQUEN	Los Carrizos	1981-2012	3,27	0,09
NEGRO	Neuquén	1951-2012	-0,04	-0,009
COLORADO	Buta Ranquil	1970-2012	-2,56	-0,37

Tabla 5. Pendiente de las rectas que ajustan el caudal medio anual en cada cuenca.

Río	Período	Pendiente	r
LIMAY	1976-2012	-3,94	-0,23
NEUQUEN	1981-2012	-2,05	-0,18
NEGRO	1951-2012	-2,47	-0,17
COLORADO	1970-2012	-0,82	-0,21

Se observó que, con excepción de Los Carrizos, las pendientes de la precipitación acumulada en el año hidrológico fueron negativas, aunque no significativas al 95%. Sin embargo, al analizar el caudal medio en el año hidrológico todos los caudales presentaron pendientes negativas, aunque no significativas.

La relación entre la evolución media anual de precipitación y caudal

En esta sección se relacionó el ciclo medio anual de precipitación en la estación de referencia con el ciclo anual de caudal para cada cuenca. También se evaluaron los picos máximos observados cada año tanto en el caudal como en la precipitación para cada año hidrológico.

El caudal medio del río Limay en el período 1976-2012 tiene un año hidrológico que comienza en marzo y termina en febrero obteniendo un pico máximo medio en julio de 983 m³/s, desfasado un mes de la precipitación máxima registrada en Angostura (282 mm en junio) y en Rahue (178 mm en

junio) (Figura 2a). Otro máximo relativo se observa en octubre, generado por el aporte conjunto de la precipitación y la fusión de la nieve en primavera.

El caudal medio del río Neuquén para el período 1981-2012 tiene un año hidrológico que comienza en marzo y termina en febrero y su pico máximo medio es en noviembre de 496 m³/s, observándose también un pico relativo máximo en julio. Si lo comparamos con la precipitación en la estación Los Carrizos para el mismo período que registra una máxima media de precipitación en junio de 204 mm, el caudal máximo medio está desfasado 1 mes (julio) con respecto al máximo medio de precipitación. El máximo caudal observado en noviembre es la suma de los aportes de precipitación y deshielo en la primavera.

Para el caudal medio del río Negro en el período 1951-2012 el año hidrológico comienza en marzo y termina en febrero, con un pico máximo medio en Julio de 1377 m³/s y otro en octubre de 1375 m³/s. Comparándolo con la precipitación registrada en la estación Neuquén en el mismo período se observa que el caudal máximo de julio se relaciona con el máximo de precipitación observado en mayo, es decir con un desfase de 2 meses. Además, el caudal máximo observado en octubre presenta un desfase nulo con el máximo de precipitación. Este máximo está asociado no solo a la precipitación sino también al agua proveniente de deshielo si lo hubiera (Figura 2d).

Por último, para el caudal medio del río Colorado para el período 1970-2012, el año hidrológico comienza en abril y termina en marzo registrando un pico máximo medio en diciembre de 295 m³/s. Comparando con la precipitación de la estación de referencia Buta Ranquil para el mismo período se observa que el máximo de precipitación se produce en junio y alcanza un valor de 28 mm, resultando un desfase de 6 meses (Figura 2e). El máximo caudal en diciembre puede estar asociado simultáneamente a la precipitación y al posible deshielo.

Relación entre la variabilidad interanual de la precipitación y el caudal

Se analizó la relación entre la variabilidad interanual de ambas variables: precipitación anual acumulada durante el año hidrológico y caudal medio anual durante el año hidrológico. Esto difiere de las variables anuales consideradas en las secciones 3.1 y 3.3 donde la precipitación anual se acumulaba en el año calendario al igual que el cálculo del caudal medio. La variabilidad interanual muestra la forma en que los caudales y la precipitación acumulada durante el año hidrológico varían año a año. La Tabla 6 muestra los valores medios de caudal y el valor medio de precipitación acumulada durante el año hidrológico para el período completo en cada cuenca, sus desvíos estándar y su variabilidad relativa. La precipitación es máxima en la cuenca del Limay (1639 mm en Angostura y 778 mm en Rahue), disminuye en la cuenca del Neuquén (898 mm en Los Carrizos) y es mínima en las cuencas del río Negro (194 mm en Neuquén) y Colorado (191 mm en Buta Ranquil) mientras que las variabilidades relativas son máximas en las cuencas del Colorado (45%) y del Negro (42%) disminuyendo hacia el Neuquén (35%) y el Limay (23 y 26%). El máximo caudal se registra en el río Negro (967,9 m³/s); siguiendo el río Limay con 664 m³/s y finalmente el río Neuquén (298 m³/s) y el Colorado (155 m³/s). Las variabilidades relativas de los caudales son del mismo orden variando entre 27% en el río Limay y el 35% en el río Neuquén.

La Tabla 7 muestra la variabilidad interanual de los máximos de precipitación y del caudal. El mayor máximo medio de precipitación se registra en la estación Angostura de la cuenca del Limay (378 mm) siguiendo los Carrizos del río Neuquén (290 mm) y con valores más bajos la estación Neuquén del río Negro (63 mm) y la estación Buta Ranquil del río Colorado con 65 mm. No obstante, estos dos últimos ríos registran las máximas variabilidades de precipitación, 50 y 57% respectivamente mientras que la variabilidad relativa en el río Neuquén es del 38% en el Limay del 28%, el desvío y la variabilidad relativa de los picos máximos observados tanto de precipitación como de caudal. El valor de caudal máximo medio mayor se registra en río Negro (1916 m³/s), luego en el río Limay (1351 m³/s) y con menores valores el río Neuquén (653 m³/s) y el Colorado (390 m³/s).

Tabla 6. Valores medios, desvío estándar y variabilidad relativa para la precipitación (mm) y para el caudal (m³/s) para las cuencas estudiadas.

Cuenca	pp/caudal	Estación	Valor medio (mm)	Desvío estándar (mm)	Variabilidad relativa
LIMAY	pp	Angostura	1639	375	0,23
		Rahue	778	205	0,26
	Caudal		644	149	0,27
NEUQUEN	pp	Los Carrizos	898	317	0,35
	Caudal		298	103	0,35
NEGRO	pp	Neuquén	194	81	0,42
	Caudal		967	262	0,27
COLORADO	pp	Buta Ranquil	191	86	0,45
	Caudal		155	49	0,32

Tabla 7. Valores medios, desvío estándar y variabilidad relativa para los máximos medios de precipitación (mm) y de caudal (m³/s) para las cuencas estudiadas.

Cuenca	pp/caudal	Valor medio (mm)	Desvío estándar (mm)	Variabilidad relativa
LIMAY	Angostura	378	107	0,28
	Rahue	237	83	0,35
	caudal	1351	432	0,32
NEUQUEN	Los Carrizos	290	112	0,38
	caudal	653	236	0,36
NEGRO	Neuquén	63	31	0,50
	caudal	1916	573	0,29
COLORADO	Buta Ranquil	65	37	0,57
	caudal	390	142	0,36

Con el fin de evaluar la relación entre la variabilidad interanual de la precipitación acumulada y el caudal medio en el año hidrológico se consideraron las correlaciones entre estas variables para todas las cuencas (Tabla 8). Los resultados muestran que el caudal medio anual del río Limay se correlaciona

significativamente (0,76) con el 95% de confianza con la precipitación anual acumulada en Angostura durante el período 1976-2012. Para el mismo caudal y para el mismo período se correlaciona significativamente (0,88) con la precipitación anual acumulada en Rahue. Con el mismo nivel de confianza, para el período 1981-2012 el caudal medio anual del río Neuquén se correlaciona significativamente (0,89) con la precipitación anual acumulada en la estación Los Carrizos. El caudal del río Negro se correlaciona, aunque no significativamente (0,25) con la precipitación de la estación Neuquén para el período 1951-2012. Sin embargo, la correlación entre el caudal del río Negro y la precipitación de la estación Angostura en la cuenca del Limay y Los Carrizos en la cuenca del río Neuquén fueron altas y significativas: 0,79 y 0,84 respectivamente, manifestando que el caudal del río Negro está ampliamente afectado por la precipitación en las cuencas del Limay y del Neuquén siendo la precipitación en ellas más representativa de su caudal que la de la estación Neuquén. La estación Neuquén no es representativa del caudal en la cuenca del río Negro debido a que el régimen viene dado por las precipitaciones en la alta cuenca (área cordillerana) más el efecto atenuador y amortiguador de los embalses. La estación Neuquén corresponde a la de menor registro de precipitación y las precipitaciones aumentan tanto hacia la cordillera como hacia el este registrando alrededor de 200 mm anuales en Neuquén hasta 400mm o 500 mm anuales en Viedma (situada en la costa del Océano Atlántico). En verano el sector de valle medio e inferior pueden recibir precipitaciones intensas, pero que tampoco llegan a ser significativas para cambiar el régimen de escurrimiento. Por último, el caudal medio anual del río Colorado y la precipitación anual acumulada de Buta Ranquil presentan una correlación no significativa (0,08) para el período 1970-2012.

Tabla 8. Correlaciones entre el caudal y estaciones de precipitación para el período de registro.

		Precipitación				
		Angostura	Rahue	Los Carrizos	Neuquén	Buta Ranquil
Caudal	LIMAY	0,76	0,88			
	NEUQUEN			0,89		
	NEGRO	0,79		0,84	0,25	
	COLORADO					0,08
	Período	1976-2012	1976-2012	1981-2012	1951-2012	1970-2012

También es importante observar la relación existente entre la variabilidad interanual de los máximos de precipitación y la de los máximos de caudal. Los resultados muestran, por un lado, una correlación significativa del 95% entre el pico máximo de precipitación de la estación Angostura y Rahue con el pico máximo de caudal del río Limay de 0,49 y 0,51, respectivamente. Con la misma significancia el máximo caudal del río Neuquén y la máxima precipitación de Los Carrizos presentan un coeficiente de correlación de 0,73. Con respecto al máximo caudal del río Negro y la máxima precipitación de la estación Neuquén el coeficiente de correlación es 0,15; sin embargo, aumenta a 0,54 cuando se lo compara con los máximos de la estación Angostura y 0,56 con los máximos de los Carrizos. Finalmente río Colorado y la estación Buta Ranquil presenta un coeficiente de correlación de 0,39. Todos estos coeficientes son significativos con el 95% de confianza.

La variabilidad interanual del desfase entre los máximos de precipitación y de caudal fue considerada. Se puede observar que el río Limay presenta un desfase medio de 1,8 meses con respecto a Angostura y 2,1 meses con respecto a Rahue, un desfase medio en el río Neuquén de 2,5 meses, río Negro 3,8 meses y por último el río Colorado un desfase de 5,3 meses.

CONCLUSIONES

Se consideraron 4 cuencas del norte patagónico correspondientes a los ríos Limay, Neuquén Colorado y Negro. El estudio del ciclo anual de precipitación y caudal mostró un año hidrológico que comienza en otoño para todos los ríos. Excepto el Colorado, el máximo caudal se produce en el invierno y primavera; para el Colorado este máximo está desplazado al verano. El ciclo anual de caudales responde al ciclo anual de precipitación con desfase entre los picos de caudal y precipitación que depende de la cuenca. Las tendencias de precipitación y de caudal a largo plazo fueron todas negativas, aunque

no significativas con el 95% de confianza. La variabilidad interanual de los caudales medios y de la precipitación acumulada durante el año hidrológico muestra una buena relación indicando que los valores de precipitación se reflejan en los caudales en las cuencas del Limay y del Neuquén mientras que el caudal del río Negro se relaciona mejor con la precipitación en las cuencas del río Limay y Neuquén.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Meteorológico Nacional por la provisión de datos de precipitación y a la Administración Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Negro, Neuquén y Limay (AIC), Recursos Hídricos de la Nación Argentina y al Comité Interjurisdiccional del Río Colorado por los datos de caudal y precipitación. También al proyecto UBACyT 2013-2016 20620120100003BA y UBACyT 2014-2017 20020130100133BA por la financiación.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ARAVENA, J.C Y LUCKMAN, B.H., 2008.
Spatio-temporal patterns in Southern South America.
International Journal of Climatology; DOI: 10.1002/joc.1761.
- BARROS V.R Y MATTIO H.F., 1978.
Tendencias y fluctuaciones en las precipitaciones de la región patagónica.
Meteorológica; VIII-IX 237-248.
- BARROS V.R Y RODRIGUEZ SERO J.A., 1979.
Estudio de las fluctuaciones y tendencias de la precipitación en el Chubut utilizando funciones ortogonales empíricas.
Geoacta; 10 (1) 1979-204.
- CASTAÑEDA M. E Y GONZÁLEZ M.H., 2008.
Some aspects related to precipitation variability in the Patagonia region in Southern South America.
Atmósfera; 21(3) 303-317.
- GONZÁLEZ M. H Y VERA C. S., 2010.
On the interannual winter rainfall variability in Southern Andes.
International Journal of Climatology; 30 643-657.
- GONZÁLEZ M.H, SKANSI Y F.A LOSANO, 2010.
Statistical study of seasonal winter rainfall prediction in the Comahue region (Argentina).
Atmósfera; 23 (3) 277-294.
- GONZÁLEZ M.H Y CARIAGA M.L., 2011.
Estimating winter and spring rainfall in the Comahue region (Argentina) using statistical techniques.
Advances in Environmental Research; 11, 103-118.
- GONZÁLEZ, M.H Y N. HERRERA, 2014.
Statistical prediction of Winter rainfall in Patagonia (Argentina), in Horizons in Earth Science Research. Volume 11, Editor: Benjamin Veress and Jozsi Szigethy, NOVA Publisher, NY, USA.
- GONZÁLEZ, M.H., 2013.
Some indicators of interannual rainfall variability in Patagonia (Argentina), Chapter 6 en el libro *Climate Variability - Regional and Thematic Patterns*, Editor: Dr. Aonover Tarhule.
- RUSSIAN G Y E. AGOSTA, 2010.
Variabilidad interanual e interdecádica de la precipitación en la Patagonia norte.
Geoacta; 35 27-43.
- SCARPATI O.; E. KRUSE, M.H. GONZALEZ, A. ISMAEL; J. VICH; A. D. CAPRIOLO Y R.M. CAFFERA, 2014,
Chapter 23, "Updating the hydrological knowledge: a case of study", Handbook of Engineering Hydrology, Vol. 3: *Environmental Hydrology and River Management*. Editor: Prof Saeid Eslamian, Taylor & Francis. 443-457.
- WILKS, D.S., 2010.
Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.
dt. Academic Press, 467p. London.



Cartografía de riesgo de inundación y la representación de la vulnerabilidad en gran La Plata, Buenos Aires

Flood risk mapping and representation of the vulnerability in great La Plata, Buenos Aires

Schomwandt, David ✉ - Lucioni, Nora - Andrade, María Isabel

Recibido: 6 de mayo de 2015 • Aceptado: 18 de abril de 2016

Resumen

El riesgo es una construcción social. Esto no ha sido tenido suficientemente en cuenta en la gestión de áreas con riesgo recurrente de excesos o déficit hídricos. Por otra parte, la vulnerabilidad social se define por las condiciones sociales, económicas, culturales e institucionales de una sociedad, previas a la ocurrencia de un evento catastrófico que la predispone para sufrir o evitar daños.

La tormenta que se produjo el 2 de abril de 2013 en la ciudad de La Plata y ciudades vecinas, se tradujo en la pérdida de más de medio centenar de vidas y afectó directamente a 190.000 personas, lo que equivale a más del 50 por ciento de la población total del Departamento de la Plata. La pérdida económica estimada fue superior a 2.600 millones de pesos.

El objetivo del trabajo es la obtención de un mapa de riesgo de inundación en el Gran La Plata a partir de relacionar los agentes naturales y el entorno social que derivan del proceso de inundación mediante la utilización de herramientas de análisis espacial e información proveniente de los sensores remotos.

Palabras clave: vulnerabilidad, riesgo hídrico, sensores remotos, Sistemas de Información Geográfica, Buenos Aires.

Abstract

The risk is considered as social construction; this has not been sufficiently taken into account in the management of areas with recurrent risk of excess or water deficit. Moreover, social vulnerability is defined by social, economic, cultural and institutional conditions of a society prior to the occurrence of a catastrophic event that predisposes to suffer or prevent any damage.

The rainstorm that came about on April 2, 2013 in the city of "La Plata" and surrounding cities, resulted in the loss of more than fifty lives and affection directly more than 190,000 people, equivalent to more than 50 percent of the total population of the Department La Plata. The estimated economic loss was higher than 2,600 million of pesos.

Centro de Investigaciones Geográficas (CIG), IdIHCS.
Facultad de Humanidades y Ciencias de Educación.
Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Argentina

✉ schomwandt@gmail.com

The project objective was to define the flood risk area in the region of Greater La Plata and build a map with risk areas.

This process has considered the relationship between the natural system, the urban infrastructure and the social environment which it is developed by the factor of flooding. This work is based in analysis spatial between information that be obtained by techniques remote sensing and statistics of social data.

Keywords: *vulnerability, water risk, remote sensing, GIS, Buenos Aires.*

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se localiza en el Gran La Plata la cual es una pequeña porción que conforma parte del extremo oriental de la llanura pampeana, sometida históricamente a eventos hidrológicos extremos tanto de déficit como de excedentes hídricos (Figura 1).

El aglomerado de Gran La Plata está integrado por los Partidos de Berisso, Ensenada y La Plata, en la Provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 2).

El objetivo del trabajo es la obtención de una cartografía preliminar riesgo de inundación del Gran La Plata a partir de relacionar los agentes naturales y el entorno social que derivan del proceso de inundación mediante la utilización de herramientas de análisis espacial e información proveniente de los sensores remotos.

El marco de análisis de este trabajo, consiste en el tratamiento de las inundaciones desde la Teoría Social del Riesgo, según la cual se estudian los riesgos a determinados eventos "catastróficos" desde el reconocimiento que el abordaje realizado por la ciencia "normal" es insuficiente para el tratamiento de estas temáticas. Entendemos por ciencia "normal" aquella que responde al paradigma vigente. La visión reduccionista que ésta aplica deja afuera problemas importantes y/o manipula técnica

o cuantitativamente variables de difícil cuantificación, como por ejemplo la incertidumbre (Funtowicz y Ravetz, 1993). La existencia de problemas ambientales reales, concretos, que afectan a una población real y concreta, suponen la búsqueda de herramientas metodológicas en un nuevo estilo de actividad científica que tenga en cuenta que lo "normal" puede ser la incertidumbre y la impredecibilidad.

La recurrencia del fenómeno de inundación en el área de estudio, no se debe sólo a causas naturales, sino también a factores antrópicos. Entre los factores naturales más relevantes se destacan: las características geomorfológicas, rasgos topográficos, el régimen de precipitaciones, topografía del terreno plana, de muy bajo gradiente de pendiente y suelos hidromorfos de muy baja permeabilidad. Entre los factores antrópicos, pueden citarse: impermeabilización de la superficie natural junto con las modificaciones en el drenaje natural, con la consecuente pérdida en la capacidad de captar y almacenar agua de lluvia de los suelos por deterioro físico; el diseño de una infraestructura vial, que canaliza el flujo de agua y que a su vez condiciona el movimiento del agua en superficie; la construcción de canales de manera anárquica, sin un criterio integral sobre el funcionamiento hidrológico regional; ocupación de los valles de inundación y la inexistencia de una gestión integral del riesgo de inundaciones (Liscia et al., 2013).

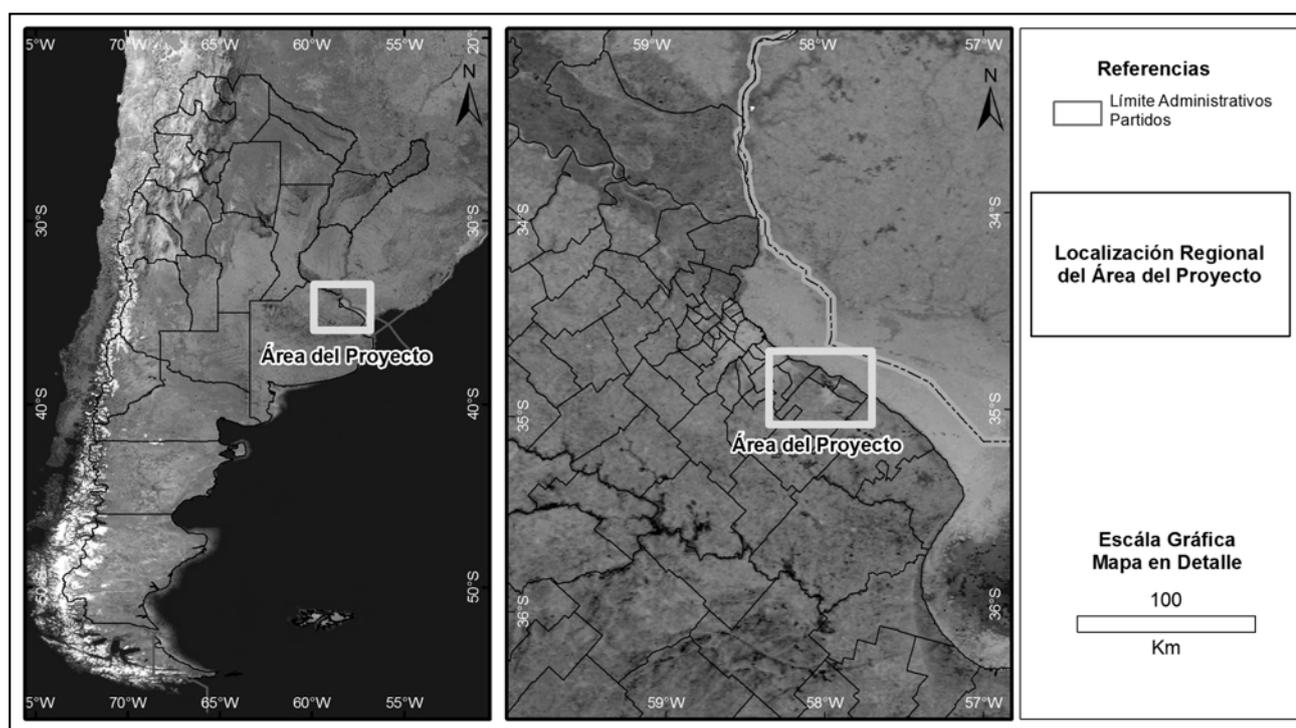


Figura 1. Área de estudio.

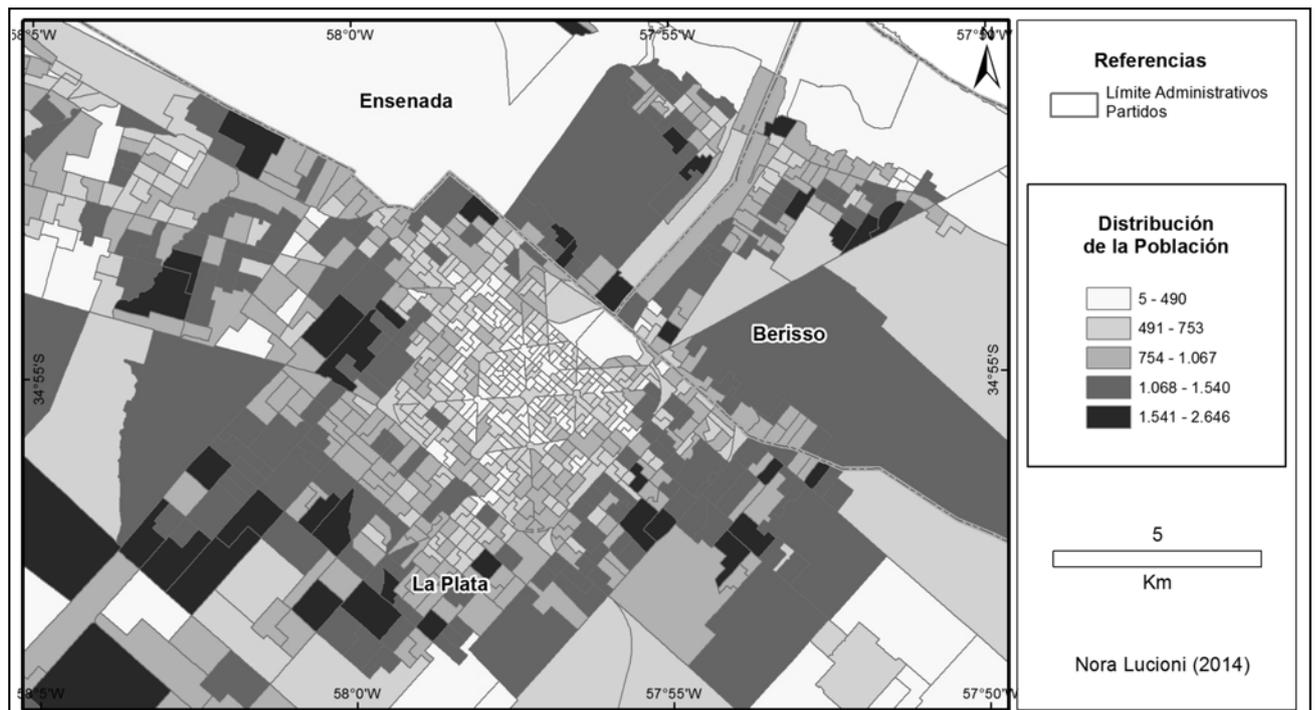


Figura 2. Distribución de la población por radio censal según INDEC (2010) de los Partidos del Gran La Plata (Lucioni, 2014).

ANTECEDENTES

Las formas de apropiación y manejo no planificado del territorio en espacios críticos promueven la generación de riesgos, riesgo por contaminación de las aguas, riesgo de inundaciones, riesgo de reducción de los humedales. Se genera una problemática compleja que altera el proceso de desarrollo sostenible de estos espacios. El desconocimiento de los sistemas naturales con los que interactúa la sociedad, la falta de planificación, los objetivos cortoplacistas y las conductas socio-culturales acrecientan dramáticamente la producción de riesgos. Existen trabajos recientes sobre esta problemática, de los cuales pueden citarse: Beck (1993), Funtowicz y Ravetz (1993), Ribas Palom (1994), Lavell (2002); Blaikie et al (1998), Ayala Carcedo (2002), Calvo García Tornel (2002), Díez Herrero y Pujadas Ferrer (2002), Andrade (2003), Masgrau (2004), Natenzon (2005), Ríos (2006), Romanazzi y Urbiztondo (2007), Ríos y Pérez (2008), Andrade y Laporta (2009), Kandus et al. (2010), Fernández et al (2010), Fernández (2012), Pintos y Narodowski (2012), Vallejo (2012), Del Cueto (2013), Liscia et al. (2013).

La teledetección espacial para el estudio de tierras afectadas por inundación-anegamiento ha sido ampliamente utilizada por diferentes autores gracias al contraste del agua con el resto de las cubiertas terrestre en el espectro electromagnético. Entre los principales autores se pueden citar los trabajos de: Ormeño Vallejos (1993), Degioanni et al. (2001), Chuvieco Salinero (2002), Andrade (2003, 2004), Del barco et al. (2003), Rebella y Goniadzki (2003), Tchilinguirian et al. (2003), Ventimiglia et al. (2003), Lucioni (2006), Andrade-Lucioni (2014), Andrade et al. (2014), Schomwandt (2015). Por otra parte, la combinación del procesamiento digital de imágenes provenientes de sensores remotos y las posibilidades de análisis que ofrecen los SIG, también han sido satisfactoriamente utilizados para este tipo de estudios. Debido a que el escurrimiento superficial de una llanura es muy lento a nulo, la principal

estrategia de manejo de los excedentes hídricos debe estar enfocada sobre los componentes verticales del balance hídrico, principalmente infiltración, evaporación y evapotranspiración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las investigaciones más recientes que consideran a la cartografía del riesgo como herramienta en el análisis de la vulnerabilidad, se han centrado en definir, cuantificar y analizar la población expuesta a amenazas de índole ambientales (Andrade, 2009). La metodología que se expone en este trabajo pretende alcanzar la expresión cartográfica como herramienta útil en la valoración y gestión del riesgo al establecer una zonificación con la ayuda de la combinación de mapas de niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. Esta línea de investigación considera a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en combinación con la teledetección, una herramienta fundamental al momento de desarrollar modelos de exposición y vulnerabilidad en el área de estudio.

La construcción de una cartografía preliminar de riesgo de inundación del Gran La Plata se realizó a partir del tratamiento de sus componentes básicos definidos como:

- Peligrosidad es el potencial de peligro inherente a los fenómenos naturales que puede agudizarse por acciones humanas. En este trabajo se identifica la peligrosidad teniendo en cuenta la red hidrográfica superficial, la altimetría del área, los usos de suelos y las obras de infraestructura que afectan el escurrimiento.
- Exposición: hace referencia a la distribución territorial de las personas y bienes que pueden verse afectados ante un evento catastrófico. La exposición precisa la interrelación entre peligrosidad y vulnerabilidad. Su construcción se elabora mediante la interpretación cartográfica y teledetección de usos de suelo y población afectada, para identificar áreas críticas.

- Vulnerabilidad: es la capacidad de hacer frente a un evento catastrófico. Se haya condicionada por la situación socioeconómica previa a la ocurrencia del evento.

El trabajo se apoyó en información fotogramétrica proveniente del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2013). Un producto fue el Modelo Digital de Terreno (MDT) de resolución espacial de 7 metros al cual fue ajustado espacialmente de acuerdo a las modificaciones (correcciones geométricas) de los datos de geolocalización del *header*. Luego, el MDT fue cortado de acuerdo al polígono del área de interés, los Partidos de Gran La Plata. A partir del mismo, se obtuvo el modelo de dirección del flujo (*flow direction*) basado en la metodología descrita por *Jenson y Domínguez (1988)*.

El segundo producto provisto por el IGN fue un mosaico fotogramétrico, en color natural e infrarrojo, de 0,40 metros de resolución espacial. Este último sirvió como base para la construcción en detalle del entramado urbano ajustado por captura de puntos GPS en terreno (Figura 3).

Una vez registrada la información vectorial se extrajeron los valores de altura del MDT y los valores de dirección de flujo, ambos coincidentes con las intersecciones de los ejes calles. De esta manera se excluyó la topografía edilicia, las alturas asociadas al proceso de verticalización de la ciudad y sólo se concentró en los valores de cotas del trazado vial urbano. Con ello se obtuvieron las variaciones topográficas y las direcciones de flujo de la totalidad del entramado urbano del Gran La Plata. Como sub productos se obtiene la red de drenaje relativa y las sub cuencas de drenajes correspondientes al MDT de cotas por intercepción de eje de calle (Figura 4).

A fin de tener una aproximación del lapso de tiempo de las áreas anegadas, se utilizó teledetección como método indirecto. La imagen Landsat 8 del día 13 de abril de 2013 capturada 11 días posteriores al fenómeno de inundación en Gran La Plata sirvió como indicador de áreas anegadas.

Por otra parte, se gestionó la información geoespacial de radios censales actualizados al 2014 y se procesaron los datos provenientes del último *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010* publicados por el INDEC con la finalidad de obtener una caracterización socioeconómica de la población con riesgo de inundación.

Específicamente se capturaron los indicadores sociodemográficos provenientes del *Censo 2010* en el sistema REDATAM+SP para sumarlos a los datos trimestrales de la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) del INDEC y vincularlos a nivel de radio censal del aglomerado Gran La Plata. Luego se procedió a la ejecución de una serie de mapas que expresan indicadores sociodemográficos con la finalidad de estudiar el impacto del evento de inundación del 2 de abril de 2013 ocurrido tras las fuertes precipitaciones sobre los distintos niveles socioeconómicos de la población.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA

Desde el punto de vista de la geología regional, el área de estudio se localiza en la porción oriental de la Llanura Chacopampeana (*Russo et al., 1979*). En torno a las características estratigráficas más destacables, la Formación Ensenada es la unidad más antigua aflorante reconocible en la región y está constituida principalmente por limos arcillo-arenosos y arcillas limo-arenosas castañas con niveles de paleosuelos superpuestos junto con niveles de carbonatos (toscas o calcretes), donde se destacan la presencia de discontinuidades. Su génesis es definida como planicie eólica, contiene fauna de vertebrados de edad mamífero ensenadense (Pleistoceno medio). Mediante discordancia se deposita por encima la Formación Buenos Aires, es de litología y color semejantes a la Formación Ensenada constituida esencialmente por sedimentos loésicos de composición limosa poco heterogéneo, con carbonato de calcio en forma de concreciones de diversas formas de aspecto terroso y muy friable (*Riggi et al., 1986*).

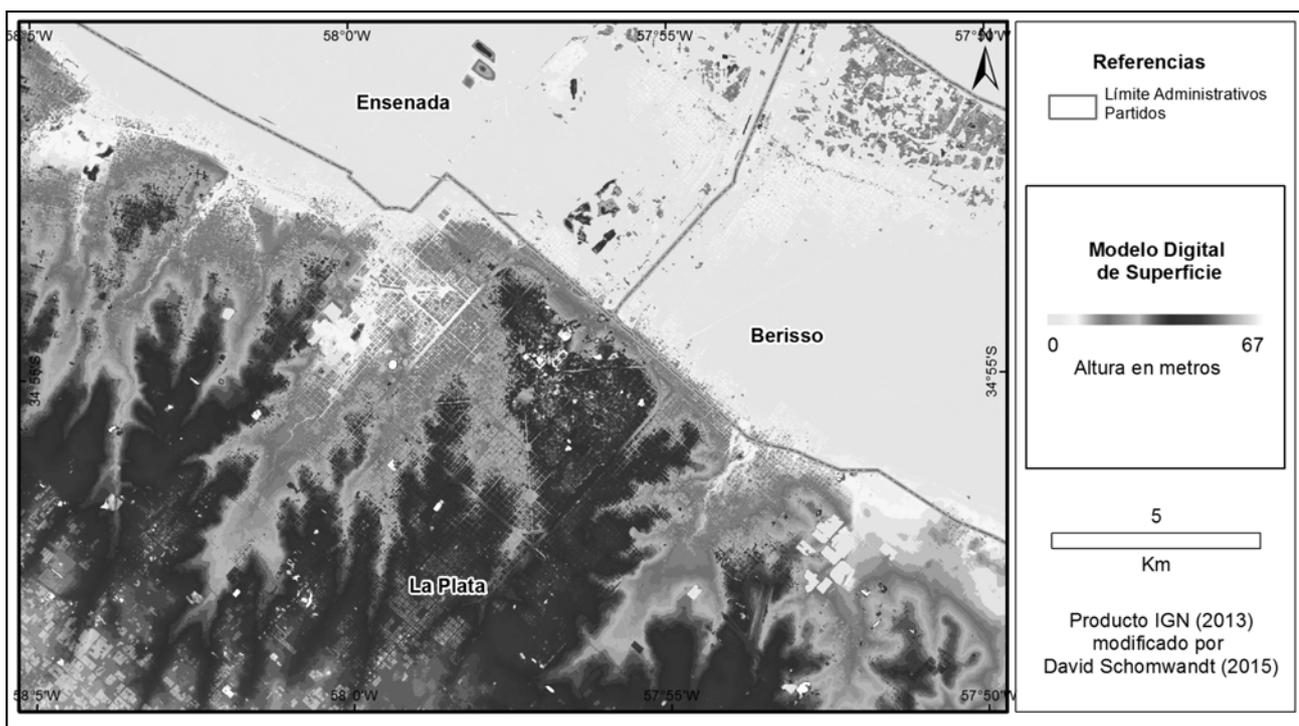


Figura 3. Modelo Digital de Superficie (Schomwandt, 2015).

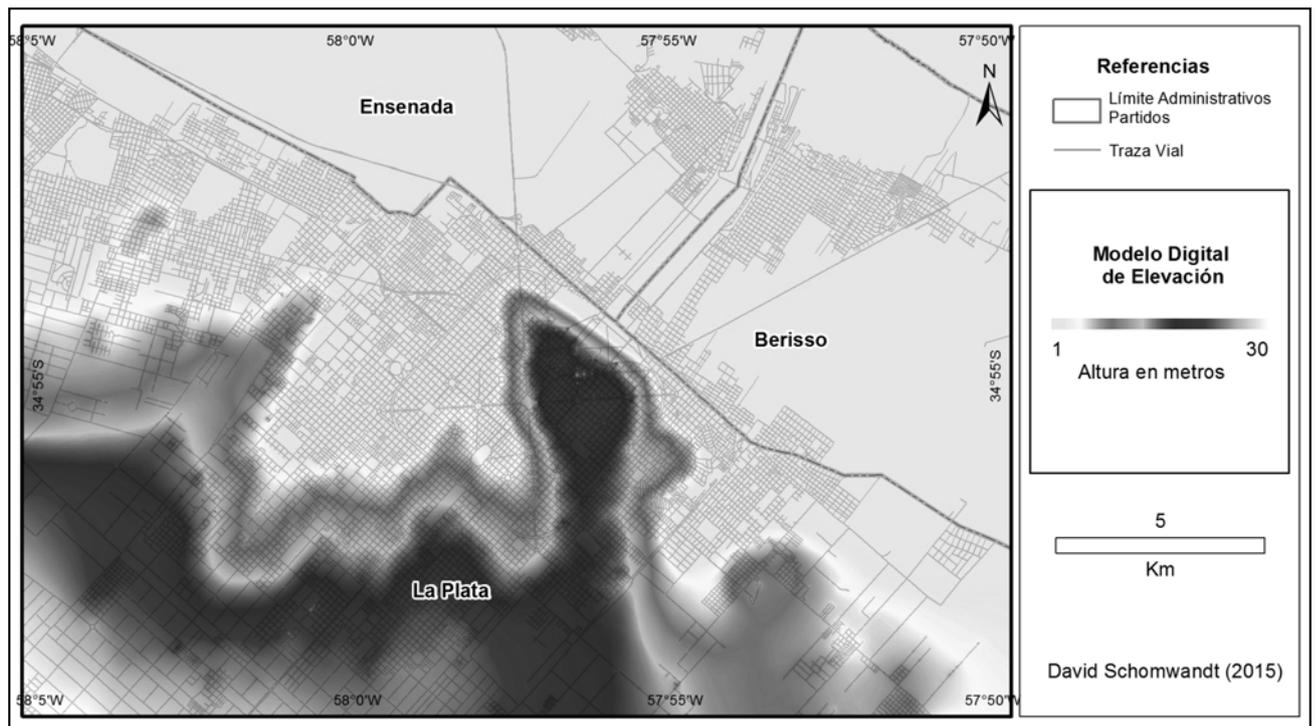


Figura 4. Modelo Digital de Elevación (Schomwandt, 2015).

Por otra parte, *Yrigoyen (1993)* y posteriormente *Pereyra (2004)* destacan que uno de los rasgos más característicos de toda la RMBA, es el escarpe de erosión que afecta a la planicie loésica debido a la "transgresión Belgranense"; también documentada por *Ameghino (1889)* en su trabajo publicado en el año 1889.

El escarpe mencionado se extiende con rumbo noroeste-sudeste y exhibe un desnivel que suele superar los 10 metros respecto a la planicie del Río de la Plata. Esta barranca es un rasgo característico y destacable entre la ciudad de La Plata, Berisso y Ensenada, donde la Avenida 122 coincide con la traza del escarpe y es posible tomarlo como punto de referencia.

La Figura 5 hace referencia al Mapa Geomorfológico, en ella se puede observar las características generales de la red de drenaje natural junto con las principales trazas viales que en la actualidad se estructuran como parte de esa red. De acuerdo a *Fidalgo y Martínez (1983)* la totalidad de La Plata y Gran La Plata estaría definida dentro de la denominada Pampa Ondulada. De acuerdo a *Hurtado et al. (2006)*, en el área del Gran La Plata, la totalidad del sistema de drenaje con vertiente al Río de la Plata exhibe los rasgos morfológicos de la Pampa Ondulada, evidenciados en las ondulaciones producidas por la alternancia de interfluvios y planicies de inundación, dicha característica puede ser observada entre los arroyos del Gato, Pérez y Regimiento, como por ejemplo.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS LOS ARROYOS DEL GATO Y MALDONADO

El ejido urbano fundacional de La Plata se encuentra gobernado, desde el aspecto hídrico, por las cuencas del arroyo del Gato, Maldonado y subcuencas complementarias de vertiente del Río de la Plata. La principal característica de estos arroyos, es que desaguan en la planicie costera y no en el Río

de la Plata. Esto se debe a que entre los 5 metros s.n.m. y la cota del Río de la Plata se produce un cambio de pendiente regional, la cual se hace mínima (menor a 0,03 %), dando lugar a que los arroyos pierdan energía y sus cursos se hagan divagantes y generando bañados (*Hurtado et al., 2006*).

La cuenca del arroyo del Gato es una de las más extensas del aglomerado del Gran La Plata, la más densamente poblada y concentra el mayor porcentaje de las actividades industriales y florihortícolas de la región. Es colindante, en el sector noreste, con el sistema que forman los arroyos Rodríguez -Don Carlos y, en el sector sur, con la cuenca del arroyo del Zoológico y la del Maldonado. En cabecera comparte su divisoria de aguas con la cuenca del Río Samborombón. La cuenca involucra en extensión a más de la mitad del casco fundacional de la ciudad de La Plata; en el sector noreste de la región se encuentran las localidades de Tolosa, Ringuélet, José Hernández y Manuel Gonnet; hacia el norte se encuentra el Barrio Hipódromo de La Plata; hacia el sudoeste, se encuentran las localidades José Hernández, San Carlos y Los Hornos; Altos de San Lorenzo en el extremo sur y, finalmente, yendo hacia la cabecera de la cuenca se suman los centros comunales de Melchor Romero, Lisandro Olmos, parte de Abasto y Etcheverry entre las más importantes. La longitud total del curso principal es de aproximadamente 25 km, repartida por 18 km en el partido de La Plata y 7 km en el partido de Ensenada. El arroyo del Gato recibe el aporte de dos tributarios mayores, los arroyos Pérez, Regimiento y Jardín Zoológico, que cruzan entubados y en diagonal por debajo de la trama urbana de la ciudad de La Plata. Al llegar a la planicie Costera, al este de la localidad Ringuélet, es canalizado para que sus aguas desemboquen en el Río de la Plata (*Liscia et al., 2013*).

La cuenca del arroyo Maldonado nace en cotas próximas a los 20 metros s.n.m. de carácter permanente y presenta una extensión de 8 km. Se extiende al sudeste de la trama urbana

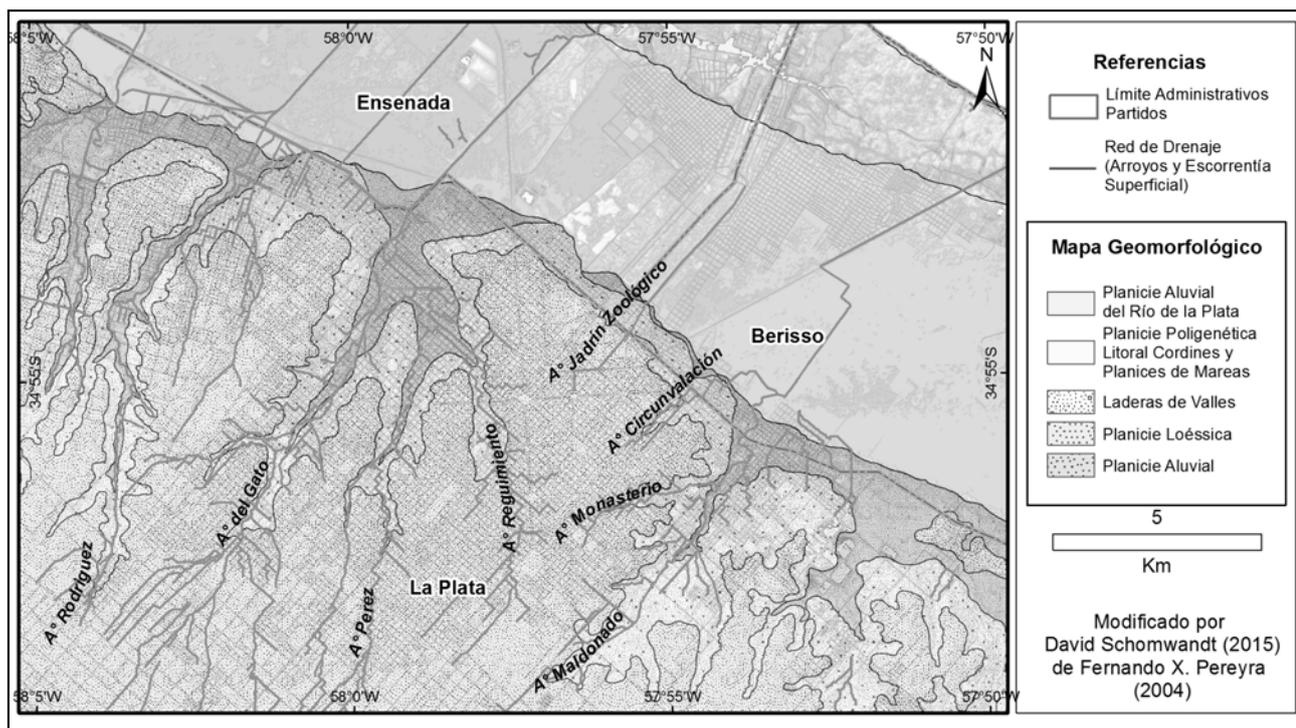


Figura 5. Mapa Geomorfológico del Aglomerado de Gran La Plata (Schomwandt, 2015).

de la ciudad de La Plata, comprende las localidades de San Lorenzo y Villa Elvira (Partido de La Plata) y desagua en el Partido de Berisso. En la parte alta de la cuenca se concentra principalmente toda la actividad florihortícola; mientras que aguas abajo se asienta la población. Tiene como afluente el arroyo Monasterio que desagua en su margen izquierda. Los excedentes hídricos de la cuenca drenan hacia una zona de bañados naturales por una red no muy densificada de canales naturales y artificiales que conducen a su destino final en las aguas del Río de la Plata (Hurtado *et al.*, 2006).

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Las grandes llanuras constituyen un escenario de suma fragilidad ante eventos hidrológicos extremos, tanto de déficit como de excedentes hídricos. En este último caso, la incapacidad del relieve para evacuar volúmenes importantes de agua suele concurrir, junto a otros factores, a la ocurrencia de vastos anegamientos que tienen a la persistencia como rasgo fundamental. La llanura pampeana es la comarca de estas características más representativa en la Argentina. Con un período de lluvias por encima de la media histórica secular, persistente desde inicios de la década de los años 70, han entrado en crisis sistemas exorreicos (cuenca del Río Salado-Vallimanca), endorreicos (cuenca de las Lagunas Encadenadas del Oeste) y arreicos (región del noroeste, nordeste pampeano y sur santafecino), junto con una mutación progresiva del régimen climático desde semiárido, en algunas de ellas, a subhúmedo-húmedo (Hernández *et al.*; 2003).

La región del Gran La Plata se encuentra dentro del clima templado húmedo, de acuerdo a la *clasificación de Köppen*. Esto determina que el verano sea más fresco y el invierno menos riguroso, es decir, no existen grandes amplitudes diarias ni anuales de temperatura. Sólo en el sector occidental de la provincia se registran condiciones de mayor amplitud térmica.

Se encuentra influida por la acción de masas de aire, tanto del sur como del norte, que ejercen su influencia durante todo el año. En general, la diferencia térmica entre el mes más cálido y el mes más frío es de 12-13°C en la región oriental, y superior a 16°C en el centro y el oeste de la provincia. La temperatura media anual oscila entre valores de 18°C al norte y 14°C al sur.

Las precipitaciones en la cuenca del Plata tienen su máximo durante el verano y su mínimo durante el invierno. Las inundaciones en la cuenca deben su ocurrencia a dos factores. Uno de ellos es el derrame de grandes volúmenes de agua causados por precipitaciones intensas en la alta cuenca. A esto se suma el efecto de las precipitaciones intensas que tiene lugar localmente.

Desde la década del setenta, la región en estudio, transita un ciclo húmedo. El efecto climático global está gobernado por la acción de los mares, Pacífico y Atlántico y también por la actividad volcánica, procesos naturales de acción prolongada en el tiempo, que no coinciden con los ciclos húmedos menores a 40 años. El efecto climático global genera corrientes húmedas en la atmósfera que descargan precipitaciones en diferentes zonas geográficas del mundo, siendo la "pampa húmeda", una de ellas (Ventimiglia *et al.*, 2003).

Otro fenómeno que favorece al riesgo de inundaciones es el de la sudestada que afecta principalmente a la zona del Río de La Plata, sur de la provincia de Entre Ríos y nordeste de la provincia de Buenos Aires, y está acompañada por lluvias. La sudestada genera siempre una creciente del río sobre la margen Argentina del estuario. Los vientos generalizados del sector este-sudeste hasta el sector sud-sudeste ejercen un efecto de fricción sobre las aguas del río de la Plata, que es opuesta al sentido en que las mismas drenan. La acción de estos vientos se traduce en una acumulación de agua oceánica en la desembocadura del

río. Tal acumulación de agua reduce la pendiente de descarga del río, de modo tal que las aguas provenientes de los cursos superiores se ven dificultadas en su drenaje natural, provocando un aumento en el nivel de las mismas. La intensidad de la creciente dependerá de la duración y la magnitud de la sudestada y de las lluvias que se produzcan en la zona. También se intensificará si los ríos Paraná y Uruguay bajan en creciente (Berri, 2001).

LA INUNDACIÓN DEL 2 DE ABRIL DE 2013 EN LAS CIUDADES DE LA PLATA, BERISSO Y ENSENADA

El evento de inundación ocurrido el 2 de abril de 2013 tuvo su origen por fuertes precipitaciones sobre el aglomerado del Gran La Plata, en combinación con el factor de que la tormenta no se trasladó, no hubo viento, y se produjeron tres tormentas simultáneas. Según Liscia et al. (2013) el evento se relacionó con: “una situación generalmente conocida como de baja segregada o un vórtice ciclónico en niveles medios y altos con una importante advección de aire caliente y muy húmedo”. Esta clase de fenómeno meteorológico es muy dificultoso de precisar pronósticos con detalle de su localización.

El fenómeno registró un valor récord histórico diario de precipitación con 181.0 mm, acontecimiento que superó al ocurrido el 14 de mayo de 1980 con 155.1 mm, asociado también a precipitaciones intensas, dentro del periodo 1956-2013. La estación automática de la Universidad de La Plata registró más de 300 mm entre las 9 de la mañana del 2 de abril y las 9 de la mañana del 3 de abril (Del Cueto, 2013).

En cuanto a las causas antrópicas se desprenden las siguientes consideraciones, comunes a las cuencas de los arroyos Maldonado y del Gato: 1) Los estudios hidrológicos anteriores no han sido integrales a todo el sistema; 2) las obras hidráulicas sólo se abocaron a obras de conducción; 3) los planes de alerta y contingencia fueron insuficientes; y 4) la red de estaciones meteorológicas en la región del gran La Plata es escasa (Liscia et al., 2013).

CARACTERIZACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA

El crecimiento relativo de la población en el Gran La Plata en el período intercensal 2001/2010, presentó valores similares en los tres municipios, registrándose en Berisso y en La Plata, un incremento levemente inferior al promedio de la provincia (Tabla 1).

Tabla 1. Cantidad de población por partido y crecimiento poblacional, según INDEC (1991, 2001, 2010).

Partidos	Población Censo 2010	Población Censo 2001	Población Censo 1991	Variación Porcentual 01/2010 (%)	Variación Porcentual 91/2001 (%)
Berisso	88.123	79.862	74.761	10,34	6,4
Ensenada	55.629	51.241	48.237	8,56	5,9
La Plata	649.613	571.416	542.984	13,68	5,0
Provincia	15.323.425	13.760.969	12.594.984	11,35	8,5

El municipio de La Plata cuenta con 649.613 habitantes y 265.677 viviendas particulares. En 1991 el total de viviendas era de 158.076, lo que da cuenta del crecimiento de la capacidad habitacional del partido: en 20 años la cantidad de viviendas se incrementó en un 68%. A grandes rasgos podemos decir que la población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), extraído del sistema REDATAM+SP, se concentra principalmente en zonas de la periferia del partido, destacándose Olmos, El Peligro, Arturo Seguí, Romero y Abasto, localidades que registran fuertes incremento de la población que no ha sido acompañada con el aumento de los servicios básicos. Según los datos del Censo Nacional de Población 2010, el partido de Berisso cuenta con 88.123 habitantes y 30.688 viviendas particulares; y el Partido Ensenada cuenta con 55.629 habitantes y 19.975 viviendas particulares.

Los hogares con al menos un indicador de NBI como está expresado en la Figura 6, son hogares en los cuales está presente al menos uno de los siguientes indicadores de privación: 1) Hacinamiento: Hogares que habitan viviendas con más de 3 personas por cuarto (hacinamiento crítico); 2) Vivienda: Hogares que habitan en una vivienda de tipo inconveniente (pieza de inquilinato, vivienda precaria u otro tipo); 3) Condiciones sanitarias: Hogares que habitan en viviendas que no tienen retrete o tienen retrete sin descarga de agua; 4) Asistencia escolar: Hogares que tienen algún niño en edad escolar que no asiste a la escuela; 5) Capacidad de subsistencia: Hogares que tienen

4 o más personas por miembro ocupado y en los cuales el jefe tiene bajo nivel de educación (sólo asistió dos años o menos al nivel primario).

Por otra parte, con la finalidad de actualizar el indicador de NBI a la fecha de afectación del último evento de inundación del 2 de abril del 2013, se accedió a la base de datos con los provenientes del último trimestre de 2013 de la Encuesta Permanente de Hogares (EPH). En este sentido la fusión de las dos bases de datos de información se obtuvo un índice que combina la posición de las personas en las siguientes dimensiones: nivel educacional y ocupacional del principal sostén del hogar y de posesiones materiales del hogar. El nivel educacional mide el máximo nivel alcanzado por el Principal Sostén del Hogar (PSH) en términos de ciclos de la educación formal: primario, secundario, terciario no universitario, universitario, postgrado. El nivel ocupacional mide la posición ocupacional en términos de una jerarquía de posiciones ocupacionales. Los tipos de ocupación se dividen en dos grandes grupos: cuentapropistas y en relación de dependencia. La primera categoría abarca trabajadores autónomos y empleadores de personal en empresas muy chicas, mientras que la segunda recorre todas las posiciones desde empleo doméstico hasta alta dirección, tanto del sector público como del sector privado. El índice asigna puntajes directamente relacionados con la jerarquía del tipo de trabajo que realiza el PSH. Las posesiones materiales consisten en un índice que incluye los siguientes ítems: televisión a control

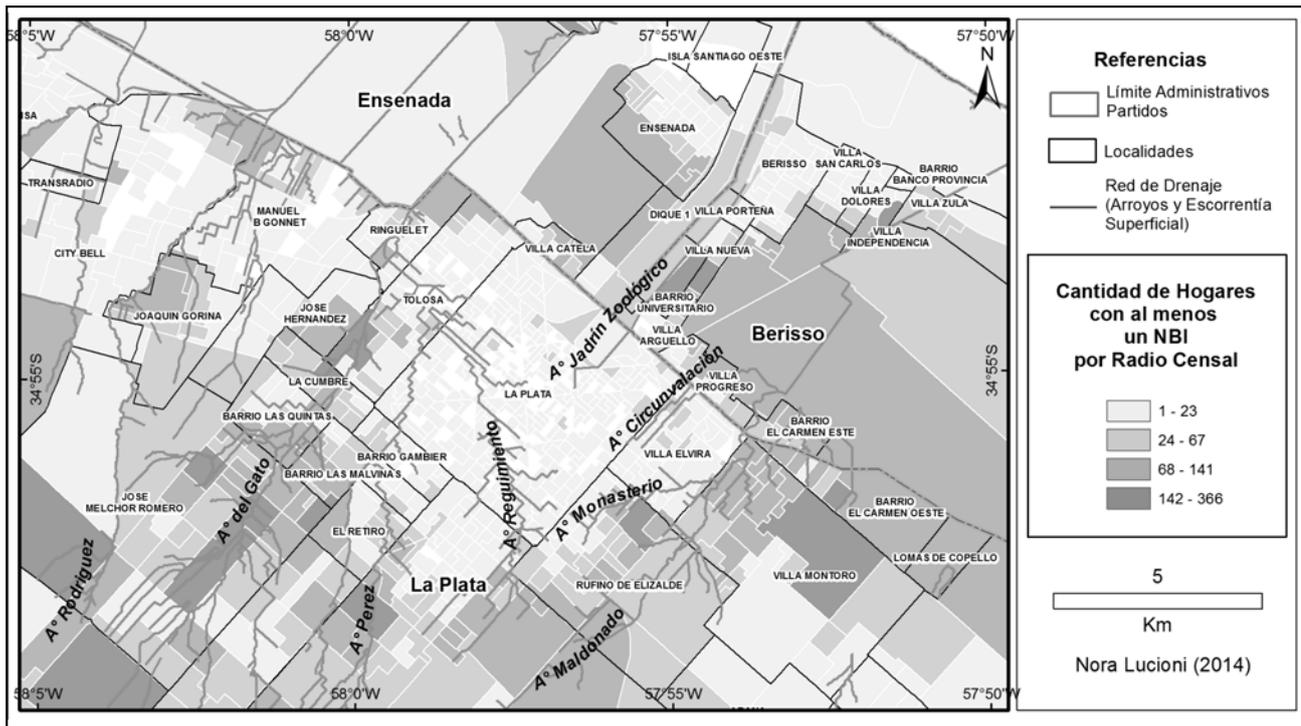


Figura 6. Hogares con al menos un NBI por Radio Censal (Lucioni, 2014).

remoto, refrigerador con *freezer*, lavarropas automático, secarropas, equipo de video, *freezer* independiente, aire acondicionado, teléfono, computadora personal, tarjeta de crédito del PSH, automóvil. El índice otorga un puntaje a cada ítem excepto automóvil, y un puntaje separado a la posesión de automóvil.

En la siguiente Figura 7 se representan los hogares con Nivel Socioeconómico (NSE) marginal con la finalidad de

relacionar su localización con los valles de inundación de los arroyos Regimiento, Pérez y del Gato.

Los tres municipios presentan condiciones sociodemográficas similares. Asimismo, es importante destacar que en los tres municipios los porcentajes más elevados de población con NBI, se concentran en las periferias de los núcleos urbanos, coincidiendo esto, con las zonas de mayor crecimiento demográfico de las últimas décadas.

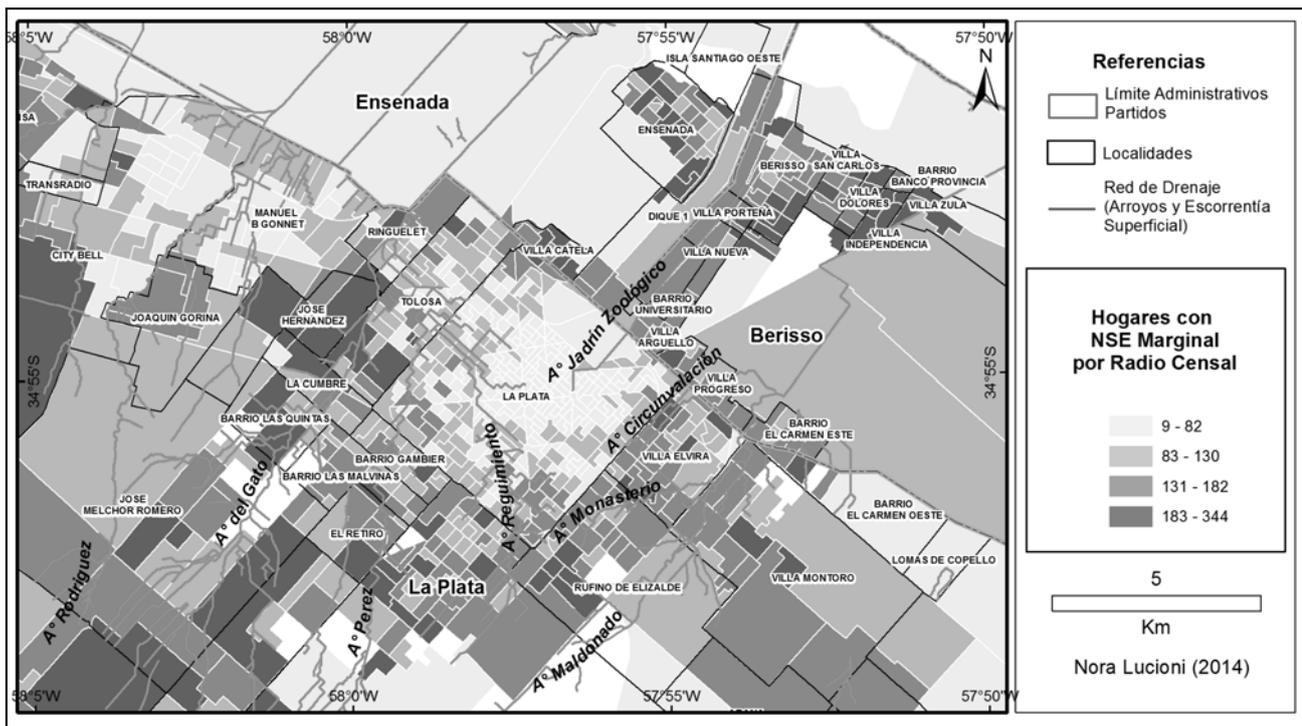


Figura 7. Hogares con Nivel Socioeconómico (NSE) marginal por radio censal (Lucioni, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego del evento del 2 de abril de 2013 y mediante el estudio de: la red hidrográfica superficial, la altimetría, los usos del suelo, la infraestructura urbana y el procesamiento de los datos sociodemográficos del INDEC (2010) y del EPH (2013), se llegaron a los siguientes resultados:

- 1) La localización espacial de las áreas anegadas coincide en gran parte con los valles de inundación de los arroyos Regimiento, Pérez y del Gato como señala la

Figura 8a y detallada en los perfiles topográficos de la Figura 8b. El área de afectación impactó sensiblemente a la población de menores recursos económicos.

- 2) El evento de inundación afectó un alto porcentaje de la población de bajo NSE localizados en la periferia de la Ciudad de La Plata como también a los hogares con alto NSE localizados dentro del casco histórico de la misma (Figura 9).
- 3) La construcción del mapa de riesgo de inundación (Figura 10).

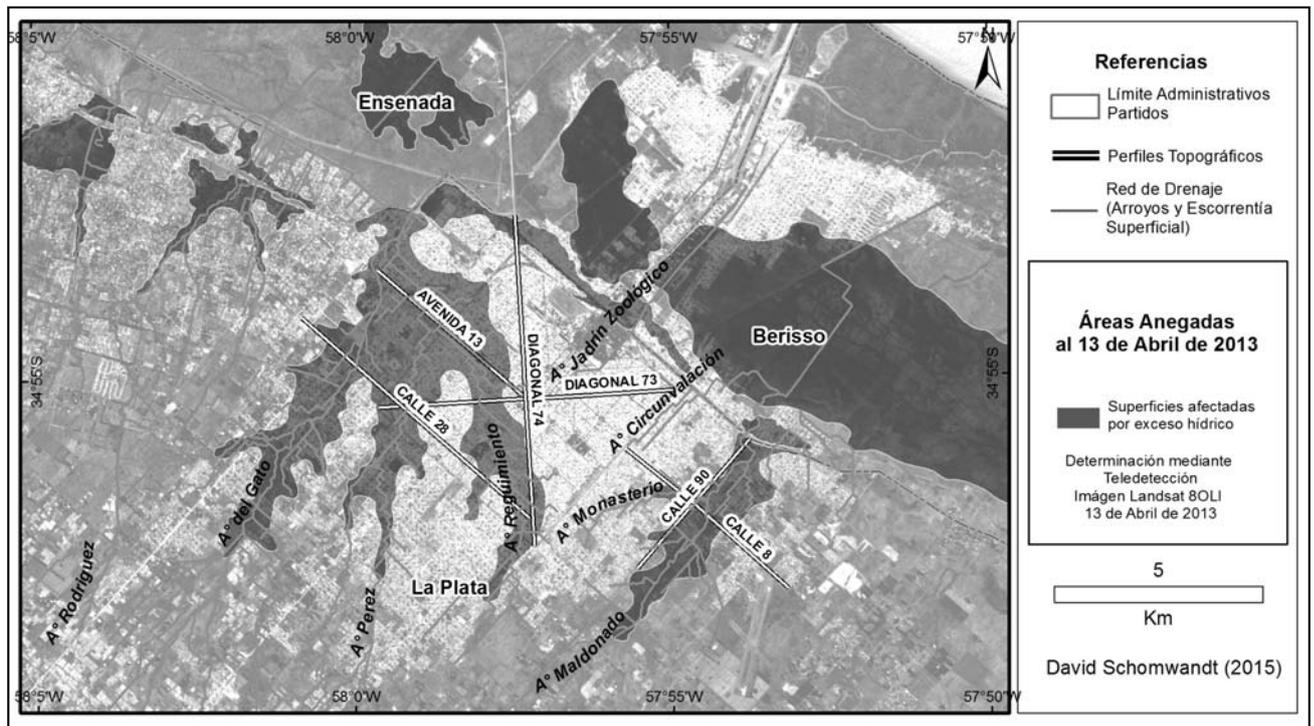


Figura 8a. Localización espacial de áreas anegadas al 13 de abril de 2013 (Schomwandt, 2015).

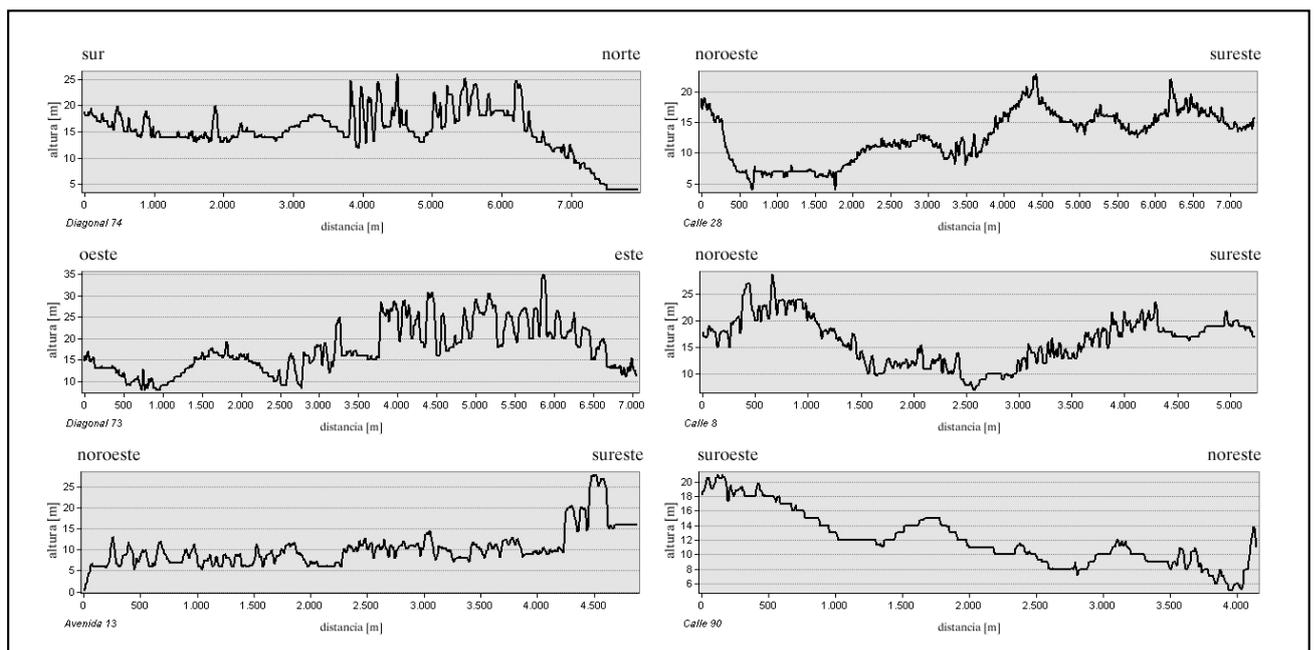


Figura 8b. Perfiles topográficos asociados a las áreas anegadas al 13 de abril de 2013 (Schomwandt, 2015).

En virtud al análisis de escorrentía superficial derivado del MDT se verifica que el entramado urbano de la Ciudad de La Plata impide el drenaje natural de la zona. Por otra parte, se ha incrementado el coeficiente de impermeabilidad debido al incremento de la superficie construida de la Ciudad y a la disminución de las superficies absorbentes debido a la pavimentación progresiva de calles y embaldosado de veredas. Esto hace suponer que la zona sigue vulnerable a eventos extraordinarios similares al ocurrido en el año 2013.

Los perfiles trazados sobre la "Avenida 13" y "Calle 28" demuestran los bajos naturales en la cual está asentada la población residente al oeste de la "Diagonal 74". También señalan que los boulevares que circunvalan el caso histórico se encuentran elevados, los cuales impidieron el drenaje de las aguas, días después del evento.

Mediante la interpretación de la distribución de indicadores sociodemográficos provenientes del último *Censo 2010*, se procedió a calcular la población expuesta a eventos de inundación. Las mismas fueron agrupadas por nivel de criticidad "Alto" y "Muy alto" (Tabla 2). Cabe aclarar que las áreas clasificadas como "Muy alto" reúne el criterio de áreas de menor cota relativa, asociadas a cauces y planicies de inundación actualmente urbanizadas o en proceso de estarlo (Figura 10).

Por último, en el trabajo de *Andrade et al. (2012)*, publicado previamente al evento de inundación de abril de 2013, ya alertaba que el casco fundacional de la Ciudad de La Plata se concentraba la mayor heterogeneidad sociodemográfica asociada con valores de alto riesgo de inundación.

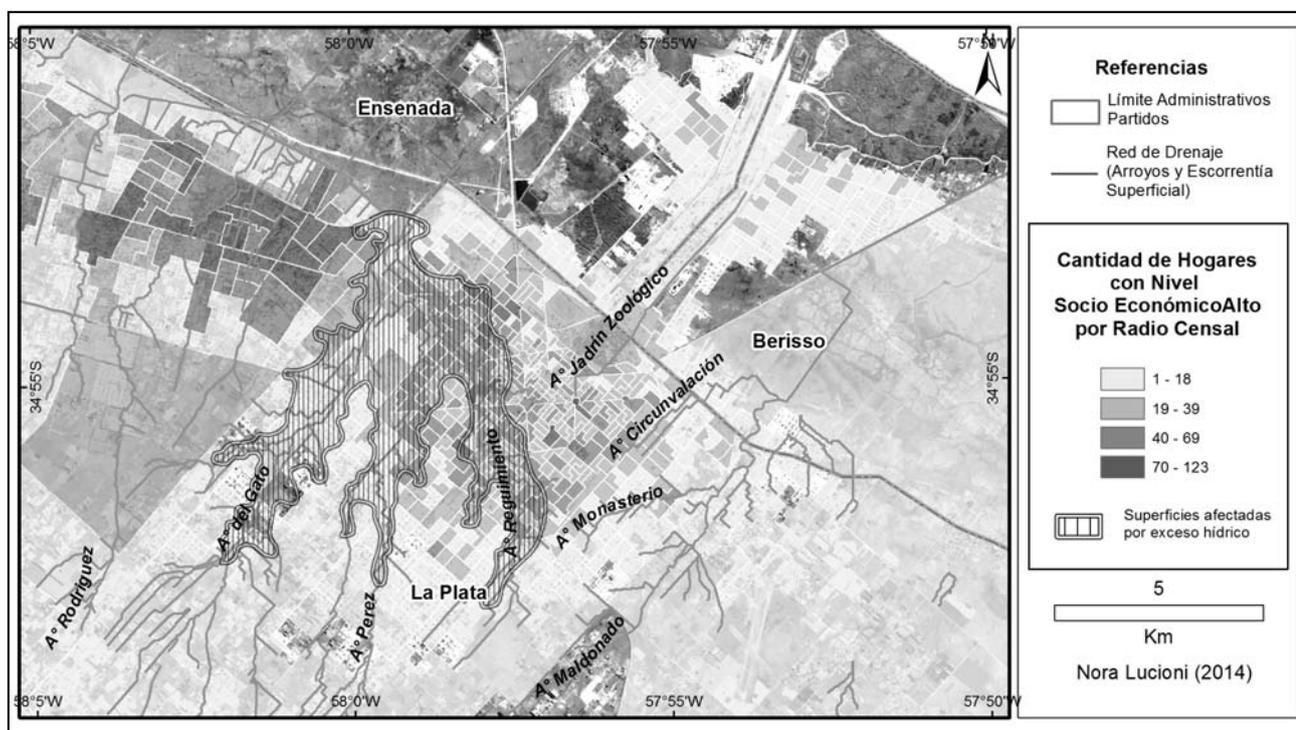


Figura 9. Localización espacial de áreas anegadas al 13 de abril de 2013 sobre áreas de hogares con Nivel Socioeconómico "Alto" por Radio Censal (Lucioni, 2014).

Tabla 2. Población afectada con alto riesgo de inundación según datos censales INDEC (2010).

Partido	% Población	% Hogares	% Hogares con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)	% Población desocupada	Riesgo
BERISSO	22,49	21,29	37,63	24,50	Muy alto
ENSENADA	21,23	20,53	21,02	22,77	Muy alto
LA PLATA	7,16	7,03	4,87	7,41	Muy alto
Partido	% Población	% Hogares	% Hogares con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)	% Población Desocupada	Riesgo
BERISSO	2,70	3,06	1,91	2,38	Alto
ENSENADA	0,24	0,24	0,25	0,18	Alto
LA PLATA	11,06	10,73	9,53	11,11	Alto



Figura 10. Mapa de Riesgo de inundación calculadas al 13 de abril de 2013 (Schomwandt, 2015).

REFLEXIONES FINALES

La metodología aportó información sobre la modificación del sistema de drenaje natural debido al proceso de la urbanización, esto a su vez derivó gracias a las técnicas de análisis espacial en la construcción de la cartografía en detalle de las áreas de riesgo de inundación producidas por exceso de precipitaciones en el Gran La Plata.

Se realizó un análisis de las relaciones existentes entre los cambios producidos por el proceso de urbanización sobre la cuenca y la ocurrencia de los eventos de inundación, y esto dio como resultado una cuantificación de las áreas expuestas a ser anegadas o inundadas por el exceso de precipitación.

Deriva de estas dos primeras conclusiones la creación de modelos predictivos con la finalidad de evaluar el riesgo hídrico en base a datos de percepción remota, estudios multitemporales y complementados con trabajo de campo de los sectores de peligrosidad natural ocupados por la expansión urbana en la actualidad y considerando las posibles expansiones urbanas en un futuro cercano.

Un aporte que esta investigación pretende llegar hacer a futuro es colaborar con la cartografía de gestión de emergencias, la misma es de fuerte carácter aplicativo por cuanto que su finalidad es la utilización en los procesos operativos de intervención ante la ocurrencia de desastres naturales.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AMEGHINO, F., 1889.

Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.*

ANDRADE, M.I., 2003.

Planificación y gestión integral de los recursos hídricos. Caracterización del riesgo hídrico. *En: Maiola, Gabellone y Hernández (Ed.), Inundaciones en la región pampeana. EDULP. La Plata, Argentina.*

ANDRADE, M.I., 2004.

Tratamiento de las Inundaciones en el Gran La Plata. Una mirada desde la teoría social del Riesgo. *Actas VI Encuentro Internacional Humboldt, "América Latina más allá de los noventa", 13 al 17 setiembre - Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.*

ANDRADE, M.I., 2009.

Escasez de agua, vulnerabilidad e incertidumbre. ç *En: EGAL. (Encuentro de Geógrafos de América Latina). 3 al 7 de abril de 2009.*

- ANDRADE, M. I. Y LAPORTA, P., 2009.
Las respuestas de los distintos actores ante eventos hídricos extremos desde la Teoría Social del Riesgo.
En: IV Congreso Argentino y Latinoamericano de Antropología Rural. Mar del Plata. 25 al 27 de marzo del 2009
- ANDRADE, M.I.; LUCIONI, N. Y IEZZI, L., 2012.
Factores de riesgo hídrico en el Gran La Plata, Argentina.
Actas IX Jornadas nacionales de Geografía Física. Bahía Blanca, 19 al 21 de abril.
- ANDRADE, M.I. y LUCIONI, N., 2014.
Propuesta metodológica para el monitoreo de áreas con riesgo hídrico. Provincia de Buenos Aires, Argentina.
Actas III Congreso Internacional de Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica. Universidad Nacional de General Sarmiento – Universidad Nacional de Luján.
- ANDRADE, M.I.; LUCIONI, N. Y SCHOMWANDT, D. 2014.
Vulnerabilidad social y riego hídrico en el Gran La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina.
Actas de XVI Jornadas de Investigación en Geografía. La Plata. Argentina.
- AYALA CARCEDO, F.J., 2002.
Introducción al análisis y gestión de riesgos.
In Ayala-Carcedo, F.J. y Olcina Cantos, J. (Coords.). Riesgos naturales. Barcelona: Ariel Ciencia.
- BERRI, G., 2001.
Hidrometeorología de las inundaciones en la Argentina y en el AMBA.
En: Kreimer, A., Kulloc, D. y Valdés, J. (ed.) Inundaciones en el Área Metropolitana de Buenos Aires. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial, Washington, D.C., EE.UU.
- BLAIKIE, P.; CANNON, F.; IAN, D. y WISNER, B., 1998.
Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres.
Bogotá, La Red/Itdg.
- CALVO GARCÍA TORNEL, F., 2002.
Sociedades y territorios en riesgo. Barcelona.
Ediciones del Serbal.
- CHUVIECO SALINERO, E., 2002.
Teledetección ambiental.
La observación de la Tierra desde el Espacio. España.
- DEGIOANNI, A.; CISNEROS, J. Y RANG, S., 2001.
Teledetección y SIG para la gestión hidrológica del territorio.
Revista de Teledetección N°15, mes de junio.
- DEL BARCO, P., TARDITO, R. Y S. GRACIANO (2003)
Aplicación de la teledetección en áreas de riesgo hídrico. Caso de estudio: sistema Arroyo Saladillos y río San Javier, provincia de Santa Fe.
En: Primer Congreso de la Ciencia Cartográfica, VIII Semana Nacional de cartografía, 25, 26 y 27 de junio.
- DEL CUETO, M.S., 2013.
Los factores que influyeron en la inundación de La Plata: las lluvias extremas.
En: Hábitat y Territorio. Cátedra Libre. Planificación estratégica, desarrollo humano y ocupación del espacio en el Proyecto Nacional J. D. Perón. (Último ingreso en marzo 2015)
- DÍEZ HERRERO, A. Y PUJADAS FERRER, J., 2002.
Los mapas de riesgos de inundaciones.
En Ayala-Carcedo, F.J. y Olcina Cantos, J. (Coords.). Riesgos naturales. Barcelona: Ariel Ciencia.
- ENCUESTA PERMANENTE DE HOGARES (EPH), 2013.
Mercados de trabajo, principales indicadores.
Resultados último trimestre de 2013. INDEC.
- FERNÁNDEZ, L., 2012.
Expansión urbana y sus impactos en los servicios ecológicos en la cuenca del río Luján.
En: La Privatopía sacrílega. Efectos del urbanismo privado en humedales de la cuenca baja del río Luján. Patricia Pintos y Patricio Narodowski (coord.) Buenos Aires.
- FERNÁNDEZ, SILVINA, KOCHANOWSKY Y A. SGROI, 2010.
Urbanizaciones cerradas polderizadas en la cuenca baja del río Luján. Aproximaciones al dimensionamiento del fenómeno.
En: Revista Geograficando, año 6 nº6 p.165-182. Memoria Académica. FaHCE - Universidad Nacional de La Plata.
- FIDALGO, F. Y MARTINEZ, R., 1983.
Algunas Características Geomorfológicas dentro del Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires.
En: Revista Asociación Geológica Argentina 38: 263 - 279.

- FUNTOWICZ, S. Y RAVETZ, J., 1993.
Riesgo global, incertidumbre e ignorancia.
En: Epistemología política. Ciencia con la gente. Buenos Aires, CEAL, pp. 11-42.
- HERNÁNDEZ, M.; GONZÁLEZ, N.; CABRAL, M.; GIMÉNEZ, J. Y HURTADO, M., 2003.
Importancia de la caracterización física del riesgo hídrico en la llanura húmeda.
En: Mamola, Gabellone y Hernández, Inundaciones en la región pampeana. Editores. EDULP. La Plata, Argentina.
- HURTADO, M.; GIMENEZ, J.; CABRAL, G.; DA SILVA, M.; MARTÍNEZ, O.; CAMILIÓN, M.C.; SÁNCHEZ, C.;
MUNTZ, D.; GEBHRD, J.; FORTE, L.; BOFF, L.; CRINCOLI, A.; Y LUCESOLI, H., 2006.
Análisis Ambiental del Partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento Territorial. Instituto de Geomorfología y Suelos. Centro de Investigaciones de Suelos y Aguas de Uso Agropecuario (CISAUA).
Convenio Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de La Plata.
- INDEC, 1991.
Censo Nacional de Población y Viviendas 1991.
Argentina.
- INDEC, 2001.
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001.
Argentina.
- INDEC, 2010.
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.
Datos definitivos a nivel de radios censales. Argentina.
- JENSON, S. Y DOMINGUEZ, J., 1988.
Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 54, N° 11, november 1988, pp. 1593-1600.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN), 2013.
Vuelos fotogramétricos del Gran La Plata con la Cámara Microsoft Vexcel UltracamXP.
- KANDUS, P., MORANDEIRA, N. Y SCHIVO, F., 2010.
Bienes y Servicios Ecosistémicos de los Humedales del Delta del Paraná.
Fundación Humedales / Wetlands International. Buenos Aires, Argentina.
- LAVELL, A., 2002.
Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación.
En: La Red (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina). Ciudad de Panamá.
Disponible en <http://www.desenreddando.org>.
- LISCIA, S.; AMARILLA, R.; BACCHIEGA, D.; BREA, D.; CARNER, J.; CIELLI, P.; DIAS, R.; LOPARDO, C.; MAURIÑO, M.; SPALLETTI, P.; ZARATE, F.; ANGHEBEN, E.; BIANCHI, G.; BORRELLI, F.; CECOTTI, R.; CIPPONERI, M.; LUCINO, C.; ROMANAZZI, P.; TAVECCHIO, H.; RIZZI, G., 2013.
Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada.
Departamento de Hidráulica. Facultad de Ingeniería. Universidad de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- LUCIONI, N., 2006.
Identificación de áreas con riesgo de inundación en la porción nordeste de la Provincia de Buenos Aires. Período 1980.2003.
Trabajo Final de Carrera de Especialización en Teledetección y SIG aplicados al estudio del medio ambiente. Universidad Nacional de Luján. Inédito.
- LUCIONI, N., 2014.
Procesamiento de indicadores demográficos y socioeconómicos del Gran La Plata a partir de datos provenientes del INDEC a nivel de radios censales.
Centro de Investigaciones Geográficas (CIG). IdIHCS. Facultad de Humanidades y Ciencias de Educación. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Argentina. Inédito.
- MASGRAU, R.L., 2004.
Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas.
Documents d' Anàlisi Geogràfica.
- ORMEÑO VALLEJOS, S., 1993.
Teledetección fundamental.
Universidad Politécnica, Madrid.
- PEREYRA, F.X., 2004.
Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental.
Revista Asociación Geológica Argentina [online]. vol.59, n.3, pp. 394-410.

- PINTOS, P. Y NARODOWSKI, P., 2012.
Cambios en la configuración de los territorios metropolitanos y proyectos en pugna en un país de la periferia capitalista.
En: La Privatopía sacrílega. Efectos del urbanismo privado en humedales de la cuenca baja del río Luján. Patricia Pintos y Patricio Narodowski (coord.) Buenos Aires.
- REBELLA, C. Y GONIADZKI, D., 2003.
Sistema de monitoreo hídrico para la Región pampeana central y Cuenca del Río Salado bonaerense.
En: Mamola, Gabellone y Hernández. Editores. Inundaciones en la región pampeana. EDULP. La Plata, Argentina.
- RIBAS PALOM, A., 1994.
Natura, societat i calamitat. Una aproximació a les inundacions històriques de la ciutat de Girona.
Tesis doctoral. Girona: Universitat de Girona.
- RIGGI, J., FIDALGO, F., MARTÍNEZ, O. Y PORRO, N., 1986.
Geología de los Sedimentos Pampeanos en el Partido de La Plata.
Revista Asociación Geológica Argentina 41(3-4): 316-333.
- RÍOS, D., 2006.
Cambios en la producción del espacio urbano residencial en la periferia de la ciudad metropolitana de Buenos Aires. Un estudio de caso en el municipio de Tigre.
En: Revista Estudios demográficos y urbanos, vol.21, N°3.
- RÍOS, D. Y PÍREZ, P. 2008.
Urbanizaciones cerradas en áreas inundables del municipio de Tigre: ¿producción de espacio urbano de alta calidad ambiental?
En: Revista Eure Vol. 34(101): 99-119.
- ROMANAZZI, P. Y URBIZTONDO, A., 2007.
Estudios hidrológicos-hidráulicos-ambientales en la cuenca del Arroyo del Gato.
Actas IV Jornadas de Sanamiento Pluvial Urbano. Ciudad de Rosario.
- RUSSO, A., FERELLO, R. Y CHEBLI, G., 1979.
Llanura Chaco Pampeana. Actas Segundo Simposio de Geología Regional Argentina.
Academia Nacional de Ciencias 1, pp. 139-183, Córdoba.
- SCHOMWANDT, D., 2015.
Mapa geomorfológico, Mapa de Riesgo de inundación y Modelos de Elevación y Superficie del Aglomerado del Gran La Plata. Centro de Investigaciones Geográficas (CIG).
IdIHCS. Facultad de Humanidades y Ciencias de Educación. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Argentina. Inédito.
- TCHILINGUIRIAN, P.; AZCURRA, D.; KAKU, M.; Y CANDAOSA, G., 2003.
Aplicación de imágenes satelitales ASTER en zonas inundadas, Laguna Picasa, provincia de Santa Fe.
Actas Primer Congreso de la Ciencia Cartográfica y VIII Semana Nacional de Cartográfica, Buenos Aires.
- VENTIMIGLIA, L.; CARTA, H. Y RILLO, R., 2003.
Inundaciones: un problema para todos. En: Mamola, Gabellone y Hernández, Inundaciones en la región pampeana. Editores. EDULP. La Plata, Argentina.
- YRIGOYEN M., 1993.
Morfología y Geología de la Ciudad de Buenos Aires.
En: Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería 7: 7-38. Buenos Aires.



Proposta de ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (sp), na escala 1:50.000: potencial à escavabilidade dos maciços de solos

Territorial planning in Rio das Pedras (sp) watershed, 1:50.000 scale: soil masses potential excavation

Galiano, Valdir Aparecido ¹ ✉ - Lorandi, Reinaldo ² - de Lollo, José Augusto ³

Recibido: 4 de mayo de 2015 • Aceptado: 2 de mayo de 2016

Resumo

No presente trabalho foi efetuada uma análise espacial dos principais atributos do meio físico da área da bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras (SP), com o intuito de obter uma carta interpretativa de escavabilidade para obras enterradas (escala 1:50.000), que possa avaliar e indicar as regiões cujos potenciais do meio físico possam adequar-se a determinado tipo de obra civil. Para a confecção da carta interpretativa foram utilizadas informações pré-existentes, representadas por sondagens de simples reconhecimento, e coletas no campo de amostras indeformadas e deformadas para análises de laboratório, permitindo estimar as propriedades dos materiais inconsolidados. Os resultados mostraram que a elaboração deste documento cartográfico, visa orientar plano diretor, prefeitura e empreendedores na busca de uma expansão urbana mais ordenada e menos impactante.

Palavras chave: ordenamento territorial, carta interpretativa de escavabilidade, materiais inconsolidados, expansão urbana

Abstract

In the present work a space analysis of the main attributes of the urban expansion's physical environment of the Ribeirão das Pedras basin (SP) was achieved with the purpose of obtaining an interpretative map of excavability for buried works (1:50,000 scale), capable of evaluating and indicating the areas whose potentials of the physical environment can be adapted to certain types of civil work. For the conception of the interpretative map, pre-existent information was used, represented by surveys of simple recognition, and undisturbed and disturbed collections in the field of samples for laboratory analyses, thus allowing estimated the properties of the unconsolidated materials. Results show that this map seeks to give guidance to the plan director, city hall and entrepreneurs looking for a more ordinate urban expansion but with less impact.

1. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Departamento de Engenharia Civil, Rua da Consolação, 930 - Consolação, São Paulo (Brasil).

✉ va.galiano@gmail.com

2. Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Rodovia Washington Luís, km 235, São Carlos (Brasil).

3. Univ. Estadual Paulista - UNESP, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira (Brasil).

For the conception of the interpretative map, pre-existent information was used, represented by surveys of simple recognition, and undisturbed and disturbed collections in the field of samples for laboratory analyses, thus allowing estimated the properties of the unconsolidated materials. Results show that this map seeks to give guidance to the plan director, city hall and entrepreneurs looking for a more ordinate urban expansion but with less impact.

Keywords: territorial planning, map of excavability, unconsolidated materials, urban expansion

INTRODUÇÃO

O problema da degradação ambiental é bastante antigo, confundindo-se no tempo e no espaço com a evolução e a capacidade modificadora do homem em relação ao meio ambiente. A apropriação, o uso e a exploração desse meio são realizados, em geral, de forma indiscriminada, levando em consideração tão somente atender às necessidades e resultados imediatos e privilegiando políticas desenvolvimentistas que contemplam apenas os aspectos econômicos e financeiros.

O desenvolvimento sustentável de uma região torna-se possível quando respeitadas as potencialidades e limitações do meio físico. Esse desenvolvimento é subsidiado pelo conjunto de informações do meio físico, pertinentes a diversas áreas do conhecimento, como a geologia, a ciência do solo, a hidrogeologia, o estudo da geomorfologia, entre outras. Atualmente, esses estudos têm obtido sucesso, como o emprego dos procedimentos do Mapeamento Geotécnico, que reúne um grande número de informações de diversas áreas para um único produto final.

Por outro lado, como citam diversos autores, os recursos hídricos, insumos indispensáveis à vida, precisam ser preservados para a conservação do equilíbrio do meio ambiente. Segundo Franz (2011), além do crescimento populacional acelerado e do comprometimento da qualidade das águas dos rios, a diminuição da cobertura vegetal também representa um importante fator que conduz à escassez hídrica.

Por sua vez, Loures et al (2004) argumenta que a escassez desses recursos, cresce em uma relação direta entre o aumento das demandas locais e a degradação da qualidade das águas, em função dos desordenados crescimentos urbano, industrial e agrícola. Portanto, é notório que a ocorrência desses problemas, cada vez mais evidentes desse setor, demanda o gerenciamento correto dos recursos hídricos vem adquirindo cada vez mais importância e interesse de toda a sociedade.

O planejamento e ordenamento territorial é um instrumento útil para, prevenir os impactos negativos que frequentemente aparecem quando o homem se apropria dos recursos ambientais para o atendimento das suas necessidades básicas de espaço (moradias, atividades rurais, etc.) e de insumos de uso imediato como água, energia, materiais e alimentos. Assim, a utilização desta ferramenta viabiliza definir cartograficamente os setores de um território que apresentem peculiaridades de qualidade ambiental com o objetivo principal de, a partir da análise destes aspectos, propor um melhor uso, preservação, recuperação ou reabilitação das áreas que se encontram degradadas por atividades antrópicas incompatíveis com sua vocação de uso, permitindo delimitar as áreas potenciais ao crescimento urbano e industrial, minimizando assim futuras ações corretivas resultantes da ocupação de sítios inadequados (Oliveira, 2010).

Por outro lado, com o advento das técnicas de geoprocessamento no estudo dos recursos hídricos (Bielenski & Barbassa, 2012), o levantamento de dados geotécnicos feito, a partir desta ferramenta, tem se mostrado cada vez mais presente, facilitando a utilização destes dados pelos órgãos estaduais e municipais, no intuito de auxiliar o planejamento do uso e ocupação do solo de cada região investigada.

Pelo exposto, mostra-se de suma importância a obtenção de dados geotécnicos específicos da área da bacia hidrográfica do ribeirão das Pedras (SP) para contribuir com o planejamento territorial dessa área física. A integração da geotecnia com as demais áreas que planejam uma região e/ou cidade somente

ocorre pelo conhecimento das condicionantes e dos mecanismos de escavação de solos e/ou rochas (Mendes & Lorandi, 2001), permitindo a busca conjunta das áreas com potencial de extração desses materiais naturais.

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio das Pedras (BHRP) localiza-se na região centro-leste do Estado de São Paulo e faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Mogi Guaçu – UGRH 9. Compreendendo uma área de drenagem de 111,37km², essa bacia de quarta (4^a) ordem (Strahler, 1952) com padrão de drenagem dendrítica (Christofolletti, 1974), tem como coordenadas (UTM) extremas: nascente (NO) – W252383.279m, S7590710.299m; nascente (NE) – W262962.400m, S7591473.888m e foz – W252545.067m e S7578471.073m, fuso 23S, Datum: Córrego Alegre.

Segundo informações emitidas por Fehidro (2011), o território brasileiro se mostra definido em Regiões Hidrográficas estabelecidas pela Resolução número 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos de 15 de outubro de 2003, a qual definiu a divisão hidrográfica nacional. Na caracterização em nível federal, a bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu pertence à Região Hidrográfica do Paraná, a qual é constituída pela bacia hidrográfica do rio Paraná.

No Estado de São Paulo, a bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu (UGRHI-09) localiza-se na região nordeste do Estado. Essa UGRHI apresenta limites com as UGRHI's: Piracicaba/Capivari/Jundiá; Tietê/Jacaré; Tietê/Batalha; Turvo/Grande; Baixo Pardo/Grande e Pardo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu foi subdividida, em 1995, em compartimentos econômico-ecológicos no "Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio-Grande" (São Paulo-SMA, 1995), sendo, em 2008, readequados, objetivando facilitar o planejamento e as ações dentro destes compartimentos. Desse modo foram realizados ajustes dos limites do compartimento Alto Mogi para que represente o trecho crítico da bacia, no qual é desenvolvido o Projeto Estiagem, coordenado pela CETESB (Regional Pirassununga). E também foram alterados os limites entre o compartimento Médio Mogi (antigo Médio Mogi Superior) e o Baixo Mogi (Antigo Médio Mogi Inferior) para que o seus limites coincidisse com os divisores de água dos principais afluentes do rio Mogi Guaçu daquelas áreas.

Uma das sub-bacias dessa UGRHI é a do Rio das Pedras, que está toda inserida no compartimento Médio Mogi Superior e está classificado como um curso d'água classe 2. Com base em cartogramas na escala 1:2.500.000 (Feitosa, 2008), essa bacia hidrográfica encontra-se localizada na Província Hidrogeológica da Bacia do Paraná, caracterizada por apresentar valores de capacidade específica acima de 10 m³/h.m-1 e no subdomínio Bacia do Paraná (2Pr), caracterizado por apresentar muita alta a média favorabilidade hidrogeológica (incluem as principais unidades aquíferas da bacia sedimentar, representadas pelas formações Botucatu, Pirambóia, Guará, Caiuá, Bauru, Furnas).

Numa versão mais detalhada da distribuição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo (escala 1:1.000.000), nota-se, num estudo publicado por São Paulo (São Paulo-DAEE-IG-IPT-CPRM, 2005), que a bacia hidrográfica objeto de estudo encontra-se territorialmente envolvida pelos aquíferos Guarani (aflorante) e Serra Geral Intrusivas.

O clima da região estudada é classificado, de acordo com o sistema de Köppen, como sendo do tipo Cwa, isto é, mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. Do ponto de vista de balanço hídrico, há uma nítida distinção entre a estação seca (maio a setembro), com conseqüente deficiência hídrica e, a chuvosa (outubro a abril).

A partir da interpretação de imagens de satélite feita por Oliveira (1995) e dos trabalhos de campo realizados por Tórezan (2000), foram identificadas e classificadas as formações vegetais remanescentes na área da proposta de APA de Descalvado sugerida pelo mesmo autor. Com essa abordagem, foi possível a identificação das principais formações vegetais, como cerrado (cerradão e cerrado "senso estrito"), mata mesófila (floresta estacional semidecidual) e mata ciliar. Esses remanescentes se encontram dispersos em manchas relativamente isoladas no meio da ocupação agrícola, onde a maior reserva atinge cerca de 1000 hectares.

Segundo a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo de Ross & Moroz (1997), a área de estudo localiza-se na Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, com a maior parte de sua área situada na Unidade Morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista e uma menor porção abrangendo a Unidade Morfoescultural da Depressão Periférica Paulista.

Tal morfoescultura, segundo esses autores, mostra-se representada na área pela unidade morfológica denominada Planalto Residual de São Carlos, tendo uma pequena porção inserida sobre a unidade morfoescultural denominada Patamares Estruturais de Ribeirão Preto, as quais podem ser assim descritas: Dentro do Planalto Ocidental Paulista tem-se o Planalto Residual de São Carlos cujo modelado constitui-se basicamente por colinas de topos convexos (Dc) e tabulares (Dt), apresentando formas de dissecação média, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, o que implica, portanto em um nível de fragilidade potencial médio a baixo, para os terrenos pouco dissecados e altos a muito altos para os terrenos muito dissecados; e os Patamares Estruturais de Ribeirão Preto cujo modelado constitui-se basicamente por colinas amplas e baixas com topos tabulares (Dt), tendo os vales entalhamento médio com menos de 20m e a dimensão interfluvial varia de 750 m até mais de 3750 m, apresentando formas de relevo pouco dissecado com vales pouco entalhados, com vertentes de declividades baixas e solos argilosos e baixa densidade de drenagem esta unidade apresenta fragilidade potencial muito baixa, ou seja, com baixo potencial erosivo.

Na área correspondente à subunidade Depressão Periférica Paulista, a bacia do Rio Bonito situa-se sobre a unidade morfológica denominada Depressão de Moji-Guaçu. Nesta unidade predominam formas de relevo denudacionais cujo modelado constitui-se basicamente por colinas de topos tabulares amplos, onde os vales são entalhados até 20 m e a dimensão interfluvial oscila entre 1750 a 3750 m. A drenagem apresenta um padrão dendrítico com algum condicionamento estrutural. Por apresentar padrão de dissecação baixo com vales pouco entalhados e com densidade de drenagem baixa, esta unidade apresenta, em geral, um nível de fragilidade potencial muito baixo, com baixo potencial erosivo.

As cotas encontradas na área de estudo situam-se entre 540 e 1.042 m (diferença de nível de 502 m) tendo como ponto mais alto o topo do Morro do Quadrão, com 1.042 m de altitude. Assim, os locais com altitudes mais elevadas localizam-se

na porção sudoeste da área de estudo, regredindo em direção nordeste até atingir áreas de menores altitudes (540 m) na várzea do Rio Mogi-Guaçu. Observa-se, na área de estudo, segundo Cançado (2003), a predominância (aproximadamente 43% da área da bacia) de declividades suaves (0 a 5%). A classe de declividade mais acentuada (maior que 30%) limitou-se a aproximadamente 2,5 % da área da bacia e está localizada predominantemente nas nascentes do Rio Bonito (Serra Grande, Serrote de Descalvado).

Numa escala geológica continental, a área está inserida no domínio geológico denominado Cobertura Fanerozoica (inclusive da província sub-andina), na compartimentação geotectônica Cráton Paraná, na Província Estrutural do Paraná (Hasui, 2012). No que se refere à geologia regional, mapeada por Brasil-DNPM (1979) na escala 1:250.000, ocorrem nessa área as seguintes unidades litológicas: argilitos, folhelhos e siltitos (Formação Corumbataí, Permiano); arenitos médios a muito finos (Formação Pirambóia, Triássico); e lavas basálticas toleíticas (Formação Serra Geral, Juro-Cretáceo).

Quanto à geologia local, a BHRM apresenta siltitos da Formação Corumbataí, arenitos fluviais da Formação Pirambóia, rochas Intrusivas Básicas, sedimentos terciários da Formação Pirassununga, e depósitos recentes do Quaternário.

METODOLOGIA

Os planos de informação georreferenciados utilizados no trabalho foram elaborados utilizando o software ArcGIS® 10.2. Para a montagem do banco de dados, foram utilizados seguintes documentos cartográficos: carta topográfica de Pirassununga (SF-23-V-C-V-3), produzida por Brasil-IBGE (1983), mapa das formações geológicas de superfície (São Paulo-IG, 1981) e mapa de materiais inconsolidados (Galvão, 2001), todos na escala 1:50.000. Também foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT_8 de 19/03/2014 (composição colorida RGB das bandas 4, 5 e 6 com fusão com a banda pancromática 8 de 15 metros) (United States - USGS, 2014) e imagens do satélite IKONOS de 23/02/2010 com resolução espacial de 1 metro (ESRI, 2014).

Os documentos cartográficos geotécnicos específicos ao tema abordado foram produzidos com base na metodologia elaborada por Pejon (1992) e detalhada em Pejon & Zuquette (2001).

Considerando os objetivos, atributos e seus níveis e finalidades definiu-se, segundo Zuquette (1993), quatro Classes Básicas de Adequabilidade, que foram utilizadas no mapeamento:

- a) *Favorável*: A totalidade dos atributos apresentam níveis adequados, podendo ocorrer que no máximo dois atributos de importância secundária apresentem níveis que os colocariam na classe moderada. A classe favorável significa que os recursos tecnológicos necessários à implantação serão os mais simples e baratos, o potencial de impactos negativos e de riscos serão os mais baixos dentro da região em estudo.
- b) *Moderada*: nesta, 80% (oitenta por cento) ou mais dos atributos fundamentais apresentam níveis compatíveis com as classes moderada e favorável. Em áreas classificadas como moderadas há possibilidades de ocorrência de impactos negativos e riscos. No decorrer da implantação de um tipo de ocupação poderá haver necessidade de recursos operacionais e tecnológicos mais onerosos e com alguma complexidade.

- c) *Severa*: nesta classe não mais do que 15% (quinze por cento) dos atributos apresentam níveis compatíveis com as classes moderada e favorável e também no máximo 15% (quinze por cento) na restritiva. Uma área classificada como severa apresenta possibilidades concretas quanto à ocorrência de impactos ambientais negativos e de riscos. Poderá, também, exigir recursos operacionais e tecnológicos caros e complexos para implantar as ocupações em comparação com a favorável.
- d) *Restritiva*: somente 20% (vinte por cento) dos atributos apresentam níveis que os caracterizem como das classes favoráveis, moderada e severa. As áreas enquadradas nesta classe devem ser ocupadas com o maior cuidado, pois exigirão recursos tecnológicos complexos e onerosos, podendo não compensar em termos de rendimentos, devido aos problemas que poderão ocorrer, como os impactos ambientais negativos e possibilidades de riscos.

CARTA DE POTENCIAL À ESCAVABILIDADE

Para a elaboração de uma carta temática é imprescindível, segundo *Pejon (1992)*, o conhecimento adequado das características do meio físico, ou seja, seus componentes (substrato rochoso, materiais inconsolidados, relevo) e atributos destes (litologia, granulometria, espessura, declividade, landforms). No caso presente, as condições de materiais inconsolidados existentes na área constituem o atributo essencial para avaliação da escavabilidade, uma vez que a textura, a compactidade, a espessura e as condições de ocorrência de água no perfil dos materiais inconsolidados são atributos que influem de forma decisiva na escavabilidade.

A distribuição espacial dos materiais inconsolidados na bacia é apresentada na Figura 1. Os percentuais da área ocupada por cada unidade são apresentados na Figura 2.

Material inconsolidado residual das rochas Intrusivas Básicas

O material inconsolidado residual das rochas Intrusivas Básicas ocorre em maior parte na área mapeada, nas regiões mais planas, apresentando: textura argilo-siltoso, comportamento laterítico (LG'), nas camadas mais superiores, e não lateríticos (NG'), nas camadas mais profundas, percentagem de argila superior a 50%, silte entre 25 e 40% e umidade ótima de 28 a 32%.

No ponto de coleta de número P4, ocorreu um considerável incremento no teor de silte da amostra da camada mais profunda (7,00 a 7,20 m), característico de um perfil de alteração de um solo residual. O incremento de silte é geralmente indicativo do aparecimento de saprolitos, confirmado pela ocorrência no comportamento NS' apresentado nesta amostra (Tabela 1).

Representada na área por diabásios, encontra-se em uma área relativamente plana, conferindo, com isso, várias características esperadas no mapeamento. Um percentual de 74,6% da área das rochas Intrusivas Básicas é formado por materiais inconsolidados residuais, originados pela decomposição mais lenta do basalto em relação às outras rochas e pela topografia pouco acidentada, diminuindo, com isso, a retrabalhabilidade do terreno pelo intemperismo físico.

Os materiais inconsolidados encontrados nesta formação podem chegar a centenas de metros de espessura em algumas regiões do país. Porém o aparecimento de solos saprolíticos, observado nesta área de estudo pelo comportamento não laterítico, aumento do teor de silte e diminuição da permeabilidade, em pequenas profundidades, encontrados nos resultados de outros pontos de coleta (P5, P6, P10, P13, P28 e P30) do mapeamento, é indicativo do menor grau de decomposição da rocha basáltica, que deu origem a esta formação, apesar das grandes espessuras do material inconsolidado que podem ser encontradas.

O baixo grau de laterização da rocha indica a existência de minerais silicatados nos materiais inconsolidados, fator que confere alta qualidade agrícola para estes materiais, classificados nas décadas passadas como "Terra-roxa", pela presença de óxidos de ferro. Porém estes minerais podem se "dissolver" em contato com a água ou reagir com a variação do nível do lençol freático, modificando a estrutura dos materiais inconsolidados. Podem, ainda, provocar a formação de pequenos blocos de argila, do tamanho de grãos de areia, denominados "pelts", que alteram o comportamento dos materiais inconsolidados, conferindo-lhes menor resistência.

Por exemplo, a ocorrência de permeabilidades, em geral mais baixas, nos materiais inconsolidados residuais das rochas Intrusivas Básicas, em relação aos materiais inconsolidados de outras formações argilosas, como a Corumbataí. Os índices de potencial à erosão acelerada, levemente maiores que os esperados, podem ser indicativo da ocorrência destes fatores.

Tabela 1. Caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados residuais das rochas intrusivas básicas.

Amostra	Profundidade	Ar	Si	Ag	χ_s	Mini-MCV		CTC	K_{20}
n°	(cm)	(%)	(%)	(%)	g/cm^3	Pi %	MCT	cmol(+)/Kg	[cm/seg ⁻¹]
P4A	0,50 a 0,70	11	29	60	2,844	80,0	LG'	9,2	$2,91 \times 10^{-3}$
P4B	3,50 a 3,70	12	17	71	3,064	1,0	LG'	11,0	$3,96 \times 10^{-3}$
P4C	7,00 a 7,20	16	40	44	3,062	140,0	NS'	18,4	$4,91 \times 10^{-4}$

Amostra	Profundidade	Mini-CBR			ρ_d	e_0	wot.	Índice de Erodibilidade
n°	(cm)	Exp.	Ret.	MCT	(g/cm^3)		(%)	
P4A	0,50 a 0,70	0,1	2,3	8,0	1,58	0,80	28,0	9,98
P4B	3,50 a 3,70	0,1	2,5	12,0	1,48	1,07	30,0	1,02
P4C	7,00 a 7,20	0,4	1,9	15,0	1,52	1,01	30,0	0,91

Materiais inconsolidados retrabalhados das rochas Intrusivas Básicas

Os materiais classificados neste grupo, que aparecem principalmente nos vales das regiões desta formação geológica, apresentaram teores de areia acima de 30% e comportamento laterítico, massa específica seca obtida com o proctor normal em torno de 1,6 g/cm³ (Tabela 2). Apresentaram permeabilidade baixa à praticamente impermeável, umidade ótima em média 23,0 a 31,0%, CTC do solo variando de 7,3 a 44,0 cmol+/Kg e índice de erodibilidade maior que 1 na maior parte dos ensaios (P28).

Materiais inconsolidados residuais da formação Corumbataí

Os materiais inconsolidados, existentes neste grupo, perfazem aproximadamente 90 % da área da formação geológica. Apresentaram menos de 15% de areia em alguns pontos de coleta. Na maior parte dos ensaios, os materiais inconsolidados apresentaram comportamento não laterítico e permeabilidades baixas. Apresentaram permeabilidade baixa à quase impermeável, massa específica seca obtida com o proctor normal, variando de 1,28 a 1,90 g/cm³, com umidade ótima em média variando de 10,0 a 31,0%, CTC do solo com resultados de 16,5 a 64,2 cmol+/Kg e índice de erodibilidade maior que 1, nas camadas superiores, e menor que 0,60 nas camadas inferiores (Tabela 3).

O ponto P23 apresentou aumento de silte a 4,00 m de profundidade, indicando a presença materiais inconsolidados residuais da formação Corumbataí, presentes nesta profundidade.

Materiais inconsolidados retrabalhados da formação Corumbataí

Esses materiais inconsolidados surgem nos vales de inclinadas vertentes, nas áreas mais baixas da região mapeada, apresentaram comportamento laterítico e textura silto-arenosos e areno-siltosos. Apresentaram permeabilidade baixa a muito baixa, massa específica seca obtida com o proctor normal variando de 1,36 a 1,75 g/cm³, com umidade variando de 15,5 a 24%, nas camadas superiores, e de 25,2 a 29% nas camadas mais profundas, CTC do solo com índices de 5,5 a 33,0 cmol+/Kg, e índice de erodibilidade maior que 1.

Materiais inconsolidados residuais da formação Pirambóia

Esses materiais aparecem somente nas áreas mais planas e de topos desta formação. Nos ensaios de mecânica dos solos do ponto de coleta P9, apresentaram comportamento laterítico, massa específica seca, obtida com o proctor normal próxima a 1,8 g/cm³ e textura arenosa, permeabilidade média (10⁻³ cm/seg⁻¹), com umidade ótima em média 12,6%, CTC do solo variando de 5,5 a 9,2 cmol+/Kg, da camada superior até 5,20m de profundidade e índice de erodibilidade maior que 1 (Tabela 4).

Tabela 2. Caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados retrabalhados das rochas intrusivas básicas.

Amostra	Profundidade	Ar	Si	Ag	χ_s	Mini-MCV		CTC	K ₂₀
n°	(cm)	(%)	(%)	(%)	g/cm ³	Pi %	MCT	cmol(+)/Kg	[cm/seg ⁻¹]
P28A	0,30 a 0,50	39	22	39	2,517	40,0	LG'	16,5	6,22x10 ⁻³
P28B	2,30 a 2,50	32	22	46	3,064	0,0	LG'	12,8	2,95x10 ⁻³
P28C	4,00 a 4,50	45	32	23	3,077	57,0	NG'	16,5	1,25x10 ⁻³

Amostra	Profundidade	Mini-CBR			ρ_d	e ₀	wot.	Índice de Erodibilidade
n°	(cm)	Exp.	Ret.	MCT	(g/cm ³)		(%)	
P28A	0,30 a 0,50	0,1	2,1	14,7	1,40	0,80	27,0	69,02
P28B	2,30 a 2,50	0,1	1,4	16,0	1,56	0,96	28,0	3,46
P28C	4,00 a 4,50	0,1	0,6	18,3	1,49	0,59	29,0	*

Tabela 3. Caracterização geotécnica dos materiais residuais da Fm. Corumbataí.

Amostra	Profundidade	Ar	Si	Ag	χ_s	Mini-MCV		CTC	K ₂₀
n°	(cm)	(%)	(%)	(%)	g/cm ³	Pi %	MCT	cmol(+)/Kg	[cm/seg ⁻¹]
P23A	0,20 a 0,40	29,0	29,0	42,0	2,731	0,0	LG'	23,9	2,13 x 10 ⁻⁷
P23B	2,50 a 2,70	30,0	29,0	41,0	2,758	3,0	LG'	33,0	6,24 x 10 ⁻⁷
P23C	4,00 a 4,20	11,0	52,0	37,0	2,706	320,0	NG'	22,0	7,08 x 10 ⁻⁸

Amostra	Profundidade	Mini-CBR			ρ_d	e ₀	wot.	Índice de Erodibilidade
n°	(cm)	Exp.	Ret.	MCT	(g/cm ³)		(%)	
P23A	0,20 a 0,40	0,2	2,2	11,2	1,52	0,79	24,8	29,85
P23B	2,50 a 2,70	0,1	1,8	12,5	1,44	0,91	27,0	1,82
P23C	4,00 a 4,20	0,37	0,8	10,0	1,36	0,98	29,0	2,47

Materiais inconsolidados retrabalhados da formação Pirambóia

A maior parte das áreas da Formação Pirambóia apresenta-se com materiais inconsolidados retrabalhados (P22), com menos de 30% de finos e comportamento laterítico, permeabilidades baixas, massa específica seca obtida com o proctor normal em torno de 1,85 g/cm³. Apresentou umidade ótima em média 14,5%, CTC do solo igual a 5,5 cmol+/Kg, e índice de erodibilidade maior que 1 (Tabela 5).

Materiais inconsolidados retrabalhados da formação Pirassununga

Esses materiais aparecem em grande parte da área mapeada, nas regiões de extensos topos planos da planície do rio Mogi Guaçu, apresentaram menos de 30% de finos, permeabilidade média, comportamento não laterítico, na maioria dos pontos coletados, massa específica seca, obtida com o proctor normal variando de 1,65 a 1,88 g/cm³, com umidade ótima variando de 14 a 16%, CTC do solo, na maioria dos ensaios próximo a 29,4 cmol+/Kg e índice de erodibilidade maior que 1.

O ponto de coleta P11 apresentou um leve acréscimo de argila em relação aos demais pontos coletados desta formação geológica. Foi coletado numa área de topo, em uma região onde foi observada uma coloração mais avermelhada que os materiais inconsolidados do local, possivelmente pela presença do óxido de ferro, característico das rochas basálticas, que deram origem às Intrusivas Básicas. Esse fato mostra uma possível existência de afloramento das Intrusivas Básicas neste topo, resultado da forma com que o relevo foi esculpido o que, possivelmente, não

apareceu no mapa geológico de superfície pela escala do mapeamento adotada. Os resultados de permeabilidade vêm confirmar esta suposição, pois apresentaram coeficientes levemente reduzidos em relação aos demais pontos da Formação Pirassununga.

Os pontos P16 e P21 apresentaram comportamento não laterítico, apesar da existência de materiais inconsolidados retrabalhados. O Ponto P17 apresentou menos de 30% de finos em todas as profundidades, permeabilidades baixas a médias (10⁻³ a 10⁻⁴ cm/s) e comportamento laterítico arenoso, indicando a presença de solos retrabalhados da Formação Pirassununga. Esta é uma região que apresentou altos índices de risco potencial à erosão acelerada.

Na região sudoeste da quadrícula, ainda sobre a formação Pirassununga, onde se situa o ponto de coleta de número P18, foram encontradas porcentagens altas de finos, com acréscimo de areia em profundidade. Esse ponto apresentou permeabilidade muito baixa em todas as profundidades e decréscimo das camadas mais superiores para as inferiores. O fato de apresentar comportamento de argila laterítica em todas as profundidades e estar em um local de solos de coloração mais avermelhada, próximo a um talude vertical, de uma rodovia vicinal, pode ser indicativo de outro remanescente de Intrusivas Básicas na formação do relevo, que não aparece no mapa geológico adotado (escala 1:50.000) e, que apareceria num mapa com escala de maior detalhe. Nestas áreas da Formação Pirassununga, apareceram maiores coeficientes de escoamento superficial e, por conseguinte, menores coeficientes de risco potencial à erosão acelerada, desta formação, provavelmente, devido a influências desses resultados.

Tabela 4. Caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados residuais da Fm. Pirambóia.

Amostra	Profundidade	Ar	Si	Ag	γ_s	Mini-MCV		CTC	K ₂₀
n°	(cm)	(%)	(%)	(%)	g/cm ³	Pi %	MCT	cmol(+)/Kg	[cm/seg ⁻¹]
P9A	0,40 a 0,60	62,0	16,0	22,0	2,738	142,0	LA'	5,5	1,17x10 ⁻³
P9B	4,00 a 4,20	54,0	24,0	22,0	2,774	120,8	LA'	0,0	2,30x10 ⁻³

Amostra	Profundidade	Mini-CBR			ρ_d	e_0	wot.	Índice de Erodibilidade
n°	(cm)	Exp.	Ret.	MCT	(g/cm ³)		(%)	
P9A	0,40 a 0,60	0,1	0,7	11,5	1,84	0,49	14,0	61,77
P9B	4,00 a 4,20	0,1	1,2	13,0	1,87	0,48	15,0	*

Tabela 5. Caracterização geotécnica dos materiais retrabalhados da Fm. Pirambóia.

Amostra	Profundidade	Ar	Si	Ag	γ_s	Mini-MCV		CTC	K ₂₀
n°	(cm)	(%)	(%)	(%)	g/cm ³	Pi %	MCT	cmol(+)/Kg	[cm/seg ⁻¹]
P22A	0,40 a 0,60	44	15	41	2,794	30,0	LG'	29,4	8,22x10 ⁻³
P22B	2,30 a 2,50	37	19	44	2,889	0,0	LG'	36,7	1,84x10 ⁻³
P22C	4,00 a 4,20	90	4	6	2,652	*	NA	5,5	1,57x10 ⁻³

Amostra	Profundidade	Mini-CBR			ρ_d	e_0	wot.	Índice de Erodibilidade
n°	(cm)	Exp.	Ret.	MCT	(g/cm ³)		(%)	
P22A	0,40 a 0,60	0,15	1,40	11,0	1,71	0,63	20,5%	219,40
P22B	2,30 a 2,50	0,06	2,35	16,0	1,58	0,82	25,5%	0,95
P22C	4,00 a 4,20	*	*	*	*	*	*	302,96

Os pontos de coleta P15, P16 e P19 apresentam menos de 20 % de finos (mais de 80% de areias). O Ponto P16 é bem representativo dessa formação geológica, onde foram encontradas areias não lateríticas e permeabilidades médias (10^{-4} cm/s). Os pontos P15, P19 e P21 apresentaram resultados de comportamento não laterítico, apontando para a existência de materiais inconsolidados retrabalhados da Formação.

O ponto de coleta P19 encontra-se em uma área de transição entre as formações Corumbataí e Pirassununga, apresentando o comportamento não laterítico e existência de siltes e apresentando menos de 80% de finos (Tabela 6).

Materiais inconsolidados dos sedimentos do Quaternário

As amostras de materiais inconsolidados das áreas de aluvião foram coletadas em locais mais altos, onde sazonais alagamentos ocorreriam somente em grandes cheias.

Os materiais originários das áreas de aluvião apresentam textura arenosa, com menos de 30% de finos, permeabilidade média, massa específica seca, obtida com o proctor normal variando de 1,84 a 1,96 g/cm³, com umidade ótima em média 24,7%, CTC do solo com resultados que variam de 5,5 a 9,2 cmol+/Kg.

Tabela 6. Caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados retrabalhados da Fm. Pirassununga.

Amostra	Profundidade	Ar	Si	Ag	χ_s	Mini-MCV		CTC	K_{20}
n°	(cm)	(%)	(%)	(%)	g/cm ³	Pi %	MCT	cmol(+)/Kg	[cm/seg ⁻¹]
P19A	0,40 a 0,60	86	4	10	2,662	260,0	NA	5,5	2,30 x10 ⁻²
P19B	3,40 a 3,60	83	5	12	2,675	227,0	NA	9,2	1,93x10 ⁻²
P19C	5,30 a 5,50	84	4	12	2,671	220,0	NA	7,3	1,69x10 ⁻²

Amostra	Profundidade	Mini-CBR			ρ_d	e_0	wot.	Índice de Erodibilidade
n°	(cm)	Exp.	Ret.	MCT	(g/cm ³)		(%)	
P19A	0,40 a 0,60	0,1	0,1	9,0	1,90	0,40	11,0%	15,15
P19B	3,40 a 3,60	0,0	0,0	13,0	1,96	0,40	9,5%	0,34
P19C	5,30 a 5,50	0,5	0,2	13,0	1,92	0,39	9,0%	0,44

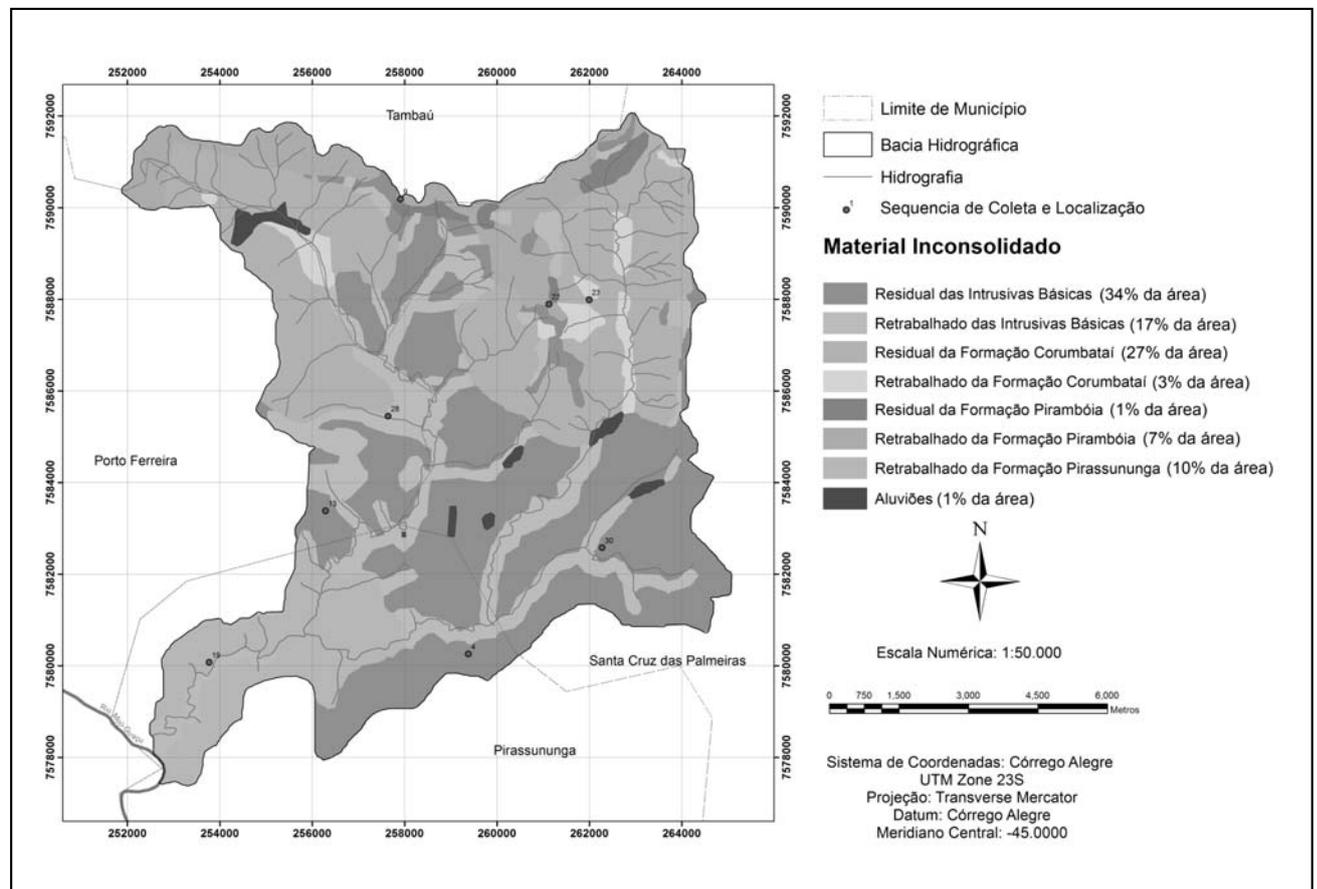


Figura 1. Mapa de materiais inconsolidados da Bacia Hidrográfica do ribeirão das Pedras (SP).

Elaboração da Carta de Potencial à Escavabilidade

A escavabilidade pode ser entendida como a maior ou menor dificuldade em se escavar um maciço e é essa dificuldade, ou resistência oferecida ao desmonte, o principal critério interveniente na classificação dos materiais.

Esta carta classifica áreas de acordo com a facilidade ou dificuldade para se escavar o terreno. Esta carta foi confeccionada utilizando-se como layers os mapas de material inconsolidado, profundidade do substrato rochoso, profundidade do nível d'água do lençol subsuperficial e declividade. A área mapeada em sua maior parte sobre a clinografia suave da planície do Mogi Guaçu, não apresentou grandes problemas de escavabilidade.

Foi gerada uma nova carta clinográfica com classes de declividades diferentes das classes utilizadas para a carta de escoamento superficial confeccionada inicialmente. Essas classes estão de acordo com os atributos de escavabilidade como mostra a Tabela 7.

Os resultados encontrados, caracterizando cada classe de escavabilidade, foram classificados em porcentagem de área, envolvendo alguns atributos de cada classe ocorrentes região mapeada, onde: Ar (% Areia); d (declividade); K20 (coeficiente de permeabilidade); NA (comportamento geotécnico, segundo classificação MCT).

Uma expressiva área favorável para escavabilidade, encontra-se na região sudoeste em área de ocorrência dos seguintes materiais inconsolidados: retrabalhados arenosos da formação Piraçununga [Ar (83 a 86%), d (<8%), K20 (10^{-2} cm/seg⁻¹), NA] e, em pequenas áreas distribuídas na porção norte da bacia hidrográfica, em unidades residual [Ar (54 a 62%), d (<8%), K20 (10^{-3} cm/seg⁻¹), LA] e retrabalhada [Ar (37 a 90%), d (<8%), K20 (10^{-3} cm/seg⁻¹), LG' e NA] da formação Pirambóia. Essa classe representa 11% da área total dessa bacia hidrográfica.

Tabela 7. Classes de declividade utilizada na nova classificação clinográfica.

Classe de declividade	Atributo
Menor que 8%	Favorável
8 a 15%	Moderada
15 a 20%	Severa
Maior que 20%	Restritiva

Com relação à caracterização dos materiais inconsolidados, incluídos na classe Moderada de escavabilidade, tem-se: materiais retrabalhados das Intrusivas Básicas [Ar (11 a 16%), d (8% <15%), K20 (10^{-3} cm/seg⁻¹), LG' e NG'], retrabalhados da formação Corumbataí [Ar (43 a 66%), d (8% <15%), K20 (10^{-3} a 10^{-4} cm/seg⁻¹), LG' e NA], retrabalhados da formação Pirambóia [Ar (37 a 90%); d (8% <15%), K20 (10^{-3} cm/seg⁻¹), LG' e NA] e retrabalhados da formação Piraçununga [Ar (83 a 86%); d (8% <15%), K20 (10^{-2} cm/seg⁻¹), NA].

A distribuição geográfica desses materiais inconsolidados, envolve todas as regiões da bacia hidrográfica, ocupando 21% da área.

Por outro lado, a classe Severa de escavabilidade apresenta uma distribuição espacial em 59% do território da área, envolvendo os materiais inconsolidados das seguintes formações geológicas de superfície: retrabalhados da formação Piraçununga [Ar (83 a 86%), d (15% a 20%), K20 (10^{-2} cm/seg⁻¹), NA]; retrabalhados da formação Pirambóia [Ar (37 a 90%), d (15% a 20%), K20 (10^{-3} cm/seg⁻¹), LG' e NA]; residuais da formação Corumbataí [Ar (11 a 30%), d (15% a 20%), K20 (10^{-7} a 10^{-8} cm/seg⁻¹), LG' e NG']; materiais residuais das Intrusivas Básicas [Ar (11 a 16%), d (15% a 20%), K20 (10^{-3} a 10^{-4} cm/seg⁻¹) LG' e NS'].

A classe restritiva, que se distribui por 9% da área, está representada pelos seguintes materiais inconsolidados: aluviões [Ar (74 a 77%); d (<8%); K20 (10^{-3} a 10^{-4} cm/seg⁻¹); NA]; retrabalhados das Intrusivas Básicas [Ar (11 a 16%); d (>20%); K20 (10^{-3} cm/seg⁻¹), LG' e NG']; residuais da formação Corumbataí [Ar (11 a 30%); d (>20%); K20 (10^{-7} a 10^{-8} cm/seg⁻¹), LG' e NG'] e retrabalhados da formação Pirambóia [Ar (54 a 62%); d (>20%); K20 (10^{-3} cm/seg⁻¹); LA].

Considerando as informações apresentadas e as características dos materiais inconsolidados que ocorrem na área, foi produzida a Carta de Escavabilidade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras (Figura 2).

CONCLUSÕES

As formações geológicas de superfície existentes na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras podem ser subdivididas em dois grupos distintos: o grupo das argilosas, composto pelas Intrusivas Básicas e Fm. Corumbataí e, o grupo das arenosas, composto pelas Formações Piraçununga e Pirambóia. Os ensaios de mecânica dos solos mostraram grandes interferências entre as formações geológicas. Foram encontradas áreas de topos na Formação Piraçununga com indícios de interferências dos materiais oriundos das rochas Intrusivas Básicas; da mesma forma, foram encontradas áreas com maiores teores de areia, na Formação Corumbataí e Intrusivas Básicas, predominantemente, silto argilosa e argilosa respectivamente, este teor mais elevado pode ter como fator de origem possíveis interferências das formações Pirambóia e Piraçununga.

As formações geológicas arenosas da quadrícula propiciam, em geral, melhores condições para escavabilidade e por outro lado, as formações argilosas apresentam condições desfavoráveis de escavabilidade.

A utilização dos resultados desse mapeamento traz subsídios para as novas atitudes e suporte à gestão do meio físico, proporcionando o desenvolvimento regional e urbano adequado e eficaz, respeitando as condições naturais da área. Este estudo forneceu informações na escala 1:50.000, o qual merece maior detalhamento e verificação em campo, caso o interesse seja utilizá-lo na realização de novos empreendimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras.

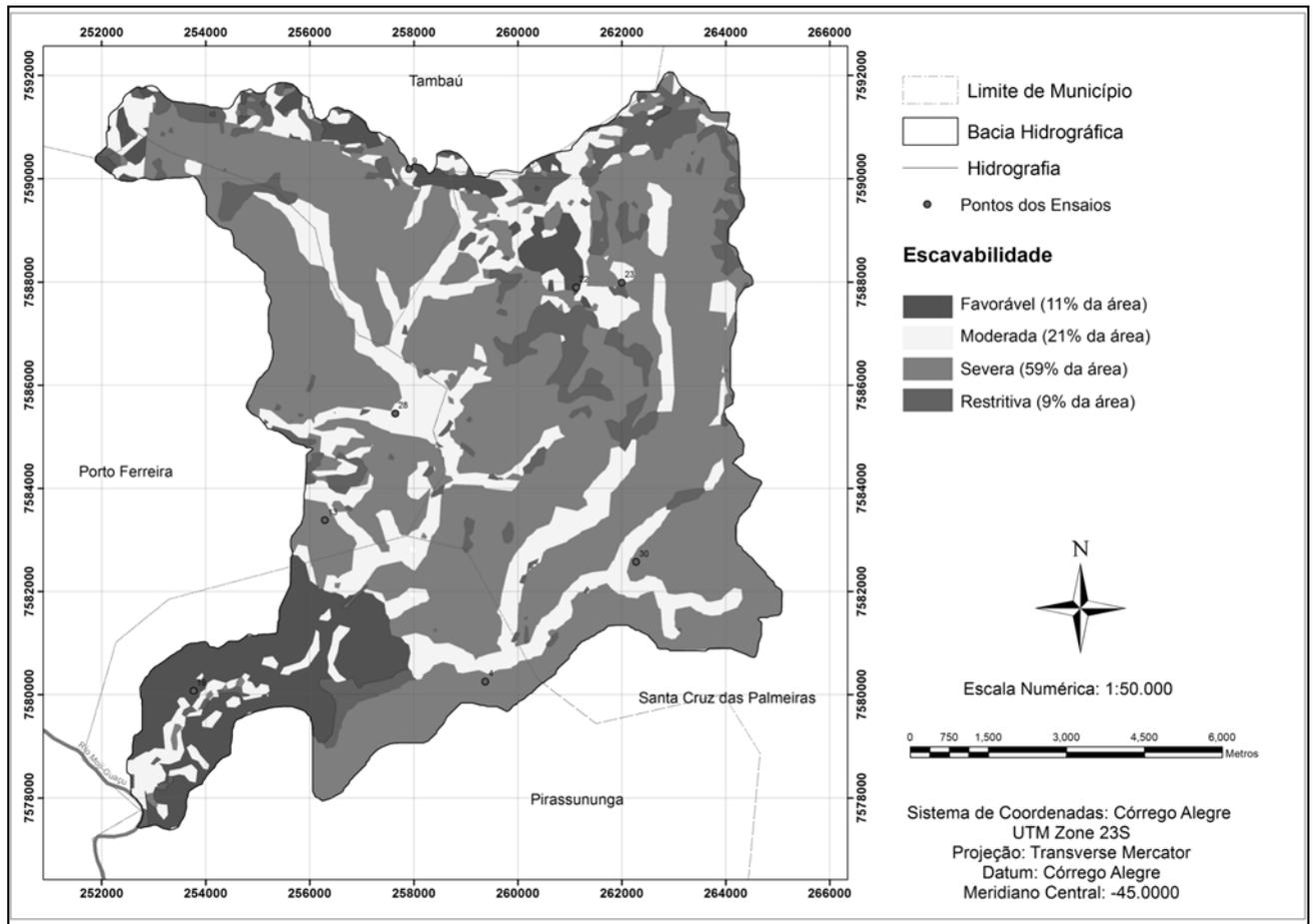


Figura 2. Carta de escavabilidade da Bacia Hidrográfica do ribeirão das Pedras (SP).

TRABALHOS CITADOS NO TEXTO

BIELENKI, C. J.; BARBASSA, A. P.

Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas.
São Carlos: EdUFSCar, 2012.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1983.

Folha topográfica de Pirassununga (SF-23-V-C-V-3).
São Paulo: IBGE. Escala 1:50.000. 2ª ed. 1ª reimpressão.

BRASIL - DNPM.

Departamento Nacional da Produção Mineral. 1979.
Projeto Sapucaí. Rio de Janeiro: DNPM. Escala 1:250.000. 1ª ed.

CANÇADO, C.J.

Zoneamento de risco de inundações como ferramenta de planejamento ambiental em bacias hidrográficas - estudo de caso: Bacia do Rio Bonito, SP.
Tese (Doutorado), PPG-Ecologia e Recursos Naturais. 388p. 27 anexos. 2003.

CHRISTOFOLETTI, A.

Geomorfologia.
São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1974. 149p.

ESRI.

World Imagery - Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community.
Copyright: © 2014 Esri, DeLorme, HERE, TomTom. Disponível em <http://goto.arcgisonline.com/maps/World_Imagery>
Acesso em: 23/04/2014.

FEHIDRO, 2011.

Plano da Bacia Hidrográfica: 2008-2011.
Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, Cetesb - São Paulo. 170p.

- FEITOSA, F.A.C., 2008.
Hidrogeologia: conceitos e aplicações.
Organização e coordenação científica: Fernando A.C. Feitosa et al. 3ª. Ed. rev. e ampl.
Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 812p.
- FRANZ, B. 2011.
Fatores Intervenientes nas vulnerabilidades dos recursos hídricos às mudanças do clima no Estado do Rio de Janeiro.
In: Vulnerabilidade dos recursos hídricos no âmbito regional e urbano/ Riane T.S. Nunes, Marcos A.V. Freitas, Luiz Pinguelli Rosa (Organizadores). Rio de Janeiro: Interciência, v.1, p.3-60.
- GALIANO, V.A. 2001.
Mapeamento geotécnico da quadrícula de Pirassununga (SP) na escala 1:50.000, como subsídio ao planejamento do meio físico. São Carlos.
PPG-Engenharia Urbana/UFSCar. 2v. 140p. Dissertação (Mestrado).
- HASUI, Y.
Compartimentação Geológica do Brasil in Geologia do Brasil.
Organizado por Yociteru Hasui; Celso Dal Ré Carneiro; Fernando Flávio Marques de Almeida; Andrea Bartorelli; - São Paulo: Beca, 2012, p. 112-122.
- LOURES, S.S.P., CALIJURI, M.L. & GUIMARÃES, A.O.
Sistemas de gerenciamento de dados para bacias hidrográficas urbanas.
In: 5º. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Osni José Pejon, Lázaro Valentin Zuquette (eds). São Carlos: Suprema Gráfica Editora. p. 477-483, 2004.
- MENDES, R. M. ; LORANDI, R.
Carta de Escavabilidade da área central urbana de São José do Rio Preto(SP), como contribuição ao planejamento urbano.
In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 2001, Porto Alegre (RS). Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro (RJ): Sociedade Brasileira de Cartografia, 2001. v. 1. p. 1-17.
- OLIVEIRA, H.H. DE.
Proposta de criação e caracterização da Área de Proteção Ambiental de Descalvado, SP.
São Paulo: USP: Instituto de Biociências, 1995. Dissertação (Mestrado em Ciências).
- OLIVEIRA, K.A.
Ordenamento territorial e bacias hidrográficas: um estudo sobre os projetos do Comitê PCJ.
Fórum Ambiental da Alta Paulista. v.VI, p. 114-123. 2010.
- PEJON, O.J. 1992.
Mapeamento geotécnico da Folha de Piracicaba-SP (Escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos.
São Carlos, USP-São Carlos, 2v. 224p. Tese (Doutorado).
- PEJON, O.J. & ZUQUETTE, L.V. 2001.
Carta de predisposição a erosão acelerada - área de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil: Metodologia e Avaliação dos resultados.
Geotecnica, (93):33-60.
- ROSS, J. L. S. & MOROZ, I. C.
Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.
Laboratório de Cartografia Geotécnica. FFLCH/USP. IPT/FAPESP. São Paulo – SP. 1997. v. 1 e 2. 64p.
- SÃO PAULO (ESTADO), 1981.
Secretaria do Meio Ambiente. Instituto Geológico.
Formações Geológicas de Superfície. Folha de Piracununga (SF-23-V-C-V-3). São Paulo: IG, Mapa color. (72x65cm).
- SÃO PAULO (ESTADO), 1995.
Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria da Agricultura e Abastecimento e Secretaria de Economia e Planejamento.
Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio Grande: Questões sócio ambientais e regionais.
2v. São Paulo.
- SÃO PAULO-DAEE-IG-IPT-CPRM, 2005.
Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo : escala 1:1.000.000 : nota explicativa / [coordenação geral Gerônimo Rocha].
São Paulo : DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica : IG-Instituto Geológico : IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo : CPRM-Serviço Geológico do Brasil. 3v. 119p. Mapa escala 1:1.000.000.
- STRAHLER, A. N.
Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography.
Geological Society of America Bulletin, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

TOREZAN, F. E.

Análise ambiental da Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP) com ênfase nas atividades de exploração mineral de areia.
São Carlos: UFSCar. 165p. 2v + 7 map. color. 2000. Dissertação (Mestrado).

UNITED STATES – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS).

LANDSAT_8. Cena: LC82200752014078LGN00.

Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 23/04/2014.

ZUQUETTE, L. V. (1993).

Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração.
São Carlos, USP - São Carlos, 2v. 256p. (Tese de Livre-Docência).



Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)

Incipient salinization of a high mountain stream in the Andes of Patagonia (Argentina)

Pizzolon, Lino ^{1,2}✉ - Omad, Guillermo ^{1,3} - Weidl, Mariana ¹ - Claverie, Horacio ⁴

Recibido: 18 de noviembre de 2015 • Aceptado: 12 de mayo de 2016

Resumen

*La calidad del agua del A° Plantamura (cuenca binacional del Futaleufú-Yelcho) se monitoreó durante la década 2000-2010 en el Centro de alta Montaña de La Hoya (Esquel-Chubut) con el objeto de evidenciar impactos del turismo invernal. En este trabajo se analizan los resultados de pH, conductividad eléctrica (CE) y alcalinidad total (AT) en muestras mensuales tomadas desde junio hasta octubre en una estación situada a 1400 m s.n.m y en algunas muestras complementarias tomadas en sitios de control. El análisis estacional destacó un pulso de CE a comienzos del deshielo (setiembre), 2,33 veces superior al valor basal, significativamente diferente de los demás meses ($p < 0,01$) en el ANOVA. El pulso fue causado por la disolución y arrastre de la sal utilizada como anticongelante en playas de estacionamiento y no se verificó o fue mucho menor en sitios sin aportes salinos. El análisis interanual destacó la correlación significativa ($p < 0,05$) entre precipitación máxima y CE y pH mínimo anual. El máximo absoluto de CE ocurrió en el año 2007, el más seco del período. El máximo absoluto AT y de pH se registró en setiembre del 2008, seis meses luego de la caída de cenizas del volcán Chaitén. Los valores de base de CE, AT y pH fueron determinados principalmente por la litología de las cuencas. Se observaron ejemplares ribereños de *Nothofagus pumilio* muertos en pie efecto de la desecación osmótica.*

Palabras clave: turismo invernal, impacto de rutas, cabeceras de cuenca, conductividad eléctrica, deshielo, Patagonia.

Abstract

Water quality of the Plantamura stream (Futaleufú-Yelcho binational watershed) was monitored during the 2000-2010 decade at La Hoya High Mountain Centre (Esquel, Chubut) to show impacts of winter tourism. This report analyzes pH, electrical conductivity (CE) and total alkalinity (AT) from monthly samples, taken from June to October in a place at 1400 m o.s.l. Seasonal analyses underlined an annual pulse of CE at the beginning of snowmelt (September), 2,33 times

1. Laboratorio de Ecología Acuática, Facultad de Ciencias Naturales
✉ lino@unpata.edu.ar
2. Observatorio del Agua, Secretaría de Ciencia y Técnica.
3. Dirección actual: L.I.E.S.A. – CONICET - Facultad de Ciencias Naturales
- 1,2,3 Universidad Nacional de la Patagonia SJB., Sarmiento 849, CP 9200, Esquel, Chubut, Argentina
4. Subsecretaría de Bosques. Provincia de Chubut.

significantly higher than baselines (ANOVA, $p < 0,01$). This pulse was caused by dissolution and transport of salt utilized as antifreezing on parking spots. The interannual analyses underlined the significantly correlation ($p < 0,05$) between maximum rainfall and minimum CE and pH. CE absolute maximum occurred in 2007, the dryer of the period. AT and pH absolute maximum were recorded in September 2008, six months after the ashfall from Chaiten volcano. CE, AT and pH baselines were mainly determined by basin's lithology. Some standing dead specimens of riparian *Nothofagus pumilio*, due to osmotic desiccation, were observed.

Keywords: winter tourism, road impact, headwaters, electrical conductivity, snow-melt, Patagonia.

INTRODUCCIÓN

Los deportes invernales en la alta montaña constituyen una importante actividad económica, pero al mismo tiempo producen numerosos impactos en ecosistemas de naturaleza muy frágil (Gosz 1977; Kangas et al., 2012) y en las poblaciones situadas aguas abajo. En especial, la apertura y mantenimiento de caminos causa severos disturbios, entre ellos, la generación y transporte de sedimentos (Molles y Gorz 1980; Forman y Alexander 1998) y la dispersión de cloruro de sodio y de otras sustancias utilizadas como anticongelantes en el período invernal (Likens 1992; Kelting y Laxson 2010; Aghazadeh et al. 2012). Los impactos de la sal suelen ser minimizados en la práctica corriente, pero existen evidencias crecientes sobre sus efectos negativos a largo plazo: acidificación, movilización de metales tóxicos del suelo, interrupción del ciclo del nitrógeno, alteraciones en la comunidad de invertebrados acuáticos y del suelo, muerte del bosque, entre otros (Gosz 1977; Blasius y Merrit 2002; Kaushal et al. 2005; Green et al. 2008, Amundsen et al. 2010).

El Centro de Alta Montaña (CAM) La Hoya, es un centro de dimensiones intermedias, que recibe alrededor de 30000 visitantes por temporada. Al comienzo del deshielo parte de la sal utilizada como anticongelante en playas de estacionamiento y en el camino de acceso, se disuelve y es arrastrada hacia el A° Plantamura, una de las fuentes de agua de la ciudad de Esquel. Monitoreos de control realizados del 2000 al 2010 (Pizzolon et al. 2001, 2005, 2006 y 2008), destacaron un pico anual de conductividad eléctrica (CE) al comienzo del deshielo. En este trabajo se analiza y discuten los datos de la química de base obtenidos durante ese período, con particular atención a la CE como indicadora de salinización. La CE es una variable de fácil medida, económica usada extensamente para identificar flujos hídricos de diferente origen y salinidad (Backstrom et al. 2004; Hayashi 2004; Occhi 2009; Kangas et al. 2012) y correlaciona en forma altamente significativa con el cloruro y con el sodio en el monitoreo de procesos de salinización (Daley et al. 2009; Moore et al. 2013; Stranko et al. 2013).

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en las cabeceras del A° Esquel, ubicado en el cordón Esquel, límite oriental de la cuenca del Futaleufú-Yelcho, de desagüe al Pacífico (Figura 1). Las alturas máximas superan apenas los 2100 metros s.n.m. La base del CAM La Hoya se encuentra a $42^{\circ} 50' 6,33''$ S; y $75^{\circ} 15' 29,67''$ W y a 1400 m.s.n.m., en un valle con exposición al sur (Figura 2).

La cuenca del A° Plantamura se encuentra en la formación Leleque, un complejo intrusivo granodiorítico del Jurásico superior. La vecina cuenca del A° Los Guanacos (Figura 1),

utilizada como sitio de control, se encuentra en su totalidad en la formación Piltriquitrón (Jurásico inferior), en la que dominan sedimentitas y vulcanitas (González Bonorino 1979; Lizuain Fuentes 1980). La precipitación media anual del período 2000-2010 fue de 518 mm en la estación meteorológica del Aeropuerto Esquel, ubicada a 10 km hacia el este y a 793 m s.n.m. (datos del Servicio Meteorológico Nacional). El 55,8 % de las precipitaciones anuales del 2000 al 2010 se registró entre mayo y agosto; junio fue el mes más lluvioso del año (19 %), seguido por julio (13,4 %) y mayo (13,1 %). A mayor altura estas precipitaciones caen por lo general en forma nívea; el CAM suele abrirse al público a comienzos de julio. El pico de deshielo se produce en octubre-noviembre, siendo febrero-marzo el período más seco.

El caudal, registrado bimensualmente en 1991-2, osciló entre $1,10$ y $0,23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en E1 y entre $1,29$ y $0,13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en E2 (Miserendino y Pizzolon 2000). El cordón Esquel se encuentra en el ecotono bosque andino-estepa de Patagonia (Paruelo et al. 1998), caracterizada por el predominio de la estepa herbácea y, por encima de los 800 m snm, por manchas discontinuas de bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*), como única especie arbórea nativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

La calidad del agua se monitoreó en los meses de junio a octubre del año 2000 al 2010 -con una interrupción en los años 2001-2003-, en una estación principal, E1, ubicada en el A° Plantamura a 1400 m s.n.m., inmediatamente aguas abajo del estacionamiento (Figura 1). En total se tomaron 36 muestras. Con menor regularidad se tomaron muestras en otros meses y se presentan a título ilustrativo ($n=12$). Se utilizaron como control las muestras tomadas en la misma estación antes del comienzo y luego de finalizado el período de deportes invernales. Para evitar los efectos del ciclo diario de congelamiento/deshielo, las muestras se tomaron alrededor de las 16 hs. Un registro horario desde las 8:00 a las 20:00 hs. a comienzos de agosto, evidenció un aumento del 28 % en la CE (72 a $52 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Se realizaron además muestreos complementarios en E2: estación de control ubicada en el A° Los Guanacos a 1160 m s.n.m. y de fácil acceso, con muestreos quincenales en el año 2008. E3: estación aguas abajo para evidenciar la extensión longitudinal del impacto; muestreos quincenales, año 2008. E0: estación de control, ubicada aguas arriba en el A° Plantamura a 1600 m s.n.m. (muestreos de junio-noviembre 2014). C1-C4: estaciones de control en el A° Calera, en la misma formación geológica que el A° Plantamura este (junio 2014).

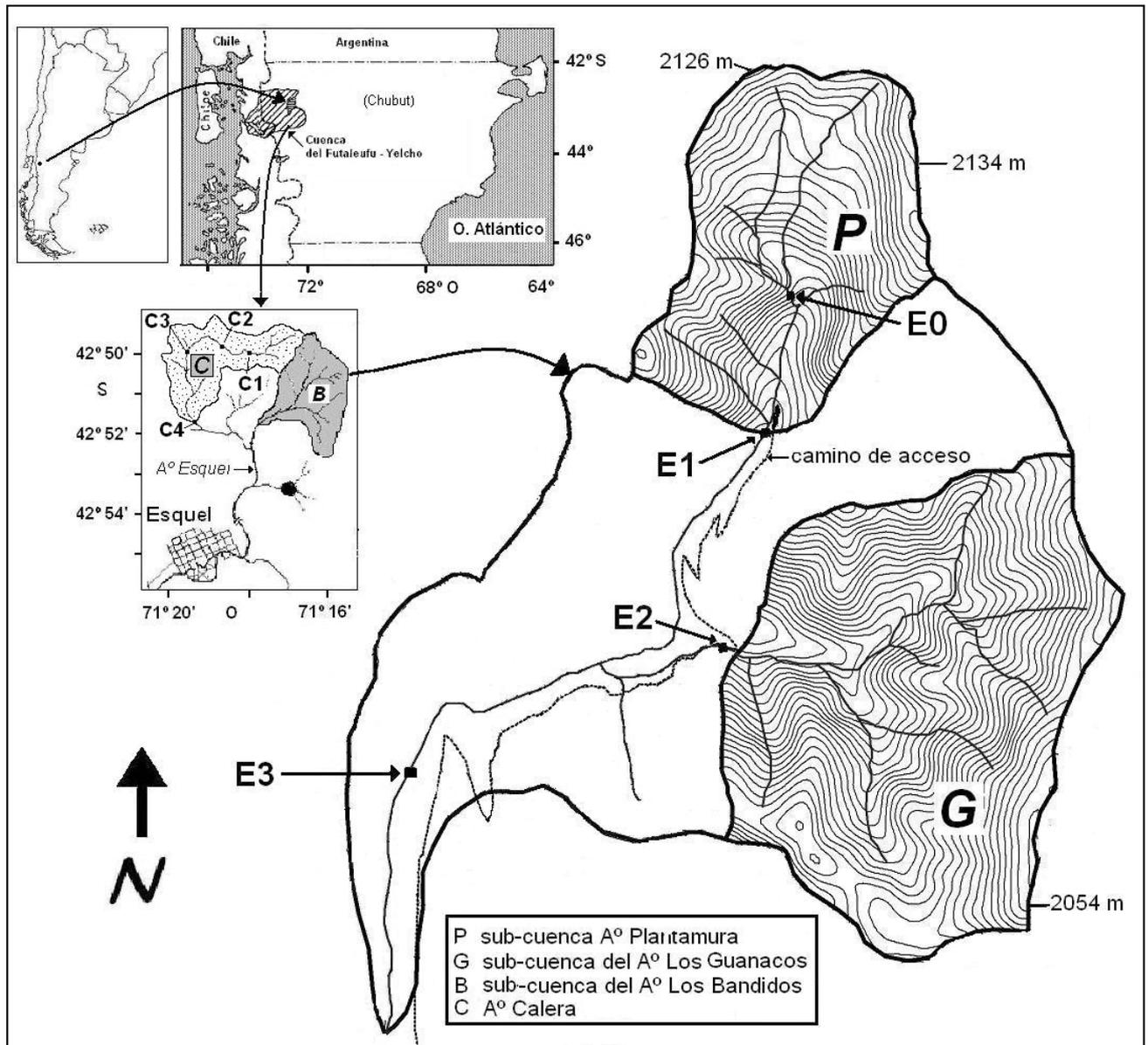


Figura 1. Cabeceras del A° Esquel, en la cuenca del río Futaleufú-Yelcho. Curvas de nivel cada 30 metros. E0, E1, E2 y E3: estaciones de muestreo en las cabeceras de cuenca. C1-C4 estaciones de muestreo en el A° Calera.

Los parámetros analizados fueron conductividad eléctrica (CE), alcalinidad total (AT) y pH. Entre los años 2005-2008 se analizó también la dureza (H) (Tabla 1). La CE y pH se midieron a temperatura ambiente de laboratorio y se expresaron a 20°C. Los análisis se realizaron por lo general al día siguiente de tomadas las muestras. Puesto que la conductividad eléctrica de una muestra equivale a la suma de la conductancia específica de cada uno de los iones mayoritarios que la componen, y que en aguas diluidas como las de este estudio, equivale al total de iones mayoritarios disueltos (TSD) (Golterman *et al* 1978; Talling 2009), por simplificación los términos CE, TSD y salinidad se emplean en forma indistinta en el texto. El área de la cuenca y los parámetros morfométricos se calcularon mediante el modelo digital del terreno ASTER.

Los datos meteorológicos (precipitación y temperatura mensual) registrados en el Aeropuerto de Esquel, ubicado a 10 km al este de la zona de estudio y a 790 m s.n.m. y los registrados en la estación meteorológica del Km 4, ubicada 10 km al oeste de la zona estudiada y a 570 m s.n.m. fueron proporcionados gentilmente por el Servicio Meteorológico Nacional y por la Universidad Nacional de la Patagonia SJB., respectivamente.

Los resultados se analizaron mediante el análisis de correlación y regresión. La existencia de diferencias significativas entre grupos (meses, años) se verificó mediante el ANOVA simple de una vía, y la prueba posterior de Tukey. Previamente se realizó la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de la varianza y en los casos necesarios se utilizó el logaritmo natural de los datos originales. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete estadístico STATISTICA, Release 8

(StatSoft 2007). Puesto que las precipitaciones en altura por lo general en invierno caen en forma de nieve y no tienen un efecto inmediato en el caudal sino con retardo de hasta meses (Dettinger y Diaz 2000), en el análisis de correlación interanual se incluyó la precipitación acumulada de mayo a octubre de cada año.

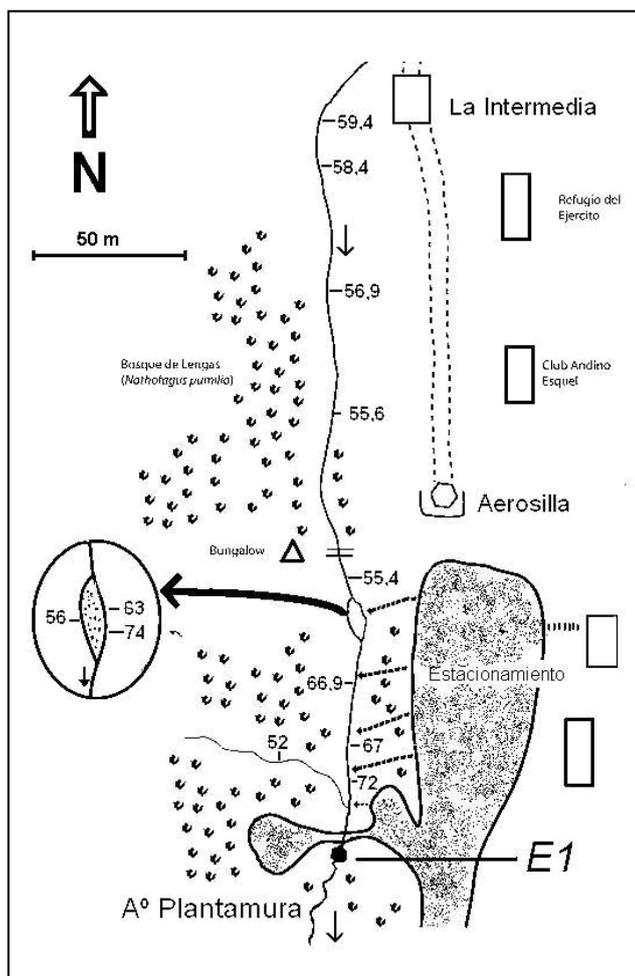


Figura 2. Base de centro de alta montaña de la Hoya hacia el año 2000, mostrando el incremento de la conductividad eléctrica (cifras en $\mu\text{S cm}^{-1}$) al comienzo del deshielo en el tramo del A° Plantamura paralelo al estacionamiento. Las flechas indican escurrimientos salinos hacia el arroyo.

RESULTADOS

Anualmente se utilizaron alrededor de 150.000 kg de sal, de los cuales el 60 % se dispersó en el estacionamiento principal y el resto en el camino de acceso desde los 1000 m s.n.m.; estas cifras fueron constantes a lo largo de la década (I.A. Palma, Dirección de Vialidad Provincial, com. pers.). Durante el deshielo o lluvias parte de la sal esparcida es lixiviada hacia el arroyo, aguas arriba de E1. En condiciones basales el A° Plantamura se caracterizó por aguas muy diluidas, de $46 \mu\text{S cm}^{-1}$ de CE media ($n=17$) y con un espectro iónico de tipo bicarbonato cálcico (alcalinidad total: 346; sulfatos: 16; cloruros: 28; calcio: 359; magnesio: 33; sodio: 65 y potasio: 8 – unidades en $\mu\text{eq L}^{-1}$) (muestra recolectada el 13-6-2000). Se asumió como condición de flujo basal para este sistema, la de los meses previos al esparcido anual de sal y posteriores al deshielo (noviembre a junio), en ausencia de lluvias. El efecto de la sal en el A° Plantamura se observó inicialmente mediante un monitoreo a comienzos del deshielo en un sitio aguas arriba del estacionamiento -La Intermedia- y aguas abajo del mismo, E1 (Figura 2), en el que se evidenció un aumento de CE de 59 a $134 \mu\text{S cm}^{-1}$. El registro detallado de CE evidenció que el aumento se producía a partir del tramo receptor de escurrimientos salinos (Figura 2 y 3). En el sector de la isla, el aumento de CE se observó solo en el brazo adyacente al estacionamiento, no en el opuesto (Figura 2).

ANÁLISIS ESTACIONAL

Los cambios más abruptos de CE ocurrieron regularmente en el mes de setiembre, a comienzos del deshielo en E1 (Figura 4a), con tendencias a adelantarse a agosto hacia el final del período de muestreo (Figura 5). En promedio, el pico de setiembre fue 2,33 veces superior al valor de base. El ANOVA simple de una vía sobre los datos de junio a octubre ln-transformados, y la prueba de Tukey evidenciaron que setiembre fue significativamente diferente de los demás meses al 99,99 % de probabilidad. El pico de setiembre se registró en todos los años de monitoreo, excepto en el 2004 y el 2009, los años más lluviosos (Figura 6). Durante el período de deshielo (set/oct-dic) la CE fue en disminución, alcanzando los valores mínimos anuales en diciembre (Figura 4a).

El promedio de AT de junio a octubre fue $0,46 \text{ meq L}^{-1}$, con dos máximos en julio y setiembre (Figura 4b). La media de pH junio-octubre fue 7,46, la media mínima se verificó en julio. El ANOVA simple de una vía con los datos ln-transformados no evidenció diferencias significativas de AT y pH entre meses.

Tabla 1. Variables analizadas y metodología empleada.

Variable	Sigla	Método e instrumental	Precisión	Unidad
Conductividad eléctrica a 20 °C	CE	Electrométrico. Conductímetro WTW. Mod. LF 320, celda TetraCon 325	2 %	$\mu\text{S cm}^{-1}$
pH	pH	potenciometría, Orion 720, electrodo de Ross	0.3	unidades log
Alcalinidad total	AT	titulación potenciométrica doble p. final	0.3	meq L^{-1}
Dureza	H	titulación colorim. c/negro Eriocromo	0,5	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$
Sodio	Na	Fotometría de llama		mg Na L^{-1}

A.P.H.A., 1992; Tartari y Mosello 1998.



Figura 3. Imagen del estacionamiento principal en un fin de semana; el bosque marginal del arroyo A° Plantamura se observa en el cuadrante superior derecho.

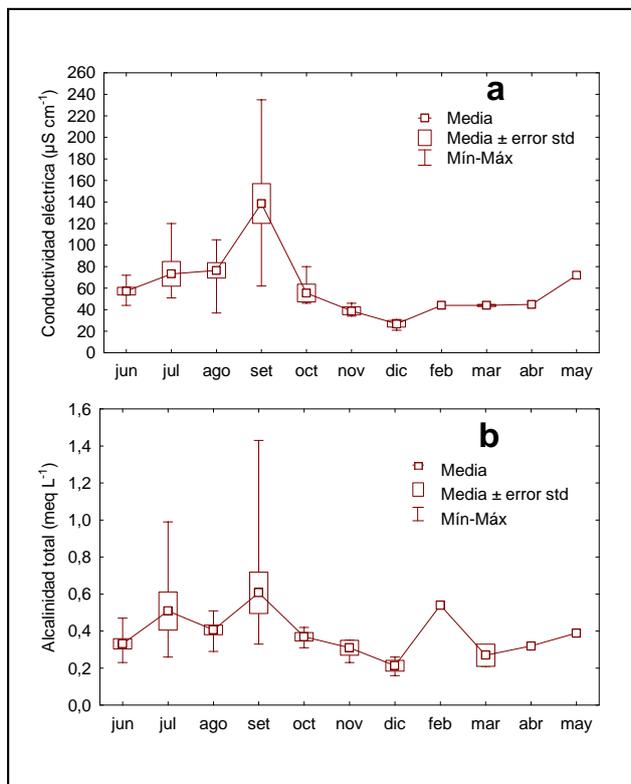


Figura 4. Media mensual, error estándar de la media, máximas y mínimas en el periodo 2000-2010 de conductividad eléctrica (a) y alcalinidad total (b) en E1, con datos regulares de junio a octubre (n=36), ocasionales de noviembre a diciembre (n=7) y de enero a mayo (n=5).

El análisis de correlación con la totalidad de los datos indicó que el 56 % de la variabilidad del AT dependió de CE ($r^2 = 0,46$) en forma altamente significativa ($p < 0,000001$). En particular los valores de AT correspondientes al pico CE se desvían notoriamente de la recta de regresión ($CE = 15,84 + 142,45 \cdot AT$; $n=47$) (Figura 8: # 3, 13, 17, 29 y 36). Las máximas absolutas de AT ($1,46 \text{ meq L}^{-1}$) y de CE ($235 \mu\text{S cm}^{-1}$) (Figura 8: #22) se registraron en el año 2007, el más seco de la década. Los dos picos siguientes (Figura 8: #25 y 28), corresponden a julio y setiembre del año 2008, año en el cual las cenizas del volcán Chaitén, caídas en mayo, alcanzaron un espesor de 3-4 cm en las zona de estudio. Exceptuando el mes de setiembre se obtuvo el mismo coeficiente de determinación $r^2 = 0,46$; $n = 38$) igualmente significativo ($p < 0,00001$). Los resultados con el ln natural de los datos fueron muy similares. Por el contrario de lo esperado, en los meses sin actividad en el CAM (octubre a junio) el coeficiente de determinación fue aún más bajo ($r^2 = 0,27$; $p < 0,05$; $n = 21$). El deshielo no disuelve la totalidad de la sal agregada cada año sobre el camino de acceso y estacionamiento. En primavera suelen observarse guanacos lamiendo manchas de sal remanentes en el camino de acceso (Figura 7), por lo que cabe esperar un efecto residual de la sal también en los meses sin actividad en La Hoya. CE y pH, por una parte, y AT y pH, por la otra, no correlacionaron entre sí en forma significativa.

La temperatura y dureza total (H) (Figura 9) se registraron durante un período de menor extensión (2005 al 2008 y 2010). Las temperaturas mínimas se registraron en el mes de agosto. H osciló entre 12 (julio) y 56 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ (setiembre) y correlacionó con la CE con un coeficiente de determinación de 0,44 altamente significativo ($p < 0,0001$; $n=22$, incluyendo datos de verano). El coeficiente de determinación con la AT fue menor ($r^2 = 0,22$, significativo al 95 % de probabilidad).

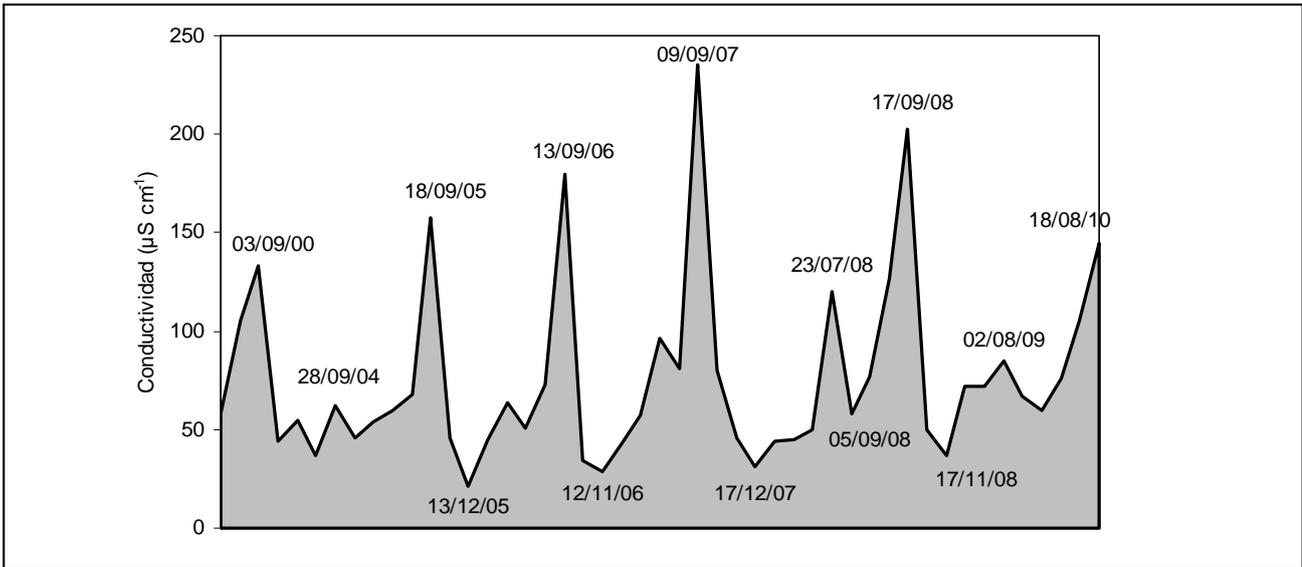


Figura 5. Datos de conductividad del A° Plantamura en E1 del año 2000 al 2010.

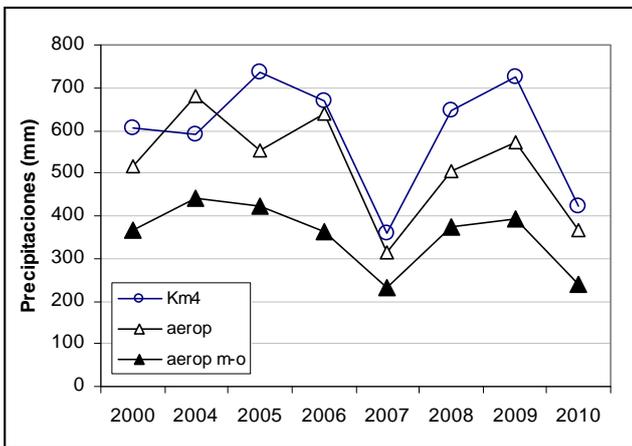


Figura 6. Precipitación anual 2000-2010 en la estación Aeropuerto (Servicio Meteorológico Nacional) (Δ) y en la estación Km 4 (UNPSJB) (\circ). Precipitación acumulada de mayo a octubre (pp m-o) en la estación Aeropuerto (\blacktriangle).

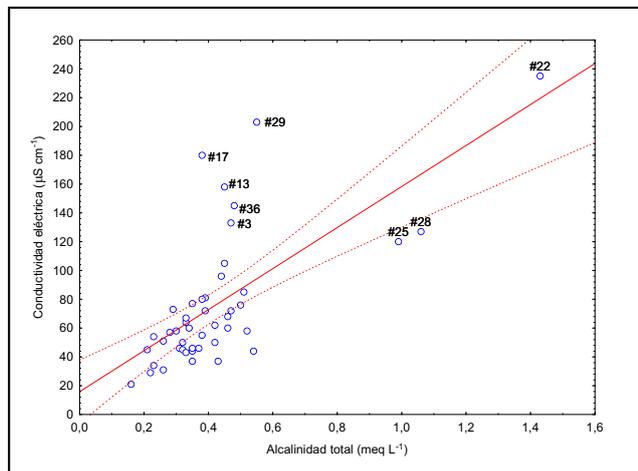


Figura 8. Correlación entre alcalinidad y conductividad en E1 en el periodo 2000-2010 (intervalos de confianza al 95 %; n=47). #3, 13, 17, 29 y 36: inicio del deshielo (set); #25 y 28: jul y set/08; #22: set/07, el año más seco.



Figura 7. Guanaco (*Lama guanicoe*) en el camino de acceso lamiendo sal remanente del deshielo.

ESTACIONES DE CONTROL Y EXTENSIÓN DEL IMPACTO AGUAS ABAJO

En el año 2008 se monitorearon en forma simultánea las estaciones E1, E2 y E3. E2 se encuentra en una cuenca vecina sin mayores impactos (Figura 1; Tabla 2). En condiciones basales, es decir sin actividad en el CAM, e hidrológicamente estables, la CE de E2 superó en 2,2 veces la E1 (119 y 54 $\mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente) (Figura 10a); y la AT fue 2,5 veces mayor (1,10 meq L^{-1} en E2 y 0,40 en E1 (Figura 10b). Asimismo el pH de E2 fue mayor que el de E1 (Figura 10c), con valores superiores a 8 en tres ocasiones, diferencias entre estaciones que se discuten posteriormente.

La lluvia y el deshielo en el período de deportes invernales tuvieron efectos opuestos en E1 y en E2. En los días previos al muestreo del 23-07-08 se registraron 70 mm de lluvias en la

estación meteorológica de la UNPSJB, sin precipitación nival en altura (Figura 11). En E1, estas lluvias produjeron máximos de CE y de AT 3,6 y 2,4 veces mayores que el respectivo valor basal (0,53 meq L⁻¹ y 54 μ S cm⁻¹, respectivamente) (Figura 10a y 10b), por efecto del lavado de salmueras. El deshielo de setiembre, por su parte, produjo máximos de AT y CE en E1 3 y 3,8 veces superiores a los valores de base mencionados. En E2, por el contrario, fue notorio el efecto de dilución de las lluvias de julio, con mínimos de AT y CE 2,1 y 4 veces inferiores a sus respectivos valores de base (1,1 meq L⁻¹ y 119 μ S cm⁻¹) (Figuras 10a y 10b). En agosto la AT volvió a sus valores basales tanto en E1 como en E2. Se consideró valor de base al promedio de datos obtenidos en condiciones hidrológicas estables.

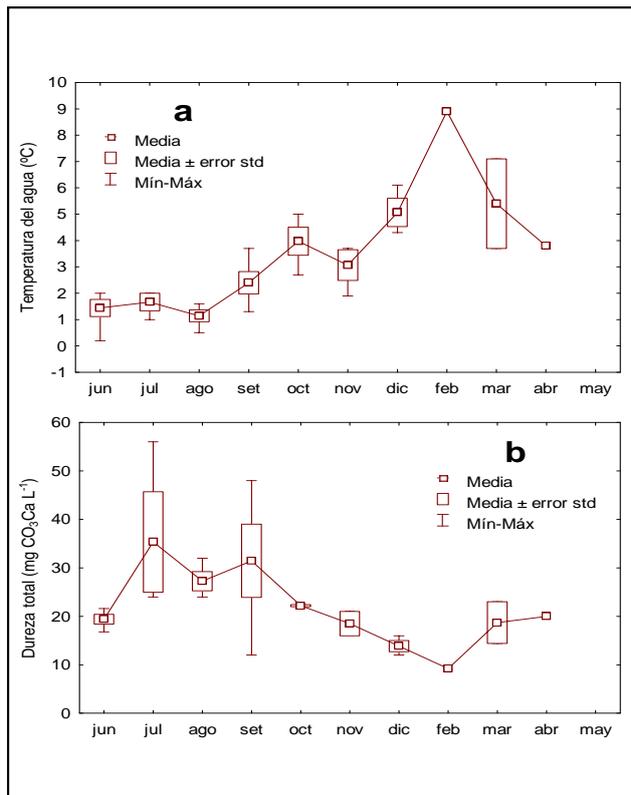


Figura 9. Media mensual, error estándar, mínima y máxima de temperatura del agua (a) periodo 2000-2008 (n= 17) y dureza total (b); periodo 2005-2008 (n=23).

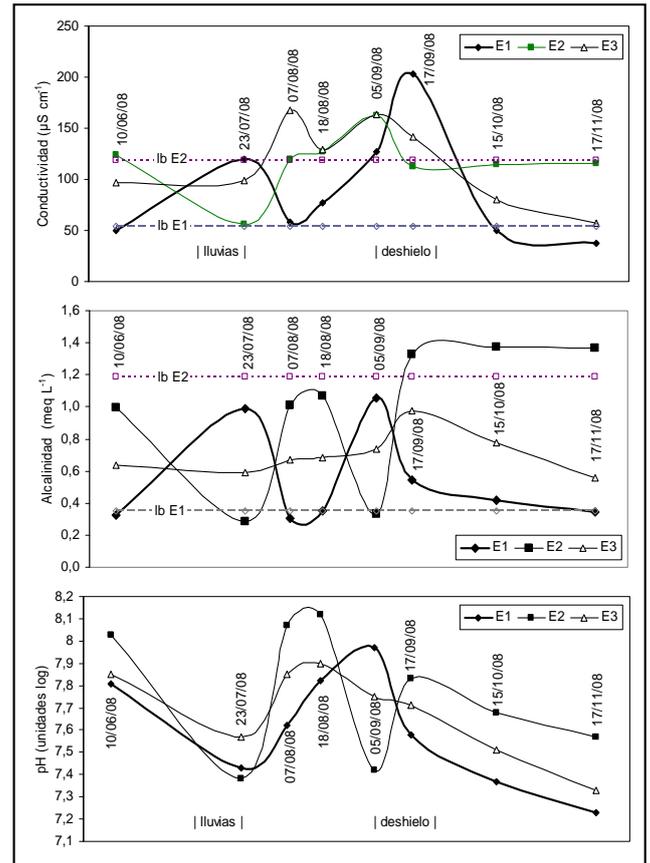


Figura 10. Conductividad eléctrica (a), alcalinidad total (b) y pH (c) en E1, E2 y E3 en el año 2008. Las líneas lb E1 y lb E2 indican el valor basal de CE y AT en E1 y E2.

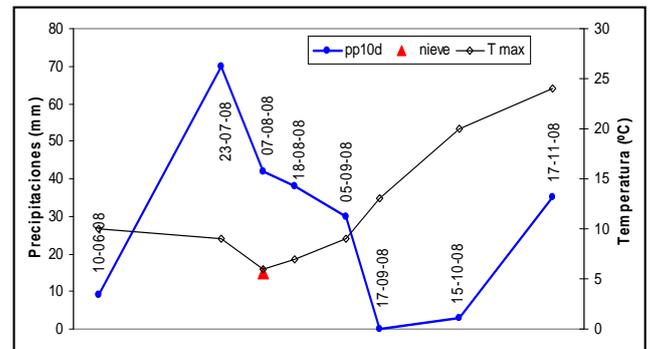


Figura 11. Precipitaciones (pp10d) y máximas diarias de temperatura del aire (Tmax) del año 2008 en los diez días previos al día de muestreo. Datos de la Estación Meteorológica de la UNPSJB.

Tabla 2. Parámetros morfométricos de las cuencas del área de estudio (Figura 1).

Cuenca	Estación	Superficie Has	Atura media m snm	Pendiente media %	Orden lótico	Altura de la Estación m snm
Plantamura	E1	421	1847	30	2	1400
Guanacos	E2	790	1634	30	3	1160
Calera	C3	1043	1571	23	2	1200
Calera	C4	1915	1425	20	2	840

También fue evidente en E2 la dilución de la AT durante el deshielo; pero por el contrario a lo esperado, la CE se incrementó, aunque en menor magnitud que en E1 (0,3 veces con respecto al valor basal) (Figuras 10a y 10b). En los meses de primavera fue notorio el efecto de dilución de la CE y la AT en E1. La dilución de primavera no se observó en E2. El pH disminuyó en las tres estaciones durante el evento de lluvias y durante el deshielo de primavera (Figura 10c).

La extensión longitudinal del impacto se monitoreó en la estación E3, ubicada en el A° Los Bandidos, 2,2 km aguas abajo de la unión de los arroyos Los Guanacos y Plantamura (Figura 1). El pulso anual de CE de setiembre en E1 se atenuó rápidamente aguas abajo (Figura 10a) por la mezcla con aguas del A° Los Corrales y Los Guanacos y de numerosos aportes transitorios durante el deshielo. En E3 se observó un pico de conductividad muy atenuado con respecto al de E1 y un máximo independiente de E1 y de E2, posiblemente producido por un episodio de deshielo a menor altura, con lavado de salmueras desde el camino de acceso (Figura 10a). La AT de E3 tuvo valores intermedios entre E1 y E2 (Figura 10b). El pH de E3 también tuvo valores intermedios, excepto durante el evento de lluvias (Figura 10c).

Muestras complementarias: Los muestreos realizados en E0 durante la temporada 2014 evidenciaron un aumento promedio del 29 % en la CE entre E0 y E1; por el contrario a lo registrado en E1, en E0 no se observó el pico de setiembre. Los valores de AT fueron muy semejantes en ambas estaciones, pero no se verificó en E0 el pico de setiembre observado en E1. La sal altera los valores de CE y en menor medida los de AT. El muestreo de junio/14 en el A° Calera evidenció resultados de CE, AT y pH ($52 \mu\text{S cm}^{-1}$, 45 meq L^{-1} y 7,45 unidades log) en C1 (Figura 1) muy similares a los de E0. La CE del A° Calera aumentó $2,7 \mu\text{S cm}^{-1}$ cada 100 metros de desnivel, desde los 1600 hasta los 840 m s.n.m. Los dos arroyos de orden lóxico 2 que forman el A° Los Guanacos, ubicados en litología similares, tuvieron valores muy semejantes de CE, AT y pH, no obstante la exposición al norte de uno y al sur del otro (Figura 1).

TENDENCIAS INTERANUALES

Puesto que se usó la misma cantidad anual de sal lo largo de la década y que no existen registros de caudal, los datos hidroquímicos se analizaron en relación con los de precipitación (Tabla 3), considerando el período junio-octubre para los primeros y el período mayo-octubre para los segundos (Figura 6). La CE presentó una media máxima de $110 \mu\text{S cm}^{-1}$, en el año 2007, el más seco, y una media mínima de $49 \mu\text{S cm}^{-1}$ en el año 2004 (Figura 12a) el más lluvioso. La AT media máxima anual, $0,58 \text{ meq L}^{-1}$, coincidió también con el año más seco (2007) (Figura 12b). El pH medio mínimo y el mínimo absoluto se registró en el año más lluvioso 2004 (Figura 12c). Por el contrario, la media máxima y el máximo absoluto se verificaron en el año de la caída de cenizas del volcán Chaitén (en el mes mayo) (Figura 12c). El ANOVA con los datos ln-transformados de pp, CE y AT no evidenció diferencias significativas entre años. Solo en el caso del pH, con los datos sin transformar, se encontró una diferencia significativa entre el año 2004 y los demás del período al 99 % de probabilidad.

Tabla 3. Estadísticos de precipitación de mayo a octubre del 2000-2010 en la Estación Aeropuerto. E1. Unidades en mm. x: media; xa: mediana, m: mínima, M: máxima; Ac: acumulada. (n=34).

Precipitación mayo-octubre					
Año	x	xa	m	M	Ac
00-10	56	44	2	224	
2000	61	53	17	118	368
2004	73	46	27	224	440
2005	70	56	7	160	421
2006	59	30	21	164	355
2007	39	31	10	81	233
2008	62	69	7	137	372
2009	65	67	10	116	393
2010	40	31	2	107	240

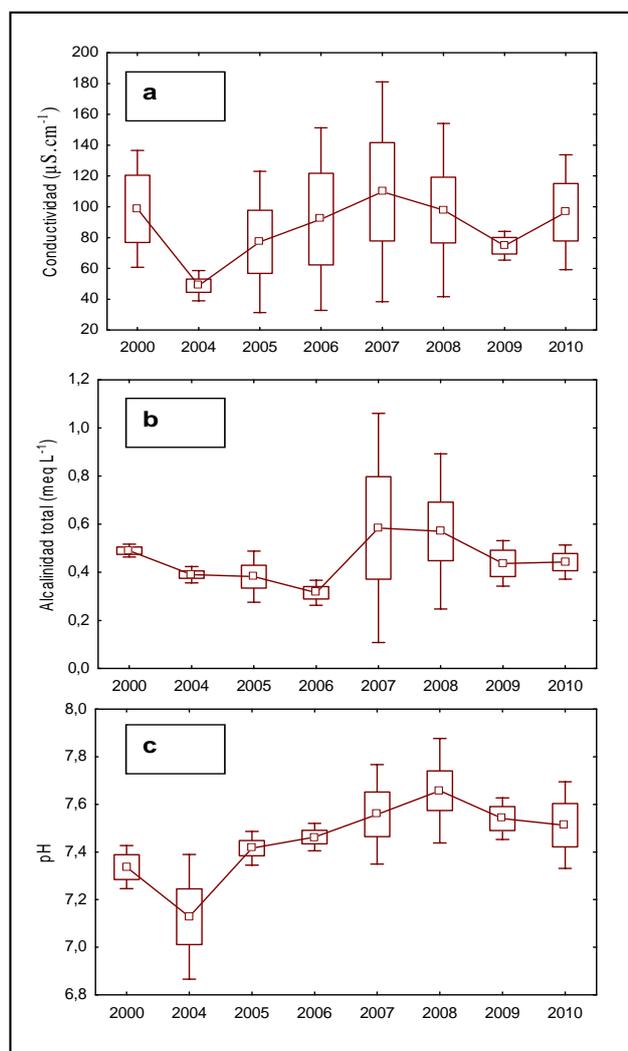


Figura 12. Media mensual, error estándar, mínima y máxima de junio a octubre del 2000 al 2010 de conductividad eléctrica (a), alcalinidad total (b) y pH (c) del A° Plantamura en E1 (n=36)

El análisis de correlación entre estadísticos anuales destacó relaciones significativas al 95 % de probabilidad entre la precipitación máxima (pp *M*) y la CE y el pH mínimos (Tabla 4). El 69 % de la variabilidad de ln CE *m* dependió de ln pp *M* ($r = -0,83$; $p < 0,05$; Figura 13). A la inversa, no ocurrió lo mismo; los coeficientes de determinación entre ln pp *m* y ln CE *M*, ln AT *M* y pH *M*, fueron muy bajos y no significativos (Tabla 4, col. 2). No obstante el máximo absoluto de CE se haya registrado en el año más seco, CE *M* anual fue prácticamente independiente de pp *m*) ($r^2 = 0,08$, Tabla 4). Estos resultados indican que los años con precipitaciones abundantes determinan aguas muy diluidas y con bajo pH; pero que en períodos con precipitaciones escasas la química del agua esta influida por otros factores no considerados en este trabajo. La precipitación acumulada (pp *ac*) correlacionó en forma débil con la CE media ($r^2 = 0,48$, significativo al 90 % de probabilidad). Este resultado sugiere que más que un solo pulso de deshielo al final del período invernal, se produjeron deshielos parciales también durante el invierno.

Hacia el final del período de monitoreo se observaron algunos juveniles de lenga del bosque marginal del arroyo Plantamura muertos en pie (Figura 13) en sitios afectados por salmueras provenientes del estacionamiento (Figura 2); se observaron incluso ejemplares de gran porte secos en pie entre el estacionamiento y el curso del arroyo, posteriormente talados durante trabajos de ampliación de playas. No se observaron ejemplares secos en la margen del arroyo opuesta al estacionamiento.

Tabla 4. Coeficientes de correlación selectos entre estadísticos de variables hidroquímicas excepto pH (jun - oct) en el A° Plantamura (E1) y estadísticos de precipitación (may - oct) en el Aeropuerto de Esquel y niveles de significación (* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; datos ln-transformados, excepto pH). x: media; xa: mediana, m: mínimo, M: máximo; ac: precipitación acumulada.

	pp <i>x</i>	pp <i>m</i>	pp <i>M</i>	pp <i>ac</i>
pH <i>x</i>	-0,71*	-0,55	-0,68	-0,47
	p=0,051	p=0,159	p=0,063	p=0,241
pH <i>xa</i>	-0,67*	-0,54	-0,61	-0,57
	p=0,071	p=0,168	p=0,110	p=0,142
pH <i>m</i>	-0,52	-0,38	-0,73**	-0,33
	p=0,187	p=0,355	p=0,038	p=0,431
pH <i>M</i>	-0,69*	-0,53	-0,49	-0,50
	p=0,060	p=0,180	p=0,215	p=0,203
CE <i>x</i>	-0,31	-0,24	-0,59	-0,69*
	p=0,453	p=0,573	p=0,124	p=0,058
CE <i>m</i>	-0,53	-0,27	-0,83**	-0,51
	p=0,176	p=0,510	p=0,011	p=0,199
CE <i>M</i>	-0,16	-0,24	-0,23	-0,55
	p=0,702	p=0,563	p=0,579	p=0,157
TA <i>xa</i>	-0,54	-0,33	-0,63*	-0,03
	p=0,171	p=0,418	p=0,094	P=0,935

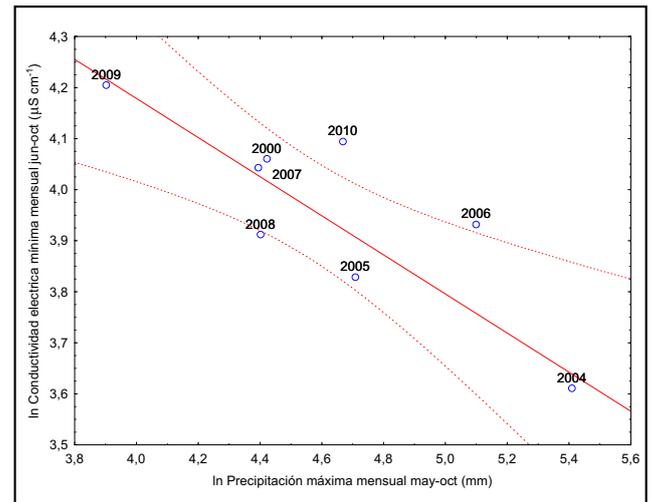


Figura 13. Correlación entre el ln de la precipitación máxima anual (mayo a octubre) y el ln de conductividad mínima anual (junio-octubre) y del 2000 al 2010 en E1 (n=8).

DISCUSIÓN

El patrón más notorio emergente en el análisis estacional fue el pico de CE registrado al comienzo del deshielo (setiembre) en E1, en promedio 2,33 mayor que el valor basal (junio) (Figura 4a), significativamente diferente de los demás meses al 99,99 % de probabilidad. Este pulso de CE se produjo básicamente por la entrada de cloruro de sodio disuelto desde el estacionamiento del CAM (Figura 2), tal como lo evidenció la correlación altamente significativa entre CE y sodio en muestreos complementarios y el aumento del 220 % de CE a partir del tramo de aportes salinos (Figura 3). La elevada correlación entre sodio y CE en ambientes salinizados también ha sido reportada por Backstrom et al. (2004), Daley et al. (2009) y Moore et al. (2013). Puesto que los nutrientes se encontraron en baja concentración en el A° Plantamura (Pizzolon et al. datos no publicados), y que el aporte de sodio de los aerosoles marinos en la vertiente oriental de los Andes Patagónicos es ínfimo (Pedrozo et al. 1993; Chilrud et al. 1994), la influencia del sodio atmosférico en la CE se consideró insignificante. El máximo absoluto de CE se registró en el año 2007, el más seco del período, fue 4,1 veces superior al valor basal. Es posible que los aumentos reales hayan sido aún mayores porque la frecuencia de muestreo fue insuficiente para registrar la gran variabilidad del proceso monitoreado. Cabe asumir además que el valor basal de CE (junio y octubre) aumente de año en año debido al efecto acumulativo de los sucesivos agregados de sal (Kaushal et al. 2005). No toda la sal se disuelve durante el deshielo, como bien lo evidencian los guanacos que bajan a lamerla en los meses siguientes (Figura 7). Una parte puede ser arrastrada al curso de agua durante episodios de lluvias intensas (Figura 10) y el resto acumularse en el suelo. Este efecto residual señala las limitaciones de usar como control los datos de la misma estación de impacto un mes previo y uno posterior al período de actividad en el CAM.

En general, en cursos de agua no perturbados, la AT explica un porcentaje elevado (> 80 %) de la varianza de la CE (Sechriest 1960, Pizzolon 1999). En este trabajo, si bien ambas variables correlacionaron en for-

ma altamente significativa ($p < 0,000001$; $n=47$), el coeficiente de correlación fue llamativamente bajo ($r^2=0,46$) (Figura 8), debido a la interferencia del cloruro de sodio. Por el contrario de lo esperado, la correlación entre AT y CE en los meses sin actividad en el CAM (octubre a junio) fue más baja y menos significativa aún ($r^2 = 0,27$; significativo al 95 % de probabilidad; $n=21$). Este resultado indica que existen efectos residuales de la sal más allá del período de uso de la misma y del deshielo.

Los estadísticos anuales de CE y de AT (Figura 12a y 12b, respectivamente) evidenciaron procesos de dilución y baja del pH en los años más lluviosos (Figura 6). La máxima media anual de AT y de pH se registró en los dos años más secos, 2007 y 2010 (Figura 12b y 12c). Sin embargo la máxima absoluta de pH y de AT de la década se encontró en setiembre del año 2008 en coincidencia con el lixiviado de cenizas del Vn. Chaitén, caídas en mayo de ese año en toda la región y cubiertas luego por la nieve. Las propiedades acidificantes de la ceniza en el momento de su caída (Pizzolon et al. 2008), pueden cambiar rápidamente por la liberación de cationes y el consiguiente aumento del pH del agua de escorrentía (Risacher y Alonso 2001; Anda y Sarwami 2012).

El 69 % de la variabilidad del $\ln CE_m$ dependió significativamente del $\ln pp_M$ ($r = -0,83$; $p < 0,05$; Tabla 4). A la inversa, no se observó el efecto opuesto, $\ln CE_M$, $\ln AT$ y pH fueron prácticamente independientes de la precipitación mínima anual ($\ln pp_m$) (Tabla 4, columna 2). La química de base durante los períodos secos está controlada por otros factores tales como el aporte de los manantiales de altura, quienes, en ausencia de nieve, son los que contribuyen mayormente al caudal durante esos períodos. Se desconoce, aunque no se descarta la existencia de permafrost. La correlación entre precipitación acumulada y CE media, significativa al 90 % de probabilidad (Tabla 4), indica cierto retardo con que las precipitaciones néveas se traducen en caudal e influyen en la conductividad, también señalado por *Dettinger y Diaz (2000)*. Estos análisis se presentan a modo de ensayo puesto que se realizaron con datos de precipitación tomados a 10 km de distancia y a una altura 1000 metros inferior a la de la zona de estudio y, utilizando el total de precipitación mensual, mientras que las muestras se tomaron en diferentes fechas a lo largo del mes.

La AT del A° Los Guanacos en E2 osciló en forma diametralmente opuesta a la de E1; tanto las lluvias (julio) como el inicio del deshielo (setiembre) tuvieron un efecto de dilución sobre la AT de E2 y un efecto de concentración en E1, con relación al respectivo valor de base (Figura 10 b). La CE de E2 también mostró un efecto de dilución durante el evento de lluvias, pero por el contrario, experimentó un ligero aumento al inicio del deshielo, de menor magnitud que en E1, 0,51 y 3,5 veces, respectivamente, con respecto los valores de base (Figura 10 a). Este pequeño pico de CE en E2 se produjo con 15 días de anticipación al de E1. Puesto que el deshielo avanza alrededor de 6-8 metros por día hacia los niveles superiores (*Campbell 1995*), el anticipo del pulso en E2 con respecto a E1 fue relativamente coherente con la diferencia de altura entre ambas estaciones (240 m; Tabla 2). *Peterson et al. (2005)* y *Pomeroy et al. (2005)* destacan el pulso de deshielo como el evento hidrológico-hidroquímico más importante del año en los arroyos de altura no salinizados. En el caso de E1, este pulso natural estaría enmascarado por el aporte salino, resultado que requiere ser confirmado en ulteriores estudios.

En condiciones hidrológicas estables los valores CE y AT de E2 prácticamente duplicaron los valores de E1. En algunos casos estas diferencias se han atribuido a factores geomorfológicos

(*Swanson et al. 1988*). Considerando que las precipitaciones en la región andino-patagónica aumentan entre 33 y 42 mm cada 100 metros de altura (*Jobbágy et al. 1995*), la diferencia de altura media de 213 metros entre E1 y E2 (Tabla 2) implica alrededor del 10 % más precipitaciones en la cuenca de E1 que en la de E2, magnitud insuficiente para explicar las diferencias de CE y AT entre ambas estaciones. El área de la cuenca, por su parte, 1,9 veces mayor en E2 que en E1 (Tabla 2) guarda relación con el incremento de CE y AT observado. Sin embargo, en la cuenca del A° Calera, cuya superficie en C3 es 2,5 veces mayor que la de E1 (Tabla 2), se encontraron valores de CE y AT muy similares a E1; por lo tanto, la conductividad y alcalinidad son independientes de la superficie de la cuenca. Las cuencas de C3 y de E1 se encuentran en el mismo complejo intrusivo granodiorítico de la Formación Leleque, mientras que en la de E2 predominan las sedimentitas y vulcanitas de la formación Piltriquitrón (*González Bonorino 1979*; *Lizuaín Fuentes 1980*). Cabe concluir entonces que el valor basal de las variables medidas depende primariamente del tipo de roca dominante y las respectivas tasas de meteorización. Estos resultados coinciden con los reportados por *Pedrozo et al. (1993)*, *Chilrud et al. (1996)* y *Drago y Quirós (1996)* para la región andino-patagónica.

El pico de CE de E1 de setiembre se atenuó aguas abajo por sucesivas diluciones debidas a los numerosos aportes transitorios provenientes del deshielo y del A° Los Guanacos. Así, en E3 se registró un pico apenas 0,6 veces superior a los valores de base. El modelo de mezclas es complejo puesto que también se deben considerar aportes de salmueras a distintas alturas desde el camino de acceso, donde se esparce sal a partir de los 1000 m snm. Aguas abajo, en las captaciones subterráneas de agua para la planta potabilizadora, algunos datos dispersos evidenciaron un aumento de CE mucho más atenuado aún y con dos meses de retraso son respecto al pico de conductividad de E1 (*Pizzolon et al. 2006*). Estas estimaciones, aún basadas en un número escaso de datos, indican que el grado de salinización actual es acotado en el tiempo y se atenúa rápidamente hacia abajo de E1 por sucesivas diluciones y eventuales procesos en el cauce. El incremento de salinidad encontrado en E1 fue muy inferior al de los ambientes del hemisferio norte donde se reportan aumentos permanentes de hasta cien veces (*Ramakrishna y Viraraghavan 2005*; *Daley et al. 2009*; *Amundsen et al. 2010*). Así y todo en este caso fue notoria la presencia de lenguas muertas en el talud existente entre el arroyo y el estacionamiento principal (Figura 2, Figura 14). La desecación osmótica es uno de los principales impactos de la sal, pero también existen otros efectos indirectos tales como una menor disponibilidad de nutrientes en suelos y aguas (*Green et al 2008*; *Amundsen et al. 2010*; *More et al. 2013*) y movilización de metales pesados en la solución del suelo (*Lofgren 2001*; *Backstrom et al. 2004*; *Kelting y Laxson 2010*).

Desde el punto de vista hidroquímico se diferenciaron tres períodos a lo largo del año: la transición invierno-primavera (ago-set) incluyendo el deshielo propiamente dicho (set-dic), los eventos de lluvia y el flujo basal de verano-otoño. *Peterson et al. (2005)* y *Pomeroy et al. (2005)* destacan el deshielo como el evento más importante en la química del agua de los arroyos de altura, exacerbado en este caso por el aporte salino. La frecuencia de muestreo empleada permitió detectar algunos patrones generales del arroyo Plantamura y Los Guanacos tales como, -el inicio del deshielo (ago o set), el deshielo propiamente dicho (set-dic), los eventos de lluvia y el flujo basal de verano-otoño-. Sin duda dicha



Figura 14. Juveniles de lenga en el talud entre el estacionamiento y el A° Plantamura muertos por desecación osmótica.

frecuencia es muy inferior a la escala de tiempo en que se producen la mayoría de los cambios de caudal y de concentración. *Kirchner et al. (2004)* y *Occhi (2009)* señalan la utilidad de los registros continuos de CE para identificar los flujos de diferente origen, de eventos de deshielo, de lluvias o tormentas, aportes sub-superficiales. Debido a la relación significativa entre precipitaciones, CE, AT y pH, y la perspectiva de disminución del espesor, duración y extensión altitudinal de la cobertura névea (*Fountain et al. 2012*), es importante continuar y ampliar este estudio.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AGHAZADEH, N., M. NOJAVAN Y A. A. MOGADDAM. 2012. Effects of road-deicing salt (NaCl) and saline water on water quality in the Urmia area, northwest of Iran. *Arabian J. Geosciences* 5(4): 565-570.
- ANDA, M Y M. SARWANI. 2012. Mineralogy, Chemical Composition, and Dissolution of Fresh Ash Eruption: New Potential Source of Nutrients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:733-747. https://www.researchgate.net/profile/Markus_Anda/publication/270474175_Mineralogy_Chemical_Composition_and_Dissolution_of_Fresh_Ash_Eruption_New_Potential_Source_of_Nutrients/links/557f953808aeea18b77967c7.pdf. Última consulta marzo 2016.
- AMUNDSEN, C.E., S. HÅLAND, H. FRENCH, R. ROSETH Y N. O. KITTERØD, 2010. Environmental damages caused by road salt –a literature review. Norwegian University of Life Sciences, Department of Plant and Environmental Sciences. Project 21101438, 98 pp. Disponible en: http://www.vegvesen.no/_attachment/160660/binary/298413. Último acceso: 30-10-2013.

CONCLUSIONES

Las perturbaciones en la química de base detectadas en el A° Plantamura fueron de alcance limitado tanto espacial como temporalmente. El pico de salinidad se atenúa rápidamente aguas abajo a medida que recibe otros afluentes y numerosos aportes temporarios durante el deshielo. El aporte salino influyó principalmente en la conductividad eléctrica pero también alteró los valores de alcalinidad total y de pH. Se estima que la salinización detectada es incipiente. Sin embargo, la muerte de lengas verificada hacia el final de este estudio evidenció que el impacto local no es menor. En qué medida pueda afectarse el uso urbano del agua, es un factor a considerar conjuntamente con el aumento de nutrientes, la proliferación de perifiton y sus efectos sobre los lechos filtrantes ubicados aguas abajo. Un impacto no menor es el arrastre de sedimentos movilizados por las tareas de mantenimiento y ampliación del camino y playas de estacionamiento. Es importante dar continuidad y ampliar este monitoreo tanto por el incremento de la actividad en La Hoya y el uso del agua en la ciudad de Esquel, como por el escaso conocimiento de la hidroquímica de arroyos de alta montaña de la región andino-patagónica y de los efectos del cambio climático global en ellos.

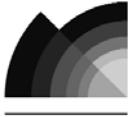
AGRADECIMIENTOS

- A la Cooperativa 16 de Octubre, por la financiación parcial del trabajo, Convenio UNPSJB/FCN-Coop. 16 de Octubre Ltda.; en particular al Arq. Luis Ret, del Servicio de Agua Potable y Saneamiento.
- Al Servicio Meteorológico Nacional, por los datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto Esquel y a la Estación Meteorológica de UNPSJB, Km 4, Esquel.
- A los estudiantes Darío Anden, a Lucas Pereyra y a Sebastián Pintos por su colaboración en los muestreos y análisis complementarios.
- A Lic. Pablo López Bernal, por sus orientaciones en el análisis estadístico.
- A un revisor anónimo por sus valiosas observaciones sobre el manuscrito original.

- A.P.H.A. – A.W.W.A. – WPCA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1992.
Manual de métodos estandarizados para el análisis de las aguas potables y residuales.
Diaz de Santos. Madrid.
- BACKSTROM, M., S. KARLSSON, L. BACKMAN, L. FOLKESON Y B. LIND. 2004.
Mobilization of heavy metals by deicing salts in a roadside environment.
Water Res. 38:720–732.
- DI RIENZO J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA Y C.W. ROBLEDO. 2008.
InfoStat, versión 2008.
Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- BLASIUS, B.J. Y R.W. MERRITT, 2002.
Field and laboratory investigations on the effects of road salt (NaCl) on stream macroinvertebrate communities.
Environ. Pollut. 120:219–231.
- CAMPBELL, D.H., D.W. CLOW, G.P. INGERSOLL, M.A. MAST, N. SPAHR Y J.T. TURK. 1995.
Processes controlling the chemistry of two snowmelt-dominated streams in the Rocky Mountains.
Water Resour. Res. 31(11):2811-2821.
- CHILRUD, S.N., F.L. PEDROZO, P.F. TEMPORETTI, H.F. PLANAS Y P.H. FROELICH. 1994.
Chemical weathering of phosphate and germanium in glacial meltwater streams: effects of subglacial pyrite oxidation.
Limnol. Oceanogr. 39(5):1130-1140.
- DALEY, M. L., J. D. POTTER Y W. H. MCDOWELL. 2009.
Salinization of urbanizing New Hampshire streams and groundwater: effects of road salt and hydrologic variability.
Jr. North Am. Benthological Soc. 28 (4):929-940.
- DETTINGER, M.D. Y H.F. DIAZ. 2000.
Global characteristics of stream flow seasonality and variability.
J. Hydrometeorol. 1:289-310.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. 2008.
InfoStat, versión 2008,
Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DRAGO, E. Y R. QUIRÓS. 1996.
The hydrochemistry of inland water of Argentina: a review.
Int. J. Salt Lake Res. 4:1-11.
- FORMAN, R.T.T. Y L.E. ALEXANDER. 1998.
Roads and their major ecological effects.
Annu. Rev. Ecol. Syst. 1998. 29:207–31.
- FOUNTAIN, A.G., J.L. CAMPBELL, E.A.G. SCHUUR, S.E. STAMMERJOHN, M.W. WILLIAMS Y H.W. DUCKLOW. 2012.
The disappearing cryosphere: impacts and ecosystem responses to rapid cryosphere loss.
BioScience, 62(4):405-415.
- GOLTERMAN, H.L., R.S. CLYMO Y M.A.M. OHMSTAD. 1978.
Methods for physical and chemical analysis of freshwaters.
Blackwell Sci. Pub. 2da. Ed. Oxford, 214 pp.
- GONZALEZ BONORINO, 1979.
Esquema de la evolución geológica de la cordillera norpatagónica.
Rev. Asoc. Geol. Arg. XXXIV(3): 184-202.
- GOSZ, J.L. 1977.
Effects of ski area development and use on stream water quality of the Santa Fe basin, New Mexico.
Forest Sci.: 23(2):167-179.
- GREEN, S.M., R. MACHIN Y M.S. CRESSER. 2008.
Effect of long-term changes in soil chemistry induced by road salt applications on N-transformations in roadside soils.
*Environm. Pollut. 152(1):20-31. Disponible en: [http://eprints.whiterose.ac.uk/3733/1/ManuscriptSMGrevised2.pdf].
Ultimo acceso: 30-10-2013.*
- JOBBÁGY, E.G., J.M. PARUELO Y R.J.C. LEÓN. 1995.
Estimación del régimen de precipitación a partir de la distancia a la cordillera en el noroeste de la Patagonia.
Ecología Austral: 5:47-53.
- KANGAS, K., KARI-MATTI VUORI, H. MÄÄTTÄ-JUNTUNEN Y P. SIIKAMÄKI. 2012.
Impacts of ski resorts on water quality of boreal lakes: a case study in northern Finland.
Boreal Environ. Res. 17: 313–325.

- KAUSHAL, S.S., P.M. GROFFMAN, G.E. LIKENS, K.T. BELT, W.P. STACK, V.R. KELLY, L.E. BAND Y G.T. FISHER. 2005.
Increased salinization of fresh water in the northeastern United States.
P. Natl. Acad. Sci. USA 102 no. 38:13517-13520. Disponible en: [<http://www.pnas.org/content/102/38/13517.full.pdf+html?sid=261c949a-47b5-41c1-8310-71da6395dc49>]. Ultimo acceso: 30-10-2013.
- KELTING, D.L. Y C.L. LAXSON. 2010.
Review of effects and costs of road de-icing with recommendations for winter road management in the Adirondack Park.
Adirondack Watershed Institute Report # AWI2010-01. 82 pp. Disponible en: [http://www.adkaction.org/files/public/Full_Study_Salt.pdf]. Ultimo acceso: 30-10-2013.
- KIRCHNER, J.W., X. FENG, C. NEAL Y A. J. ROBSON. 2004.
The fine structure of water-quality dynamics: the (high frequency) wave of the future.
Invited commentary. Hidrol. Process. 18:1353-1359.
- HAYASHI, M. 2004.
Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion.
Environm. Monit. Assess. 96: 119-128.
- LIKENS, G.E. 1992.
The ecosystem approach: its use and abuse.
Excellence in ecology 3. Ecology Institute, Oldendorf. 166 pp.
- LIZUAIN FUENTES, A. 1980.
Las formaciones suprapaleozoicas y jurásicas en la cordillera patagónica de Río Negro y Chubut.
Rev. Asoc. Geol. Arg. XXXV(2): 174-182.
- LOFGREN, S. 2001.
The chemical effects of deicing salt on soil and stream water of five catchments in Southeast Sweden.
Water, Air, Soil Poll. 130(1-4): 863-868.
- MISERENDINO, M.L. Y L. PIZZOLON. 2000.
Macroinvertebrates of a fluvial system in Patagonia: altitudinal zonation and functional structure.
Arch. Hydrobiol. 150(1):55-83.
- MOLLES, M.C. Y J.R. GORZ. 1980.
Effect of ski area on the water quality and invertebrates of a mountain stream.
Water, Air, Soil Poll. 14:187-205.
- MOORE J., S. M. LEV, Y R. E. CASEY. 2013.
Modeling the effects of road salt on soil, aquifer, and stream chemistry.
Proceedings of the conference MODFLOW: Translating science into practice, Colorado School of Mines, Golden, CO, USA. 5 pp.
- OCCHI, M. 2009.
Sources of stream discharge in the north east and north west branches of the Anacostia watershed. 34 pp.
Disponible en: [<http://www.geol.umd.edu/undergraduates/paper/occhi.pdf>]. Ultimo acceso: 30-10-2013.
- PARUELO, J. M., E. G. JOBBÁGY, Y O. E. SALA. 1998.
Biozones of Patagonia (Argentina).
Ecología Austral, 8:145-153.
- PEDROZO, F; S CHILLRUD; P TEMPORETTI & M DIAZ. 1993.
Chemical composition and nutrient limitation in rivers and lakes of Northern Patagonian Andes (39.5°-42° S; 71° W) (Rep. Argentina).
Verh. Internat. Verein. Limnol., 25:207-214.
- PEDROZO, F. L. Y S. N. CHILRUD. 1998.
Relative water fluxes and silicate weathering from the tributaries of a small glaciated watershed in the southern Patagonian Andes (Upper Manso watershed, Argentina, 72° W; 41° S).
Verh. Int. Verein. Limnol., 26,935-939.
- PETERSON, D., R. SMITH, I. STEWART, N. KNOWLES, C. SOULARD Y S. HAGER. 2005.
Snowmelt Discharge Characteristics Sierra Nevada, California.
SIR - 2005-5056. US Geological Survey. 17 pp. <http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5056/pdf/SIR-2005-5056v1.1.pdf>.
Revisado: 30-7-2015.
- PIZZOLON, L. A. 1999.
Flujo de iones principales y nutrientes en la cuenca del lago Puelo (Argentina).
Tesis de MSc. en Ecología Acuática Continental. Universidad Nacional Litoral. Santa Fé. 195 pp.

- PIZZOLON, L., L. MISERENDINO Y G. ALDAY. 2001.
Control de la Calidad del Agua en la cuenca del Río Percey.
Convenio Coop. 16 de Octubre- UNPSJB/FCN. Informe Final Campaña 2000/1. 63 pp.
- PIZZOLON, L. Y G. ALDAY. 2005.
Calidad del agua en el sistema Esquel-Percey. Convenio Cooperativa 16 de Octubre- UNPSJB.
Informe Final, Campaña 2004. 46 pp.
- PIZZOLON, L., I. ORELLANA Y G. OMAD. 2006.
Monitoreo de la Calidad del Agua en el sistema Esquel-Percey.
Convenio Coop. 16 de Octubre- UNPSJB/FCN. Informe Final Campaña 2005. 27 pp. 2008. Informe Final Campaña 2006. 33 pp.
- PIZZOLON, L., A. CURAQUEO Y F. GARCÍA SOTILLO. 2008.
Monitoreo de la Calidad del Agua en el sistema hídrico Esquel-Percey.
Convenio Coop. 16 de Octubre- UNPSJB/ FCN. Informe Campaña 2007. 36 pp. 2009. Informe Campaña 2008. 34 pp.
- PIZZOLON, L., A. CURAQUEO Y S. ARRECHEA. 2008.
Evaluación de los riesgos de alteración de la calidad del agua por las cenizas del Vn. Chaitén.
Esquel, 20 de mayo de 2008.
Informe Técnico L.E.A.-OA. 11 pp.
- POMEROY, J.W., H. G. JONES, M. TRANTER Y G. LILBÆK. 2005.
163: Hydrochemical Processes in Snow-covered basins.
Encyclopedia of Hydrological Sciences. M. G. Andersen (Ed.). J. Wiley & Sons. p. 2525-2537.
- RAMAKRISHNA, D.M. Y T. VIRARAGHAVAN. 2005.
Environmental Impact of Chemical Deicers - A Review.
Water, Air, Soil Poll. 166(1-4):49-63.
- RISACHER, F. Y H. ALONSO. 2001.
Geochemistry of ash leachates from the 1993 Lascar eruption, northern Chile.
J. Volcanol. Geotherm. Res. 109(4):319-337. SECHRIEST, R.E. 1960. Relationship between total alkalinity, conductivity, original pH, and buffer action of natural water. Ohio Jr. Science 60(5):303-308. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1811/4723>. Ultimo acceso: 25.-6-2015.
- STATSOFT, INC. 2007.
Statistica (data analysis software system),
version 8.0.
- STRANKO, S., R. BOURQUIN, J. ZIMMERMAN, M. KASHIWAGI, M. MCGINTY Y R. KLAUDA. 2013.
Do Road Salts Cause Environmental Impacts?.
Maryland Dep. Natural Resources. 33 pp. http://www.mde.state.md.us/programs/Marylander/Documents/2013_Stranko_Road_Salt_%28final%29_TMF_edits.pdf. Ultimo acceso 15-3-16.
- SWANSON, F.J., T.K. KRATS, N. CAINE Y R.G. WOODMANSEE. 1988.
Landform effects on ecosystem pattern and processes.
Geomorphic features of the earth surface regulates the distribution of organism and processes. Bioscience 38 (2):92-98.
- TALLING, J. 2009.
Electrical conductance: a versatile guide in freshwater science.
Freshwater Rev. 2:66-78.
- TARTARI, G. Y R. MOSELLO. 1998.
Techniche analitiche in uso presso l'Istituto Italiano di Idrobiologia, Pallanza.
Doc. Ist. Ital. Idrobiol. 60. 160 pp.



Propuesta de análisis de la sismicidad a escala 1:250.000. Caso: Hoja Salta

Proposal for seismicity analysis. Scale: 1: 250,000. Sheet: Salta

Gonzalez, M. A.¹ ✉ - Chayle, W.²

Recibido: 21 de mayo de 2015 • Aceptado: 17 de mayo de 2016

Resumen

Se presenta una propuesta de trabajo para el análisis de la sismicidad a escala regional. La Dirección de Geología Ambiental y Aplicada del SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino) realiza la cartografía sistemática de la Peligrosidad Geológica a escala 1:250.000 de la República Argentina. En el mapeo se incorporan todos los procesos geológicos que pueden generar daños, entre los cuales se encuentran los sismos. De acuerdo con la normativa de la Carta de 1996 se realiza un esquema con la localización de los epicentros a escala 1:1.000.000 y en la memoria explicativa se analiza la sismicidad histórica y la información de actividad sísmica actual, de acuerdo con la información suministrada por el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica).

En el caso de la Hoja Salta, se realizó un análisis de la sismicidad histórica con la colaboración del Instituto de Geología y Minería de Jujuy, además se zonificó la superficie de la Hoja según la intensidad, profundidad y densidad de los epicentros. También se consideró la distribución geográfica de las principales estructuras tectónicas con alguna evidencia de actividad cuaternaria y que atraviesan el área de estudio.

El procesamiento de los datos se realizó con ARCGIS, en donde se graficaron los epicentros ocurridos entre 1998 y 2014. Se realizó un cálculo entre las tres cartas obtenidas, con lo que resultó una carta con cuatro zonas de susceptibilidad sísmica.

Finalmente se superpusieron las trazas de las fallas con actividad cuaternaria reconocible y se concluyó con una descripción de la sismicidad, la cual fue de sumo interés para el análisis posterior de la Carta de Peligrosidad Geológica.

Palabras clave: sismicidad, peligros geológicos, susceptibilidad.

Abstract

A work proposal for the analysis of regional seismicity is presented. The Dirección de Geología Ambiental y Aplicada del SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino) conducts systematic threat Geological mapping at 1: 250,000 in Argentina. In all geological mapping processes that can cause damage, including earthquakes are incorporated. According to the rules of SEGEMAR (1996) should make a sketch showing the location of the epicenters at 1: 1,000,000 and in the explanatory memorandum historical seismicity and

1. SEGEMAR-Dirección de Geología Ambiental y Aplicada.
✉ maria.gonzalez@segemar.gov.ar
2. UNJu- Instituto de Geología y Minería.

information current seismic activity is analyzed according to the information provided by the INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica).

In the case of Hoja Salta, an analysis of the historical seismicity in collaboration with the Instituto de Geología y Minería de Jujuy were performed and the surface of the Carta is divided up according to the intensity, depth and density of the epicenters. The geographical distribution of major tectonic structures with some evidence of Quaternary activity was also considered and passing through the study area.

The data processing was performed with ARCGIS, where the epicenter occurred between 1998 and 2014 a calculation of the three layers obtained was performed, which proved a layer with four zones of seismic susceptibility is plotted.

Finally the traces of faults with Quaternary activity recognizable overlapped and concluded with a description of seismicity, which was of great interest for further analysis of the Charter Geological Hazard.

Keywords: seismicity, geological hazard, susceptibility.

ANTECEDENTES

La Hoja Salta está enmarcada en un ambiente de intra-placa, donde ocurrieron y ocurren los terremotos más destructivos de la región. En un estudio sísmico realizado (Cabill, et al. 1992) en Cordillera Oriental y Sierras Subandinas durante nueve meses de medición, registraron 300 movimientos. La mayor densidad de hipocentros registrados correspondieron a una profundidad entre 20 y 25 km. La densidad va disminuyendo lentamente hacia la superficie, mientras que por debajo de los 25 km rápidamente disminuyen el número de eventos hasta los 35 km de profundidad. Aproximadamente a los 40-45 km de profundidad se encuentra la discontinuidad de Moho. A partir de ese estudio, se proponen dos modelos de engrosamiento de corteza continental (Cabill, op. cit 1992). Lo importante para el análisis de la sismicidad es la presencia, en ambos modelos, de bloques que constituyen las sierras subandinas, Sierra de Zapla y del Chañi, limitados por fallas casi verticales en superficie que tienden a hacerse subhorizontales en profundidad. La mayor cantidad de focos sísmicos han sido reconocidos debajo de la sierra de Zapla.

FACTORES CONDICIONANTES

Las características tectónicas son de gran importancia para el condicionamiento de este proceso, así como las litológicas y su ubicación con respecto a la subducción de Nazca debajo de la Placa Sudamericana.

El área de estudio presenta pliegues con orientación submeridional, coincidentes con la orientación de las sierras. Las fallas regionales y los afloramientos de rocas de los diferentes períodos geológicos, también tienen similar orientación.

Durante el Cenozoico, se sucedieron al menos tres episodios de deformación: Incaico (Eoceno superior?), Quechua (Mioceno superior) y Diaguíta (Plioceno superior-Pleistoceno inferior). En ese lapso el frente orogénico se trasladó progresivamente hacia el este, edificando la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas (Salfity y Marquillas, 1999; Ramos, 1999; Mon, 2001).

El lineamiento Calama-Olacapato-Toro (COT) es una estructura tectónica transversal a la región andina y según diferentes autores tiene un rol importante en la actividad sísmica, volcánica y geotérmica. Los sismos asociados al lineamiento son movimientos típicos de la placa de Nazca, por eso la profundidad de los hipocentros en la ciudad de Salta ocurren a unos 250 km y por debajo de Rosario de a unos 600 km de profundidad. Debido a la gran profundidad las ondas sísmicas tienen

menor efecto por su propagación en las inmediaciones del epicentro, debido a lo cual estos sismos son poco destructivos.

Colombi y colaboradores (2002) analizaron la amplificación sísmica de la ciudad de Salta y diferencian dos áreas de terremotos: unos relacionados al plano de subducción, localizados a profundidades crecientes en sentido O-E (fuera de la hoja), y otra zona con actividad sísmica superficial relacionada al actual frente de deformación andino en las Sierras Subandinas. Con respecto a la litología, estos mismos autores proponen una subdivisión de las formaciones geológicas presentes en tres unidades gravimétricas: a) las rocas del basamento Precámbrico superior-Paleozoico inferior con $\rho=2,67 \text{ g/cm}^3$; b) depósitos cenozoicos con $\rho=2,3 \text{ g/cm}^3$; c) rocas del cuaternario no diferenciado con $\rho=2,15 \text{ g/cm}^3$. También agregan que a causa de los grandes espesores de los depósitos cuaternarios, encuentran áreas de “desamplificación” donde las ondas sísmicas no amplifican su efecto.

En los diferentes valles de la Hoja se reconocen geolineamientos; en algunos casos poco visibles, en otros se presentan escarpas de fallas en terrenos modernos y también son evidentes las fallas modernas en los flancos de los cordones montañosos en contacto con los valles y particularmente en las serranías. Las dataciones radiométricas disponibles y las similitudes litofaciales son escasas entre algunas unidades cuaternarias, por lo tanto no es posible definir cuantitativamente tasas de movimiento ni edades absolutas de deformación en los diferentes sectores de la región. Sin embargo, analizando la estratigrafía cuaternaria disponible es posible establecer relativamente aquellas zonas con actividad tectónica más reciente. La actividad sísmica en la región está íntimamente relacionada con algunas características de ciertas estructuras geológicas presentes en la zona. A partir de la información obtenida en la base de datos de deformaciones Cuaternarias (Casa et al., 2014), y trabajos recientes podemos mencionar las estructuras con actividad cuaternaria enumeradas en la Tabla 1 y la Figura 1.

SISMICIDAD HISTÓRICA

La región de estudio y alrededores presenta históricamente manifestaciones de movimientos sísmicos que, en diferentes oportunidades, se han registrado como catastróficos en distintas poblaciones. Los sismos han sido escasamente documentados, sin embargo el análisis histórico de estos eventos de la región nos permite conocer el impacto que tuvieron en la población desde la colonización española, porque es a partir de esa época que comienzan los registros escritos.

Tabla 1. Listado de deformaciones cuaternarias ubicadas en la Hoja Salta.

Nº	Nombre	Edad del último movimiento	Característica	Referencia
1	Falla Solá	Cuaternario (<1.8 Ma) Asociada a avalanchas de rocas (Strecker y Marrett 1999, Hermanns y Strecker 1999).	Falla Inversa Rumbo promedio NO-SE Inclinación SO	Marrett et al. 1994
2	Falla Gólgota	Cuaternario (<1.8 Ma) Asociada a grandes movimientos en masa (Strecker y Marrett 1999, Hermanns y Strecker 1999).	Falla Inversa Rumbo promedio NE-SO Inclinación 30° - 45° SE	Marrett et al. 1994
3	Falla Agujas	Cuaternario (<1.8 Ma)	Falla Inversa Rumbo promedio NO-SE Inclinación NE	Marrett et al. 1994
4	Falla Río Blanco	Cuaternario (<2.6 Ma)	Falla Inversa Rumbo promedio NO-SE Inclinación SO	García, et al. 2011 García, et al. 2013
5	Grupo de fallas Carabajal	Cuaternario (<2.6Ma) (a) Holoceno (<11ka) (b) (c)	Falla Inversa Rumbo promedio NO-SE Inclinación NE Intervalo de recurrencia <1000 años Tasa de Movimiento <1mm/año	García, et al. 2013
6	Falla Manzano	Cuaternario (<2.6 Ma)	Falla Inversa Rumbo promedio N-S Inclinación O	García, et al. 2011 García, et al. 2013
7	Anticlinal Vaqueros-Medeiros	Cuaternario (<2.6 Ma)	Pliegue Anticlinal Inclinación promedio de los flancos <30°O y >60°E Intervalo de recurrencia <1000 años Tasa de Levantamiento <1mm/año	García, 2011 García, et al., 2011 García, et al. 2012 García, et al., 2013 González Bonorino y Abascal, 2012a González Bonorino y Abascal, 2012 b INPRES, 1994
8	Anticlinal Vaqueros-Medeiros	Holoceno (<11 ka)	Anticlinal con eje buzante <30°S Inclinación promedio de los flancos <30°O y >60°E Intervalo de recurrencia <1000 años Tasa de Levantamiento <1mm/año	García, 2011 García, et al., 2011 García, et al., 2012 García, et al., 2013 Georgieff, y González Bonorino, 2005 González Bonorino y Abascal, 2012a González Bonorino y Abascal, 2012 b
9	Grupo de fallas Medeiros	Holoceno (<11 ka)	Falla Inversa Rumbo promedio N-S Inclinación >60°E	García, et al., 2012 García, et al., 2013
10	Falla Chemical	Cuaternario (<2.6 Ma)	Falla bloque hundido NO Rumbo promedio NE-SO	INPRES, 1994
11	Falla Mojotoro	Holoceno (<11 ka) Sismos someros de M > 4.5 han sido registrados sobre esta estructura (García et al. 2013). Esta falla podría ser la responsable del terremoto de Talavera de Esteco de 1692. García et al. (2013) (Ficha AR-0351 en Casa, et al 2014).	Falla Inversa Rumbo promedio N-S. Inclinación O Intervalo de recurrencia >5000 años Tasa de Movimiento <1mm/año	García, et al., 2013 González Bonorino y Abascal, González Bonorino y Abascal, 2012 b Hain, et al., 2011
12	Falla Los Alisos	Cuaternario (<1.8 Ma)	Falla bloque hundido O Rumbo promedio N-S	Chayle, y Perez , 1994 Chayle y Chalabe, 1990
13	Falla Pie de la Sierra del Gallo	Cuaternario (<2.6 Ma) Asociada a sismos históricos destructivos: 25-08-1948 (IX) y 05-12-1873 (VIII).	Falla bloque hundido O / N / NO Rumbo promedio N-S / E-O / NE-SO	INPRES, 1994
14	Grupo de fallas y Anticlinal de la Sierra de Zapla	Remoción en masa (Chayle y Pérez, 1994)	Fallas inversas, Rumbo promedio N-S; Inclinación E y O. Pliegue anticlinal, inclinación promedio de los flancos < 30°O y >60°E	Cahill, et al, 1992

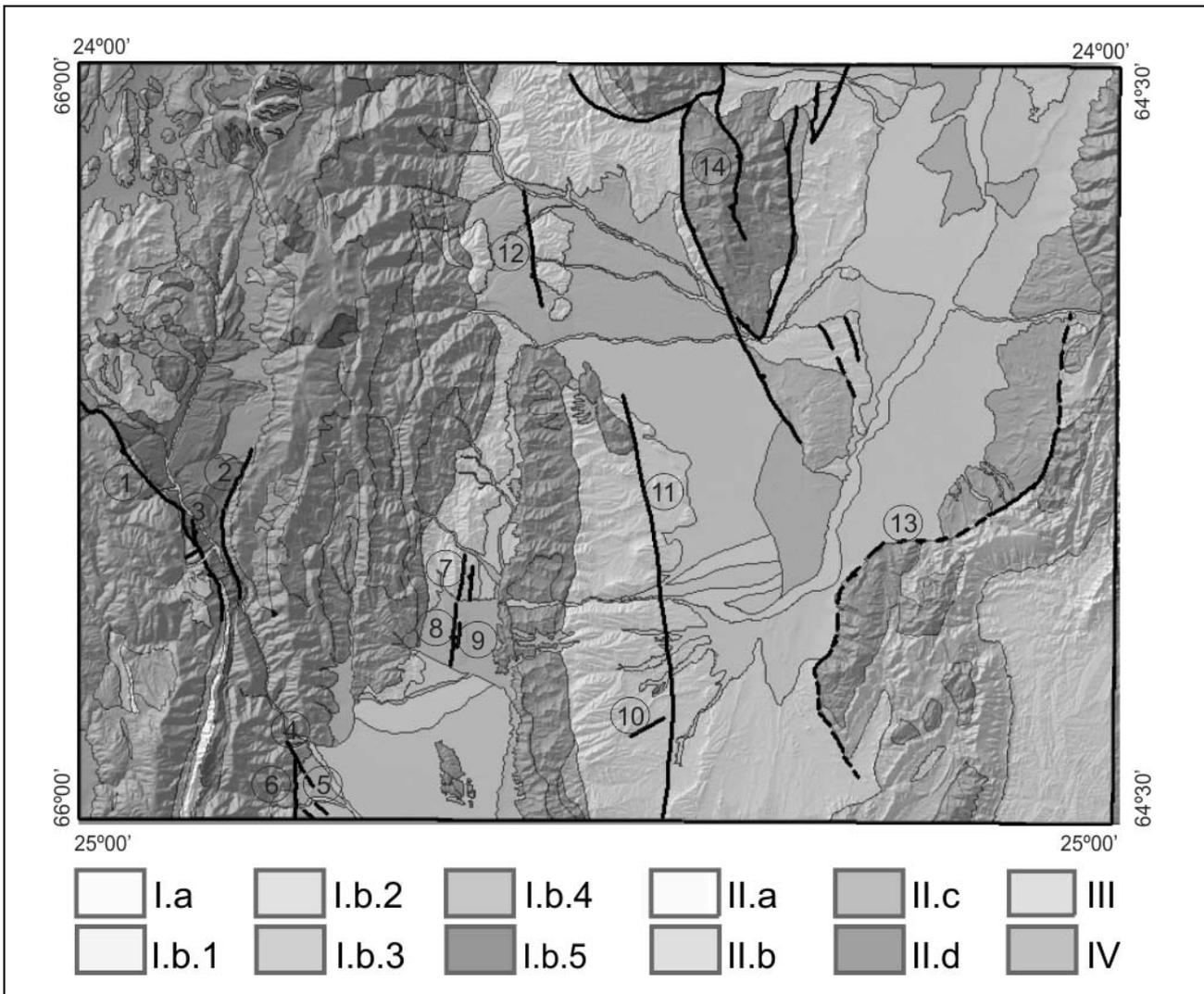


Figura 1. Mapa de unidades litológicas con la ubicación de las estructuras con evidencias de actividad cuaternaria. Los números de las trazas corresponden a la Tabla 1. Las unidades litológicas son: I.a. Suelos arenosos y arena gravosos; I.b.1. Suelos francos; I.b.2. Suelos franco arcillosos; I.b.3. Suelos franco limo gravosos; I.b.4. Suelos franco arenosos; I.b.5. Sedimentos glaciares; II.a. Macizo rocoso con matriz rocosa blanda; II.b. Macizo rocoso fracturado con matriz rocosa resistente de clase media con intercalaciones de niveles blandos; II.c. Macizo rocoso fracturado con matriz rocosa resistente de clase alta a media; II.d. Macizo rocoso blando conglomerádico; III. Macizo rocoso fracturado con matriz rocosa resistente; IV. Macizo rocoso muy fracturado y replegado con zonas brechificadas.

En la región de la Hoja Salta se registran solo tres terremotos destructivos; el más antiguo corresponde a la ciudad de Salta ocurrido el 18 de octubre de 1844 a 30 km de profundidad con intensidad máxima estimada de VII grados en la escala Mercalli modificada y tuvo una magnitud $M=6.5$ grados en la escala de Richter (INPRES; INPRES, 1994). El terremoto afectó a varias poblaciones de la provincia de Salta y a la ciudad capital, con grandes deterioros en las construcciones y algunas víctimas.

Otro sismo histórico corresponde al 25 de agosto de 1948 cuando un terremoto ocasionó daños y gran alarma en el departamento Anta en la provincia de Salta y en varias localidades del este y sureste de las provincias de Salta y Jujuy. Hubo dos muertos y una veintena de heridos; el hipocentro se estimó a 50 km de profundidad con intensidad máxima estimada de IX grados en la escala Mercalli modificada y tuvo una magnitud $M_s=7.0$ grados en la escala de Richter (INPRES; INPRES, 1994). También afectó a las ciudades capitales de ambas provincias.

Luego, el 19 de noviembre de 1973 con hipocentro a 12 km de profundidad se origina un terremoto de intensidad máxima estimada en VII grados en la escala Mercalli modificada y una magnitud $M_b=5.9$ grados en la escala de Richter (INPRES; INPRES, 1994). Produjo daños en varias localidades del este de las provincias de Salta y Jujuy, especialmente en Santa Clara.

Además hubo varios terremotos destructivos que ocurrieron fuera de la región correspondiente a la Hoja Salta que afectaron en diferentes grados a las poblaciones de la época, especialmente a las ciudades de Salta y Jujuy. El más antiguo registrado como terremoto destructivo corresponde a la localidad de Talavera del Esteco en 1692. La intensidad máxima estimada alcanzó los IX grados en la escala Mercalli modificada y tuvo una magnitud $M=7.0$ grados en la escala de Richter (INPRES; INPRES, 1994). Posteriormente en 1849 en el mismo pueblo produjo daños de consideración, y daños menores en la ciudad de Salta. El 14 de enero de 1863, al norte de la Hoja, se origina un movimiento sísmico de excepcional intensidad y duración que produjo daños

en la catedral, el cabildo y en casas de primitiva construcción de San Salvador de Jujuy. La intensidad máxima estimada alcanzó los VIII grados en la escala Mercalli modificada y tuvo una magnitud $M=6,4$ grados en la escala de Richter (INPRES).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de la sismicidad de la Hoja de Peligrosidad Geológica Salta (en preparación) se contó con los datos obtenidos en la página web del INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica), que para la zona de estudio presenta información desde 1998. El corte se realizó en agosto de 2014.

La primera evaluación se realizó con 130 sismos sucedidos en la provincia de Salta y 104 sismos en la provincia de Jujuy y que abarcan los alrededores del área de estudio, para obtener una mejor representación de los cálculos realizados.

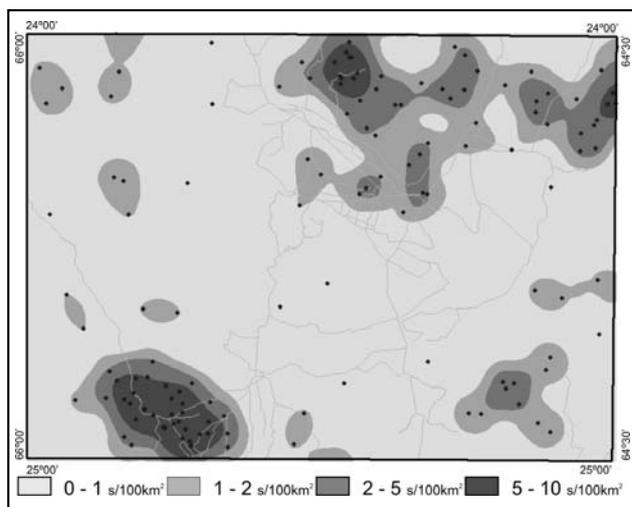


Figura 2. Zonificación de densidades de epicentros de los sismos registrados por el INPRES entre 1994 y 2014. Los puntos indican los epicentros.

Las profundidades de los epicentros se analizaron con el comando Interpolation de Spatial Analyst Tools, utilizando el método IDW (distancia inversa ponderada) (Figura 4). Se zonificaron según los rangos frecuentemente utilizados por el INPRES (entre 0 y 70 km; 70 y 450 km; 450 y 700 km). La interpolación, mediante la distancia inversa ponderada, determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de la muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa.

De esta manera, se realizó un recorte de estos análisis con el marco de la hoja y luego se clasificaron los resultados, obteniendo 4 zonas para la densidad, 3 zonas para la intensidad y las 2 zonas que corresponden con los 3 rangos de profundidades (Tabla 2).

Finalmente, se obtuvo un esquema de la sismicidad como resultado de la sumatoria de los tres esquemas anteriores (Figura 5, Tabla 3). A esta representación se le superpuso el trazado de las fallas con alguna evidencia de actividad cuaternaria, para asociarlas con los eventos registrados. Estas estructuras fueron tomadas de la base de datos de Neotectónica del SEGEMAR (Casa et al., 2014), y de trabajos como los de Cahill et al. (1992), García et al. (2011a y 2011b).

El análisis de densidad sísmica se realizó con el comando Density de Spatial Analyst de la versión 9.3 de ARCGIS, utilizando el método Kernel (Silverman, 1986), el cual calcula la densidad de las entidades de punto de alrededor de cada celda ráster de salida (Figura 2).

Para la zonificación de los valores de las intensidades de los sismos se recortó el área del mapa de distribución de intensidades máximas (MM) producidas por los terremotos históricos en las provincias de Salta y Jujuy, realizado por el INPRES (1994) (Figura 3). La sección de estudio abarca intensidades entre VI y IX (Escala de Mercalli Modificada). La cuantificación (Valor del factor de sismicidad) de cada una de estas zonas se realizó teniendo en cuenta la propuesta de Mora y Vahron (1992), al considerarlos como factor de disparo sísmico de los movimientos en masa.

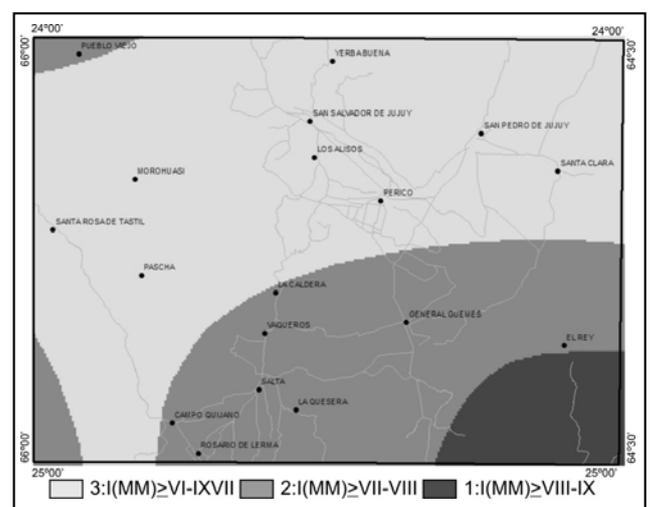


Figura 3. Distribución de las intensidades máximas producidas por terremotos históricos extraído de INPRES (1994). 1: Elevado; 2: Medio; 3: Moderado.

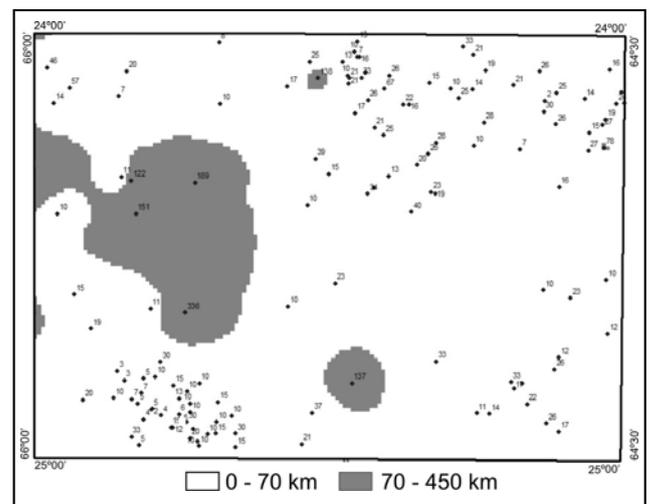


Figura 4. Zonificación de profundidades de los hipocentros. Gran parte del área presenta profundidades superficiales (<70 km).

Tabla 2. Valores utilizados en cada una de las variables consideradas para el cálculo de susceptibilidad sísmica. La valoración de la intensidad (*) fue extractada del factor de sismicidad (Mora y Vahrson, 1992), dentro de los rangos de la zona de estudio.

ZONACIÓN DE DENSIDADES		ZONACIÓN DE INTENSIDADES			ZONIFICACIÓN DE PROFUNDIDAD	
DENSIDAD (s/100km ²)	Valor	INTENSIDAD (MM)	Valor (*)		PROFUNDIDAD (km)	Valor
0 - 1	1	IX	Fuerte	7	0 - 70	3
1 - 2	2	VIII	Elevado	6	70 - 450	2
2 - 5	3	VII	Medio	5	>450	1
5 - 10	4	VI	Moderado	4	—	—

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el área de estudio, con la metodología de cartografía propuesta, coincidieron con las características estructurales y sísmicas de la región, por lo que resultó de utilidad para el posterior análisis de zonación se la considera como la susceptibilidad de la región a que ocurran movimientos sísmicos. La mayor susceptibilidad se observa en cuatro áreas de la Carta (Figura 5).

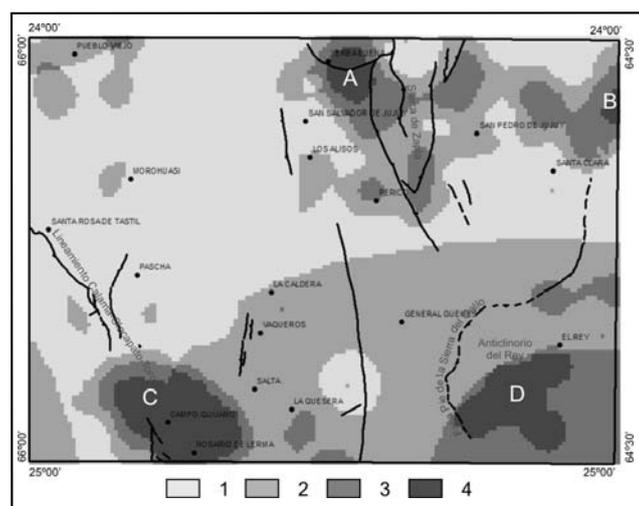


Figura 5. Zonificación de la sismicidad y las estructuras con evidencias de actividad cuaternaria.

El área A corresponde a las fallas que limitan la Sierra de Zapla donde se registraron fuerzas horizontales de dirección E-O entre los 20 y 25 km de profundidad (Cabill *et al.*, 1992). El sismo histórico de 08/12/1970 (I(MM)=II-III; 4,8) pertenece a esta área.

El área B se relacionaría a las estructuras del Sistema de Santa Bárbara y está asociada al último evento ocurrido pocos kilómetros al este del límite de la Hoja el 06/10/11 con I(MM)=VI.

El área C estaría asociada a la actividad de las Fallas Manzano, Río Blanco y el Grupo de fallas Carabajal, correspondiente al Valle de Lerma. En esta zona en 27/02/10 se sintió un fuerte sismo en la región de Campo Quijano que produjo varios daños estructurales (I(MM)=VI). Este fue consecuencia del movimiento cortical inverso de componente lateral izquierdo sobre una rampa de rumbo ONO e inclinación SO que podría estar controlada por el lineamiento de Calama-Olapato-Toro (García *et al.*, 2011).

El área D correspondería a la Falla Pie de la Sierra del Gallo (INPRES, 1994) conjuntamente al anticlinorio del Rey y las fallas asociadas. Coincide con los epicentros de los sismos históricos de 1844 y 1948 de intensidad VII y IX respectivamente.

Además de la neotectónica reconocida, fundamentalmente en los valles de Jujuy, Güemes, Lerma y San Francisco, se identificaron varios sistemas de fallamiento en las zonas montañosas; algunas en las cercanías de zonas urbanas, tales como en la región de la ciudad de Salta, San Salvador de Jujuy, Palpalá, entre otras. Esto nos permite ver que centros urbanos, como los mencionados anteriormente, se encuentran ubicados en áreas muy próximas o sobre fallas geológicas. Habría que determinar si son activas o no para una planificación territorial.

Tabla 3. Niveles de susceptibilidad a los eventos sísmicos o sismicidad considerando la localización, intensidad y profundidad de los mismos.

Descripción	Nivel de susceptibilidad
Área con por lo menos 1 sismo cada 100 km ² de profundidad intermedia e intensidad moderada ó, superficiales con intensidad media.	1
Área con 1 a 2 sismos superficiales cada 100 km ² con intensidad media ó moderada.	2
Área con 2 a 5 sismos superficiales cada 100 km ² de intensidad media y elevada.	3
Área con 5 a 10 sismos superficiales cada 100 km ² con intensidad media ó elevada.	4

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CAHILL, T., ISACKS, B. L., WHITMAN, D., CHATELAIN, J. L., PÉREZ, A., CHIU, J. M., 1992.
Sismicity and tectonics in province, northwestern Argentina.
Tectonics 11 (5): 944-959.
- CASA, A., YAMIN, M., WRIGHT, E., COSTA, C., COPPOLECCHIA, M., CEGARRA, M., HONGN, F. (EDS.), 2014.
Deformaciones Cuaternarias de la República Argentina, Sistema de Información Geográfica.
Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, v2.0 en formato DVD.
- CHAYLE, W. Y PEREZ, A. 1994.
Remoción en masa y neotectónica en el área de San Salvador de Jujuy.
7º Congreso Geológico Chileno Actas I: 609-612.
- CHAYLE, W. Y CHALABE, S., 1990.
Neotectónica del área San Salvador de Jujuy - Argentina.
11º Congreso Geológico Argentino, San Juan 2: 417-420.
- COLOMBI, A., DI FILIPPO, M., PERGALANI, F., TORO, B. Y VIRAMONTE, J. G., 2002.
Mapa de riesgo sísmico de la ciudad de Salta (Argentina) a partir de la respuesta a la amplificación sísmica local con el método "shake": Resultados finales.
15º Congreso Geológico Argentino. Artículo en CD.
- GARCÍA, V.H., 2011.
Evolución neotectónica de las lomas de Medeiros, valle de Lerma, Cordillera Oriental, Argentina.
XVIII Congreso Geológico Argentino, Actas en CD, Neuquén.
- GARCÍA, V. H., SIPAGNOTTO, S., Y HONGN, F., 2011a.
El sismo de Salta del 27 de Febrero de 2010, Magnitud, localización, mecanismo focal, réplicas y fuente sismogénica.
CD. S12: Tectónica Andina.
18º Congreso Geológico Argentino. Calafate.
- GARCÍA, V. H., YAGUPSKY, D. L., WINOCUR, D., HONGN, F., Y CRISTALLINI, E. O., 2011b.
Tectónica cuaternaria del valle de Lerma, Cordillera Oriental, Argentina. CD. S12 Tectónica Andina.
18º Congreso Geológico Argentino. Calafate.
- GARCÍA, V.H., HONGN, F., GATICA, S.N., VERA, D.R., PARADA, M.N., 2012.
Morphostructural evolution of the Medeiros hills, Lerma valley, Cordillera Oriental, Northwestern Argentina.
13º Congreso Geológico Chileno, Actas. Sociedad Geológica Chilena, Antofagasta Chile.
- GARCÍA, V. H., HONGN, F., CRISTALLINI, E. O., 2013.
Late Miocene to recent morphotectonic evolution and potential seismic hazard of the northern Lerma valley: Clues from Lomas de Medeiros. NW Argentina.
Tectonophysics 608: 1238-1253.
- GONZÁLEZ BONORINO, G., DEL VALLE ABASCAL, L., 2012a.
Orogénesis y drenaje en la región del valle de Lerma (Cordillera Oriental, Salta, Argentina) durante el Pleistoceno tardío.
Revista de Argentina 69 (1), 127-141.
- GONZÁLEZ BONORINO, G., DEL ABASCAL, L., 2012b.
Drainage and base-level adjustments during evolution of late Pleistocene piggyback basin, Eastern Cordillera, Central Andes of northwestern .
Bulletin of the Geological Society of 124 (11/12), 1858-1870. <http://dx.doi.org/10.1130/B30395.1>.
- HAIN, M.P., STRECKER, M.R., BOOKHAGEN, B., ALONSO, R.N., PINGEL, H., SCHMITT, A.K., 2011.
Neogene to Quaternary broken foreland formation and sedimentation dynamics in the Andes of NW Argentina (25°S).
Tectonics 30, TC2006. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1029/2010TC002703>.
- INPRES.
Listado de terremotos históricos,
catálogo on-line. www.inpres.gov.ar
- INPRES, 1994.
Sismicidad y riesgo sísmico en la provincia de Salta.
Informe Inédito. Figura 4.
- MARRET, R. A., ALLMENDINGER, R. W., ALONSO, R. N., Y DRAKE, R. E., 1994.
Late Cenozoic tectonic evolution of the Puna Plateau and adjacent foreland, northwestern Argentine Andes:
Journal of South American Earth Sciences, 7: 179-208.
- MON, R., 2001.
Estructuras curvadas y levantamientos verticales en la Cordillera Oriental (provincias de Salta y Tucumán).
RAGA 56(3):367-376

- MORA CASTRO, S. Y VAHRSON, W. G., 1992.
Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos.
Primer Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el estudio de Riesgos Naturales. Tema 2: Las aplicaciones de los SIG en la cartografía de amenazas naturales. Memorias:259-273, Bogotá. Colombia.
- RAMOS, V., 1999.
Los depósitos sinorogénicos terciarios de la región andina.
Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Anales 29: 651-682.
- SALFITY, J. A. Y MARQUILLAS, R. A., 1999.
La cuenca cretácico – terciaria del Norte argentino. *Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Anales 29:613-626.*
- SEGEMAR (1996)
Normativa para la Cartografía Línea Base de Peligrosidad Geológica de la escala 1:250.000.
Proyecto PASMA. 64pp, Buenos Aires.
- SILVERMAN, B. W., 1986.
Density Estimation for Statistics and Data Analysis.
New York: Chapman and Hall.



Evaluación de la susceptibilidad de riesgos geológicos debidos a procesos de remoción en masa en el área pedemontana de la quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)

Assessment of the geological hazard susceptibility due to landslide processes on the piedmont area - quebrada y dique Los Sauces (La Rioja, Argentina)

Avila, Laura Sonia del C.

Recibido: 11 de mayo de 2015 • Aceptado: 2 de junio de 2016

Resumen

En el área de piedemonte de la zona de la Quebrada y Dique Los Sauces de la ciudad Capital de La Rioja, se observana evidencias de la vulnerabilidad frente a la acción de los diferentes procesos morfodinámicos de orden natural y que carecen en la actualidad de una investigación detallada.

Sumado a esto el aumento constante de la intervención de la actividad humana, como lo demuestra la ejecución de las obras de carreteras y asentamientos humanos, aumentan la vulnerabilidad, fomentando posibles áreas de riesgo que pueden generar desastres naturales que afectan a la vida y la propiedad.

Tal es el caso de los movimientos de los deslizamientos de tierra en seco y tipo húmedo, como la caída de escombros que perjudican las zonas urbanas, colapsos del suelo que producen daños a la infraestructura debido a la ejecución de obras viales, como edificaciones.

Esto ha motivado la realización de este trabajo, que pone especial énfasis en el reconocimiento y la definición de las clases o tipos litológicos, condiciones y características de la geodinámica de superficie y estudiar aspectos morfo dinámicos generadores de las situaciones de inestabilidad actual y/o potencial.

Palabras clave: procesos morfodinámicos, deslizamientos, áreas de riesgo.

Abstract

In the piedmont area of the Quebrada and Dique Los Sauces in the capital city of La Rioja, evidence of vulnerability are

observed against the action of the different morpho dynamic processes of natural order and lacking today a detailed investigation.

Added to this the constant increase in the intervention of human activity, as evidenced by the execution of road works and human settlements, increase vulnerability, encouraging potential risk areas that can generate natural disasters affecting life and property.

Such is the case of movements of dry landslides and wet type slow, as falling debris that hurt urban areas, soil collapses causing damage to infrastructure, as well the execution of road works and built areas.

This has led to the completion of this work, which places special emphasis on the recognition and definition of classes or lithological types, conditions and characteristics of the surface geodynamics and study dynamic aspects generators of situations actual instability or potential instability.

Keywords: *morphodynamic processes, landslide risk areas.*

INTRODUCCIÓN

El Dique Los Sauces, se encuentra en un valle tectónico, que alberga una comunidad estable, integrando el denominado barrio la Quebrada y los habitantes temporales que tienen allí sus casas de veraneo. Constituye además parte del corredor turístico del valle de Sanagasta y la Costa Riojana; por lo que soporta un intenso tránsito vehicular e importante cantidad de construcciones habitacionales. Esta participación antrópica implica en sí misma una modificación en los equilibrios naturales entre la topografía, clima, relieve y geomorfología del lugar, generando en esta zona áreas de alto riesgo de derrumbes y deslizamientos, los que se ven agravados por eventuales incendios forestales, lluvias extraordinarias y sismicidad regional.

Inicialmente, se realizó la búsqueda de antecedentes y al comprobar la no existencia de estudios referidos a la evolución geomorfológica y de impacto generado por el hombre en esta área, para la previsión de riesgos, se consideró importante la obtención de datos cartográficos y estadísticos que permitan la detección, definición y valoración de las áreas sujetas a riesgo

geológico y antrópico, sean actuales como potenciales, para la confección de cartas de vulnerabilidad y riesgo, necesarias para la planificación y toma de decisiones de los organismos de gestión pública, relacionados al uso adecuado del territorio.

UBICACIÓN

La zona de estudio se sitúa entre las coordenadas 29°24'S 66°56'O límite SO- 29°22'S 67°0'O límite NO y 29°22'S 66°59'O límite NE 29°24'S - 66°55'O límite SE, en la ciudad capital de la provincia de La Rioja, situada en el noroeste del país, limita al noroeste con la república de Chile, al oeste con la provincia de San Juan, al sur con la provincia de San Luis, al este con la provincia de Córdoba y al norte con la provincia de Catamarca.

Se accede desde el centro de la ciudad por Avenida Ramírez de Velasco o Avenida San Francisco, o por la zona sur desde la RN 38 se accede a ruta Circunvalación hacia Las Padercitas por Avenida Félix de la Colina y desde allí dirigiéndose por RN 75 hasta el Dique de Los Sauces, situado a 15 Km de la ciudad de La Rioja (Figura 1).

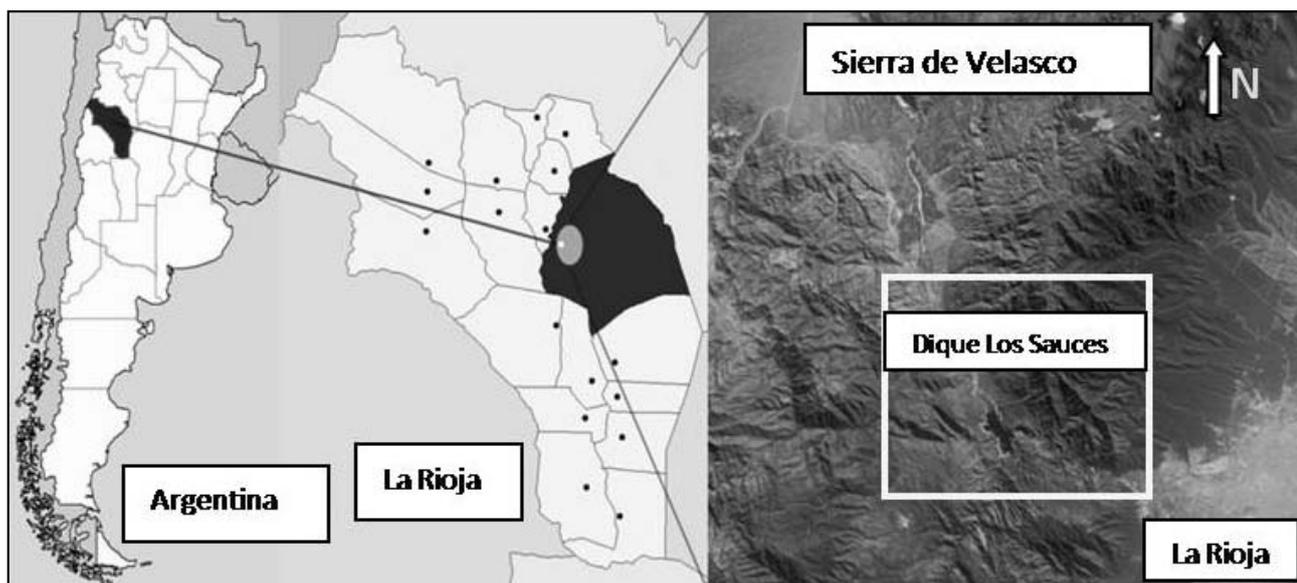


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

MARCO CONCEPTUAL

El análisis de los deslizamientos y áreas de vulnerabilidad de riesgo por eventos de remoción en masa se concentran a lo largo del área de estudio, presentándose diferentes geofor-mas que nos permiten concluir que esta área es altamente vulnerable a los eventos de riesgos debidos a causas naturales y antrópicas.

Los movimientos de las laderas se ven afectados esencialmente por el tipo de litología, estado de meteorización y erosión de la roca, presencia de escorrentía y lluvias estacionales, como así también la acción del hombre en obras civiles y urbanísticas. Los procesos observados en el área de estudio, según los agentes generadores son los siguientes:

Procesos de remoción en masa: constituyen los procesos geológicos activos más abundantes de la quebrada del río Los Sauces y tienen lugar en las laderas de pendientes abruptas. Para su descripción se utilizaron los trabajos de *Varnes (1978)* y de *Corominas y García Yagüe (1997)*.

Deslizamientos: Son muy abundantes en las laderas con altas pendientes, se reconocieron: deslizamientos de suelo, deslizamiento de detritos, derrumbes y avalanchas de detritos.

Derrumbes: este término engloba todos los colapsos bruscos, rápidos, asociados a la gravedad, originados por fracturación del material independientemente de la alteración sufrida por la roca.

Desprendimientos: es la caída de fragmentos de un talud. Puede tratarse de: caída libre, rodadura, vuelco.

Se establece un *marco conceptual de zonificación de susceptibilidad y riesgo* según *Morgenstern, (1997)*. Para contextualizar el análisis de susceptibilidad realizado teniendo en consideración la orientación de las laderas y pendientes, aplicada específicamente a aquellas definidas como de alta a muy alta susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa. La ocurrencia de los deslizamientos es el producto de las condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas y la modificación de éstas por procesos geodinámicos, vegetación, uso de la tierra y actividades humanas, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la sismicidad.

Según *Sarkar y Kanungo (2004)*, la susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.

Los movimientos de ladera constituyen un *riesgo geológico* (*Ayala, et al., 1990*) de origen natural o bien inducido por el hombre. Una de las estrategias para reducir los efectos causados por los movimientos de ladera es la caracterización de una cartografía donde se representa la *susceptibilidad* hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del terreno y que sean de utilidad para la planificación del territorio.

METODOLOGÍA

La secuencia metodológica para la obtención de los resultados es la siguiente: en primer lugar se realizó una investigación previa que consistió en el relevamiento de los antecedentes de la información geológica, geomorfológica y de estudios de susceptibilidad de riesgos geológicos de la zona, como así también, de los eventos de riesgo históricos de los últimos 22 años registrados en el área de la Quebrada y Dique Los Sauces.

Luego se procedió a llevar a cabo el trabajo de campaña con el reconocimiento y relevamiento del área de la quebrada

del río Los Sauces y zonas aledañas al Dique Los Sauces, hasta la Formación Pollera de La Gitana al norte del dique. La actividad de campo se llevó a cabo entre Noviembre 2.013 a Enero 2.014, se realizó el control de campo pertinente de la cartografía confeccionada, la identificación, ubicación y posicionamiento geográfico de los principales sectores en donde ocurren los procesos de riesgos geológicos diferenciándolos entre eventos potenciales y activos, utilizando para ello el sistema Global Positional System (GPS). Se formalizó la geolocalización de las distintas unidades litológicas presentes en el área, cotejando la *Hoja Geológica 2966-III (1999)* inédita, para complementar esa información como una contribución de la presente tesis, al describir las formaciones no registradas, ya que la Hoja Geológica aún se encuentra en construcción por el SEGEMAR, y solo se contó con un borrador digital.

Por último, para el procesamiento e interpretación de la información, se trabajó sobre los datos obtenidos y se volcaron los puntos de control sobre una base georeferenciada, utilizando el software ENVI (versión 4.2) que permite georreferenciar las imágenes, escala 1 a 1.

Para el manejo de datos y la generación de la cartografía necesaria para el desarrollo del presente trabajo se utilizó el software ArcGIS, cuyo marco conceptual descripto por *Puerta Tuesta, Rengifo Trigozo y Bravo Morales (2011)*, lo describe como un conjunto de productos de software, aplicable al campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). EL ArcGIS es producido y comercializado por ESRI (Environmental Systems Research Institute) con el nombre genérico ArcGIS, agrupa varias aplicaciones para creación y edición de datos, la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Posee una interfaz gráfica de usuario, que posibilita cargar con facilidad datos espaciales y tabulares para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos, también provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de presentación. Este sistema incorpora los avances tecnológicos experimentados en la última década en el área de la informática y telecomunicaciones para capturar, editar, analizar, diseñar, publicar en la web e imprimir información geográfica.

A los fines de generar los mapas de susceptibilidad de riesgos geológicos del área en estudio, se hace necesario determinar el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), que será la base para obtener los mapas de pendiente y orientación de laderas, sobre los que se realiza el análisis susceptibilidad de riesgo geológico por procesos de remoción en masa.

GEOLOGÍA Y ESTRUCTURA

Los trabajos geológicos del área en estudio, fueron realizados por *Cravero O. y González Díaz, E.F. (1999)*, "la sierra de Velasco está principalmente constituida por bloques de basamento ígneo-metamórfico de edad precámbrica a paleozoica. En la vertiente oriental se reconoce a la Formación La Cébila (*González Bonorino 1951*) formada por micacitas, cuarcitas y esquistos micáceos del Ordovícico Inferior (*Verdecchia et al. 2007*); la Formación Antinaco (*Turner 1971*) que comprende a gneises, migmatitas, granitos migmatíticos y esquistos inyectados, atribuida al Ordovícico Superior- Devónico Inferior y la Formación Paimán (*Turner 1971*). Esta última agrupa granitos, granodioritas y tonalitas, junto con aplitas y pegmatitas y abarca varios pulsos intrusivos que van desde el Ordovícico al Carbonífero. Pequeños afloramientos de sedimentitas neopaleozoicas se observan en la periferia de los bloques serranos".

Según el estudio de *Pieroni et al. (2007)*, “los afloramientos Neopaleozoicos localizados en los alrededores del dique Los Sauces, provincia de La Rioja, constituyen un importante depósito sedimentario ubicado en el margen norte de la cuenca Paganzo. La columna geológica es grano y estrato decreciente, con características distintivas litológicas y paleontológicas que permiten dividir los depósitos, de edad Carbonífera-Pérmica, en tres unidades: Formación Lagares (*Azcuy y Morelli, 1970; Azcuy et al., 1979*); Formación Libertad y Formación Sauces (*Amos y Zardini, 1962*).

En base a los estudios realizados por *Sanchez M.A.; Spagnotto S. y Martínez M. (2013)*, “el área de estudio se ubica en la sierra de Velasco pertenece al sistema de las Sierras Pampeanas Noroccidentales (*Caminos, 1979*). El arco magmático de las Sierras Pampeanas Occidentales, así denominado por *Ramos (1988, 1999)*, se diferenciaría del correspondiente a las Sierras Pampeanas Orientales por su edad más joven, cámbrica superior hasta ordovícica media inclusive (515 y 460 Ma.), y se encuentra asociado con el proceso de la subducción activo en el área.

Este sistema de sierras forma un esquema estructural de levantamiento tectónico conjuntamente con la sierra de Famatina y está delimitado por fallas, tiene una disposición alargada en sentido predominantemente N - S, y deben su origen a la orogenia andina. La sierra de Velasco tiene en su margen oriental una prominente actividad neotectónica evidenciada a lo largo del piedemonte oriental, por escarpas de falla que afectan a los depósitos cuaternarios y otros rasgos geomórficos asociados a la falla de La Rioja (*Costa, 2008*). Esta falla inversa coincide con la región epicentral del terremoto del 28 de mayo de 2002, con epicentro a 8 km de profundidad.

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Tanto los procesos de movimiento en masa como los de erosión, meteorización y desborde de los arroyos y ríos, constituyen fenómenos naturales en la evolución del relieve, generando así cambios ambientales. El éxito de la capacidad predictiva de algunos modelos y las potenciales aplicaciones en los campos de planificación urbana, entre otros, da inicio en las últimas décadas a la geomorfología aplicada. Esta aplicación se centra básicamente en la interacción entre acciones humanas y las formas de la tierra, en particular enfocándose en el manejo de riesgo causados por cambios en la superficie de la tierra (naturales o inducidos) conocidos como riesgo geológico.

Procesos de remoción en masa

Constituyen los procesos geológicos activos más abundantes de la quebrada del río Los Sauces y tienen lugar en las laderas de pendientes abruptas. Para su descripción se utilizaron los trabajos de *Varnes (1978)* y de *Corominas y García Yagüe (1997)*.

Deslizamientos: Son muy abundantes en las laderas con altas pendientes, se reconocieron: deslizamientos de suelo, deslizamiento de detritos, derrumbes y avalanchas de detritos. Estos procesos comienzan como movimientos pendiente abajo, por auxilio de la gravedad, que se desplazan por superficies de deslizamientos dadas por la interfase suelo- roca meteorizada o por superficies de foliación o diaclasamiento en las rocas fracturadas del basamento metamórfico.

Los deslizamientos de tierra y de detritos constituyen movimientos traslacionales, de características poco profundas y que tienen esencialmente un plano de deslizamiento recto. Los deslizamientos traslacionales son comunes donde la roca firme se asienta sobre otra más friable, como un suelo arcilloso, en nuestra área de estudio se observan al noroeste de dique Los Sauces, donde formaciones carboníferas y pérmicas son afectadas por las condiciones de precipitaciones en época estival y actualmente acelerada por la acción antrópica evidenciada por el movimiento continuo de suelos en el área.

Los deslizamientos de detritos bajo condiciones “secas” y del tipo traslacional son comunes en ambas laderas de la sierra de Velasco que limita la quebrada de Los Sauces (Figura 2).

La distinción entre los deslizamientos de detritos y las avalanchas de detritos se basa en el grado de deformación del material y del contenido de agua de la masa deslizada. Tanto el grado de deformación como el contenido de agua, frecuentemente aumentan pendiente abajo, por lo tanto las avalanchas de detritos observadas en la zona se habrían originado durante las intensas precipitaciones acaecidas a fines del año 2013, a partir de deslizamientos que tuvieron lugar en los sectores más elevados de las laderas.

Derrumbes: este término engloba todos los colapsos bruscos, rápidos, asociados a la gravedad, originados por fracturación del material independientemente de la alteración sufrida por la roca. Los movimientos de este tipo se encuentran relacionados con taludes de alta pendiente, cuyas cabeceras de cuenca y áreas de corte son afectadas por agua de escorrentía, dejando paredes muy verticales que terminan por colapsar violentamente (Figura 3).

Desprendimientos: es la caída de fragmentos de un talud. Puede tratarse de: caída libre, rodadura, vuelco. Los desprendimientos o caída de rocas tienen lugar en paredones subverticales, conformados por materiales esquistosos muy fracturados que, durante las lluvias, se ven sometidos a un aumento de presión en sus grietas facilitando el desprendimiento y caída de rocas. En la zona de estudio los sectores afectados por desprendimientos o caídas de rocas se circunscriben a las zonas de basamento cristalino de tipo esquistoso que se desarrollan en áreas de la antigua ruta de cuesta, en el margen este del embalse del Dique Los Sauces y en algunos sectores donde la pendiente de las laderas de la sierra de Velasco, son inferiores a 45°, la propagación de los desprendimientos son por rodadura y eventualmente por deslizamientos. En el área de la quebrada de Los Sauces el desprendimiento de rocas es muy común en la ladera este de la sierra de Velasco (Figura 3).

Factores de control

Según *Ferrer Gijón (1995)*, los factores que controlan los procesos, sobre todo los movimientos de ladera, pueden quedar agrupados en factores desencadenantes y factores condicionantes. Los primeros están unidos a la propia naturaleza, composición, estructura y forma de terreno, mientras que los desencadenantes pueden ser considerados como “externos”, ya que al actuar sobre el terreno provocan o desencadenan los procesos al modificar las condiciones de equilibrio pre-existentes.

Factores desencadenantes

En la quebrada del río Los Sauces, las precipitaciones, la erosión por escorrentía y la acción antrópica constituyen los factores desencadenantes de los procesos observados.



Figura 2. Deslizamientos gravitacionales y traslacionales en "seco".

El efecto que provoca sobre los materiales es el incremento de las presiones intersticiales y el flujo de agua a través del terreno. Esto genera una disminución en la resistencia al corte de los materiales, además de elevar su peso e influir en sus propiedades resistentes. En la quebrada de Los Sauces, la

mayor parte de las lluvias tiene lugar durante el período estival, lo que genera la saturación estacional de los materiales porosos, provocando erosión por escorrentía y favoreciendo los procesos de remoción en masa que se observan en el área de estudio (Figura 4).



Figura 3. Desprendimientos y derrumbes de taludes altamente fracturados.



Figura 4. Procesos de remoción en masa debidos a erosión por escorrentía.

Según registros históricos sobre eventos de desastres ocasionados por las precipitaciones y la remoción en masa en la zona, el 21 de febrero de 1992 cayeron 65 mm (media anual 187 mm), el 18 de diciembre de 1994 se derrumbó un cerro en el km 10 de la ruta nacional 75 que comunica la ciudad capital de La Rioja con la localidad de Sanagasta producto de las copiosas lluvias producidas después de un incendio en la zona, mientras que el 15 de marzo de 1.997 se produjo la tormenta donde cayeron 96 mm en 50 minutos produciendo crecida del río Los Sauces, esto anegó las áreas que circunda destruyendo la ruta nacional 75 y remociones en masa que arrasaron las viviendas del sector de la quebrada de Los Sauces, a finales del mes de diciembre 2013 y comienzos del año 2014 se produjeron copiosas lluvias que produjeron la ocurrencia de numerosos movimientos de ladera que mantuvieron cortada la ruta nacional 75 por varios días.

El factor antrópico juega un papel importante en los cambios que introduce al relieve, debido a la falta de estudios previos de la zona en la que se realizan movimientos de suelos para la ejecución de obras urbanísticas, como rutas o emprendimientos edilicios (Figura 5).

De esta manera se han identificado acciones, que, operando de manera conjunta con las precipitaciones, generaron procesos de remoción en masa. Por un lado, la desestabilización de las laderas que se produce por los cambios en la geometría y pendiente de las laderas, como consecuencia de la necesidad de construir una nueva ruta de circulación alrededor del Dique Los Sauces y construcción de emprendimientos edilicios y futura urbanización del área, llevada a cabo por el estado provincial, razón por la cual se han expropiado tierras desde el año 2012 hasta la fecha. Por el otro, la propagación de incendios

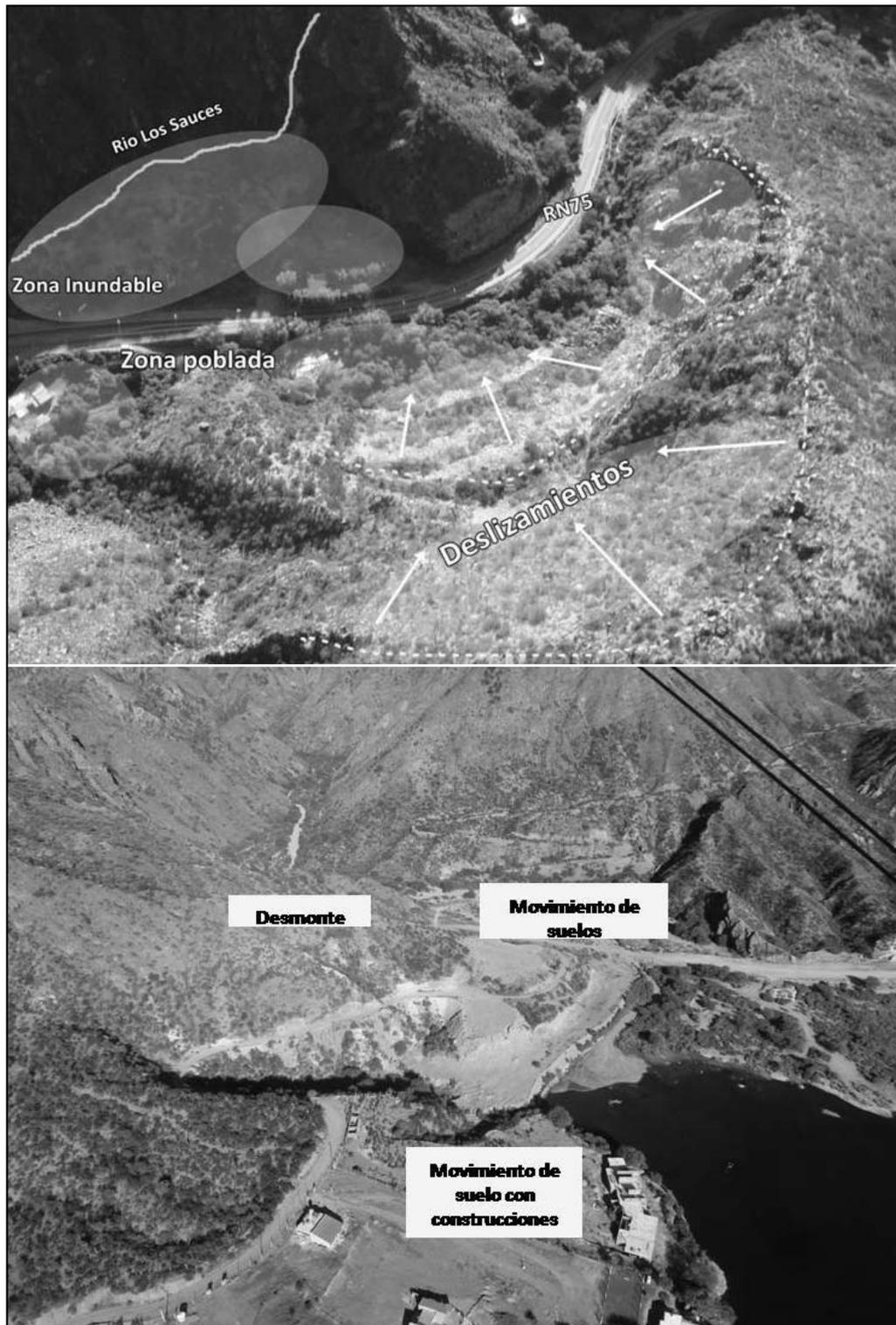


Figura 5. Deslizamientos gravitacionales en seco y zonas inundables que afectan áreas pobladas en la quebrada del río Los Sauces; y áreas de desmonte, movimientos de suelos por acción antrópica en los alrededores del Dique Los Sauces.

forestales intencionales en la zona del Cerro de La Cruz, provocó la pérdida más de 15.000 hectáreas el 25 de Noviembre de 2013. La pérdida de cobertura vegetal y por ende protección como consecuencia de este evento, se tradujo en la aparición de numerosos deslizamientos traslacionales durante las tormentas de verano durante el mes de Diciembre de 2013 y Enero 2014.

Factores condicionantes

Litología: La litología cumple un papel muy importante en el control del tipo de movimiento generado. De esta forma, se observó que los deslizamientos de detritos y derrumbe en "seco" sólo se registraron en materiales esquistosos y material sedimentario deleznable.

En el caso de los deslizamientos de detritos y de suelo, ocurrieron en casi todas las litologías, lo que sugiere que el control de los mismos está dado por la interface roca fresca-material meteorizado y por el grado de pendiente.

La combinación del factor litológico y el grado de meteorización es de singular importancia en las áreas que afectan al basamento metamórfico (Figura 6).

Pendientes: La pendiente cumple un rol preponderante en el control de los procesos de remoción en masa, toda vez que se trata de movimientos gravitacionales por excelencia. En el sector de estudio predominan las pendientes altas, propias del relieve montañoso.

Casi la totalidad de los movimientos identificados se produjeron en pendientes superiores a 15°, mientras que los eventos de mayor magnitud acontecieron a partir de los 30°. Se debe tener en cuenta que las pendientes antes mencionadas son generales para todo el sector, por lo que en algunos procesos tiende a ser más importante la pendiente del talud que la pendiente general del terreno; es el caso de los procesos de deslizamientos de detritos bajo condiciones “secas” y de caída de rocas (Figura 6).

RESULTADOS

Del estudio realizado y considerando que los procesos de remoción en masa más relevantes por la amenaza que representan, no solo a las infraestructuras y a las áreas pobladas, se

concentran en la Quebrada y Dique Los Sauces, se evaluaron los niveles de susceptibilidad y riesgo geológico, considerándose en este análisis a los factores desencadenantes y condicionantes que fueron identificados en el área en estudio. Confeccionándose una cartografía temática con base geológico-geomorfológico de susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa.

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y RIESGO

Según *Suarez Díaz (1988)* La inestabilidad de las laderas depende de la acción conjunta de varios factores diferentes. Estos factores se pueden agrupar en factores desencadenantes o activadores, que controlan la actividad en el tiempo, y factores determinantes o condicionantes, que la controlan en el espacio.

Entre los factores determinantes se destacan aquellos que condicionan la estabilidad sin que ésta se inicie (equilibrio límite) y dependen de la naturaleza de los materiales (litología, textura, discontinuidades, etc.), o de la morfología del terreno (pendiente, orientación, altitud, curvatura, etc.), que le da una *significación de la inestabilidad en el espacio*. Por ello, el objetivo del siguiente ítem es la evaluación de la susceptibilidad *en el espacio*, no en el tiempo, por tanto se consideran sólo los factores de pendiente y de orientación de laderas.

Pendiente: se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie y la vertical. Es decir, se mide calculando la tangente a la superficie. Su valor puede condicionar la estabilidad de una ladera, puesto que de ella dependen las

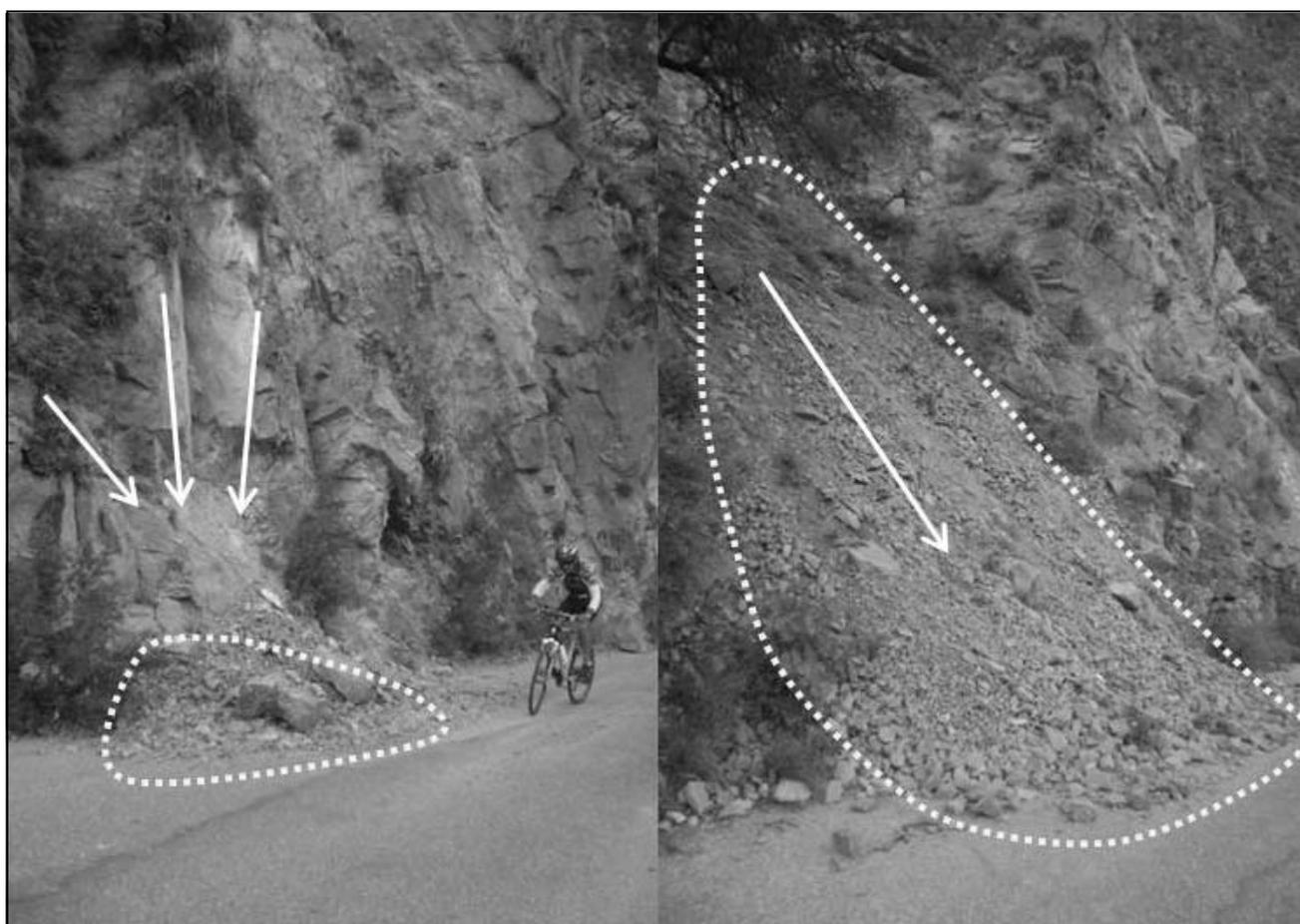


Figura 6. Zonas de deslizamiento gravitacional de material rocoso en áreas fracturadas y meteorizadas en pendientes de alto ángulo.

componentes de las fuerzas favorables al movimiento y de las fuerzas resistentes al mismo, que determinan su equilibrio. Así, al aumentar la pendiente aumenta también la componente tangencial de la gravedad y por tanto a mayores pendientes, será necesaria una mayor cohesión de la ladera para mantener su estado de equilibrio.

En el software ArcGIS se calcula con la herramienta Slope Spatial Analyst Tools, el valor de la pendiente a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM). Atendiendo a la clasificación de *Fernández (2.001)* que ha aplicado el método de pendientes en zonas montañosas con fuertes desniveles, similar al área de trabajo, los rangos obtenidos son:

- 0-5° (pendiente suave),
- 5-15° (pendiente moderada),
- 15-25° (pendiente fuerte),
- 25-35° (pendiente muy fuerte),
- 35-90° (pendiente vertical o subvertical)

Con estas clases se elaboró el plano de pendientes según zonas de susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa (Figura 7).

Además se realizó una distribución de frecuencias para determinar las clases más significativas. El gráfico muestra la distribución areal expresada en porcentaje por cada intervalo de pendiente considerado (Figura 8).

Orientación: El factor de orientación puede influir en el inicio de un movimiento de ladera, puesto que está afectado por la humedad retenida y la cobertura vegetal, y a su vez está condicionada por la consolidación de los suelos. Se establecieron los rangos de orientación de laderas de acuerdo a *Fernández (op. cit.)*, se ha clasificado en 5 clases que son las que siguen:

- 0° Superficie Plana
- 1°- 45° Norte
- 45°-135° Este
- 135°-225° Sur
- 225°-315° Oeste
- 315°-359° Norte

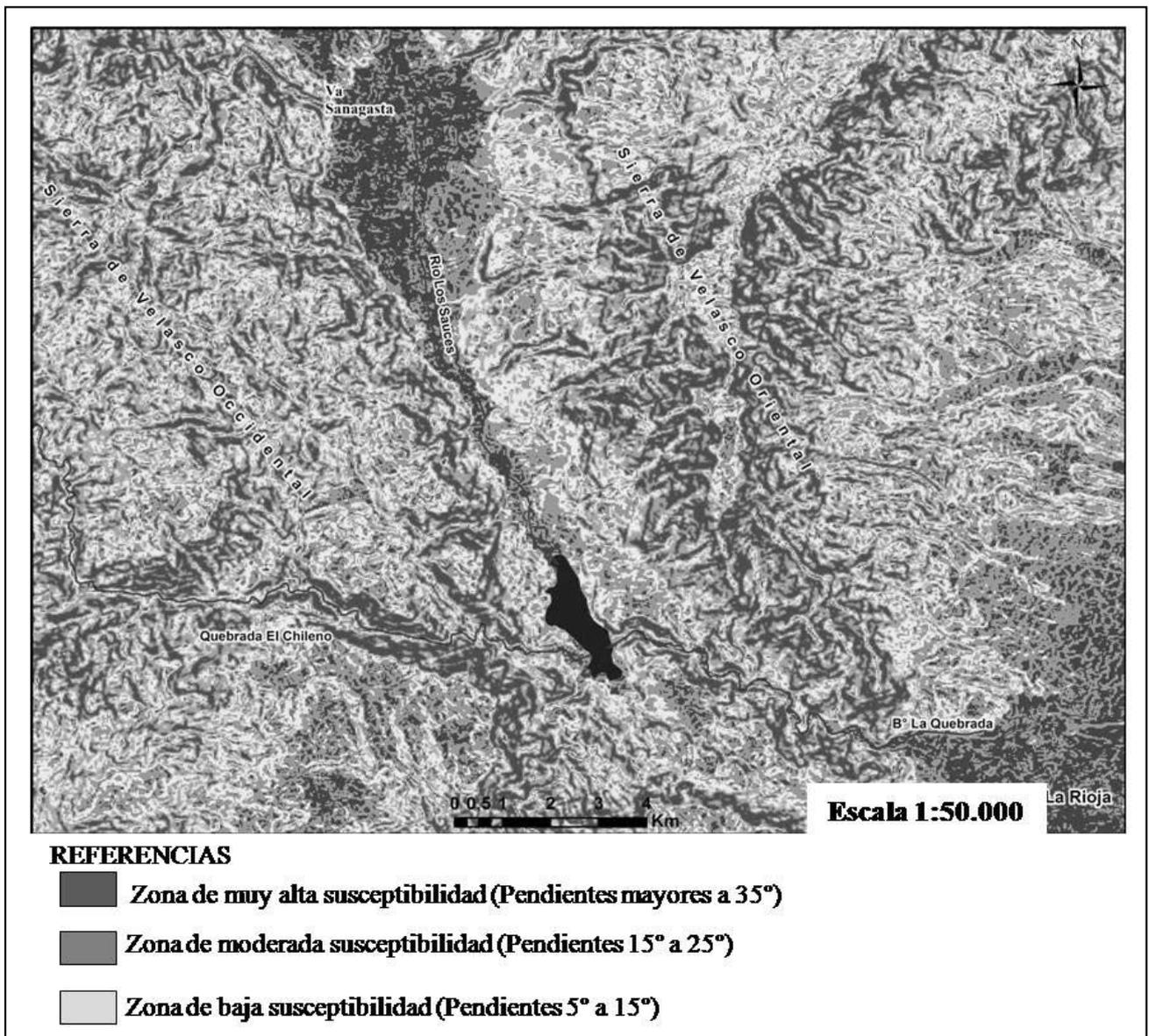


Figura 7. Plano de pendientes según susceptibilidad de riesgo de remoción en masa.

Se establecen los rangos amplios con la finalidad de asegurar la claridad del mapa de orientación de laderas, evitando una densidad alta en los colores que surgen del software. Con estos rangos se elaboró el mapa de orientación de laderas en la zona y se distribuyó la frecuencia para determinar los rangos de orientación más significativos, restringido a las zonas de Alta a Muy Alta susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa (Figura 9).

El siguiente gráfico muestra la distribución areal, expresada en porcentaje por cada intervalo de orientación que se han considerado. Se observa la representatividad de la orientación plana- que se refiere al dique-, destaca la predominancia de la exposición de las laderas hacia el noroeste, presentando una alta asimetría al respecto, siendo la orientación media de N172°E. Le siguen en porcentaje las laderas de orientación sudoeste, en menor proporción las de orientación noroeste, y muy baja representación las laderas con orientación sudeste, lo cual queda demostrado también en el mapa de orientación de laderas según zonas de Alta a Muy Alta susceptibilidad de riesgo geológico de tipo remoción en masa (Figura 10).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a que los eventos que se producen en el área de la Quebrada y Dique Los Sauces, están relacionados con la inestabilidad de laderas y favorecen los procesos de remoción en masa generando zonas susceptibles de riesgo geológico.

Donde los procesos más comúnmente observados son los deslizamientos gravitacionales en seco, entre los cuales, los de mayor magnitud son las avalanchas de detritos en áreas de máxima pendiente de ladera, con ángulos mayores a 30°. Aproximadamente el 70% del terreno exhibe una pendiente superior a 15°. El 40 % de la zona presenta pendientes fuertes y el 30 % tiene una pendiente muy fuerte, donde, las zonas de pendiente muy fuerte se emplazan en el área de La Quebrada por donde discurre el río Los Sauces y la orientación de las laderas en las zonas de Alta a Muy Alta susceptibilidad de riesgo

geológico de tipo remoción en masa es predominantemente NE-SE, coincidente con la cara expuesta a la humedad.

Las precipitaciones, la erosión por escorrentía y la acción antrópica, constituyen los factores desencadenantes de los procesos de remoción en masa observados. La mayor concentración de las lluvias tienen lugar durante el periodo estival, lo que genera la saturación estacional de los materiales porosos, esto favorece la erosión y los deslizamientos. La intervención antrópica, juega un papel importante en los cambios que introduce al relieve, acelerando los procesos morfodinámicos y erosivos.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto se recomienda: analizar, definir y describir acabadamente los efectos potenciales y/o pérdidas que pueden presentarse en el contexto social y material para contribuir a optimizar los planes de desarrollo y los programas de inversión de manera que se puedan definir medidas que eviten o atenúen las consecuencias de los futuros desastres, bien sea mediante la intervención en la ocurrencia del evento, en el caso de que esto sea posible, o modificando las condiciones que propician que los efectos del mismo se presenten.

Además los procesos debidos a la acción antrópica se han potenciado paulatina y sistemáticamente en el área oeste del embalse del Dique Los Sauces, en donde la expropiación de tierras, por parte del Estado provincial desde el año 2010, para la generación de áreas de interés turístico e implementación de proyectos hoteleros e inmobiliarios, han ocasionado el desmonte indiscriminado, movimientos continuos de tierra para relleno de sectores del lago, que no solo afectó al relieve de la zona sino que también ha ocasionado pérdidas irreparables de sitios arqueológicos y paleontológicos de importancia. Para mitigar el impacto de las acciones anteriormente descritas, se recomienda realizar estudios previos de evaluación de aspectos relacionados al relieve y puesta en valor de áreas de importancia paleontológica, histórica y cultural, para ejecutar las obras con sentido preservacionista del aspecto cultural, bien intangible e irrecuperable.

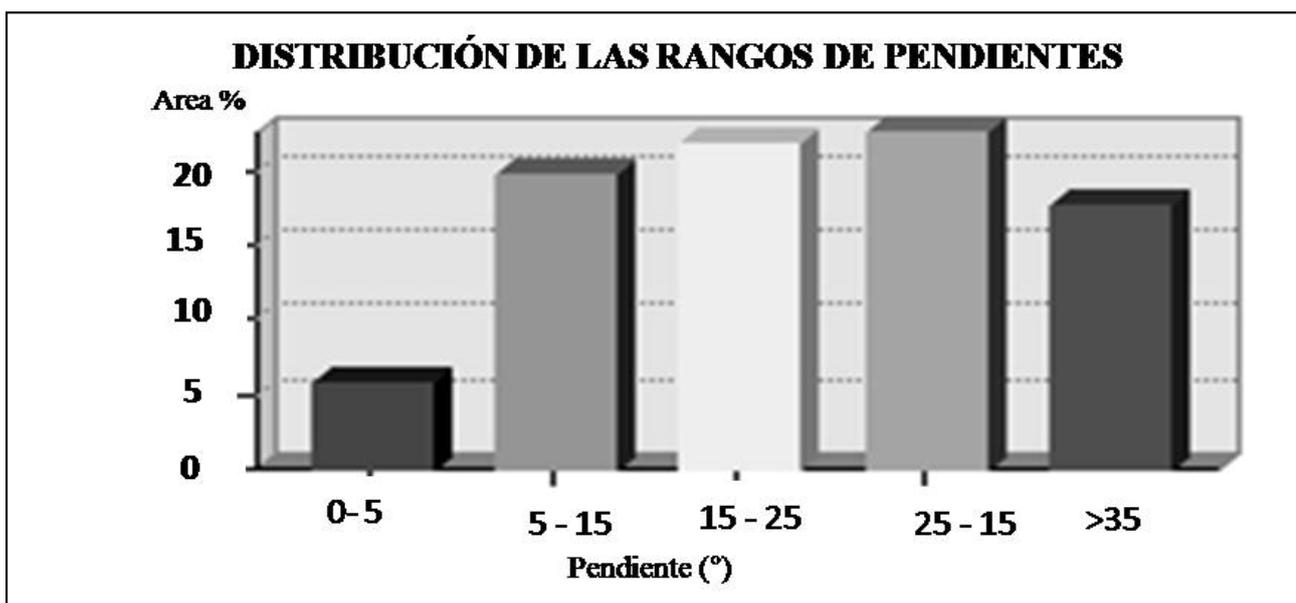


Figura 8. Distribución de las rangos de pendientes (elaboración propia).

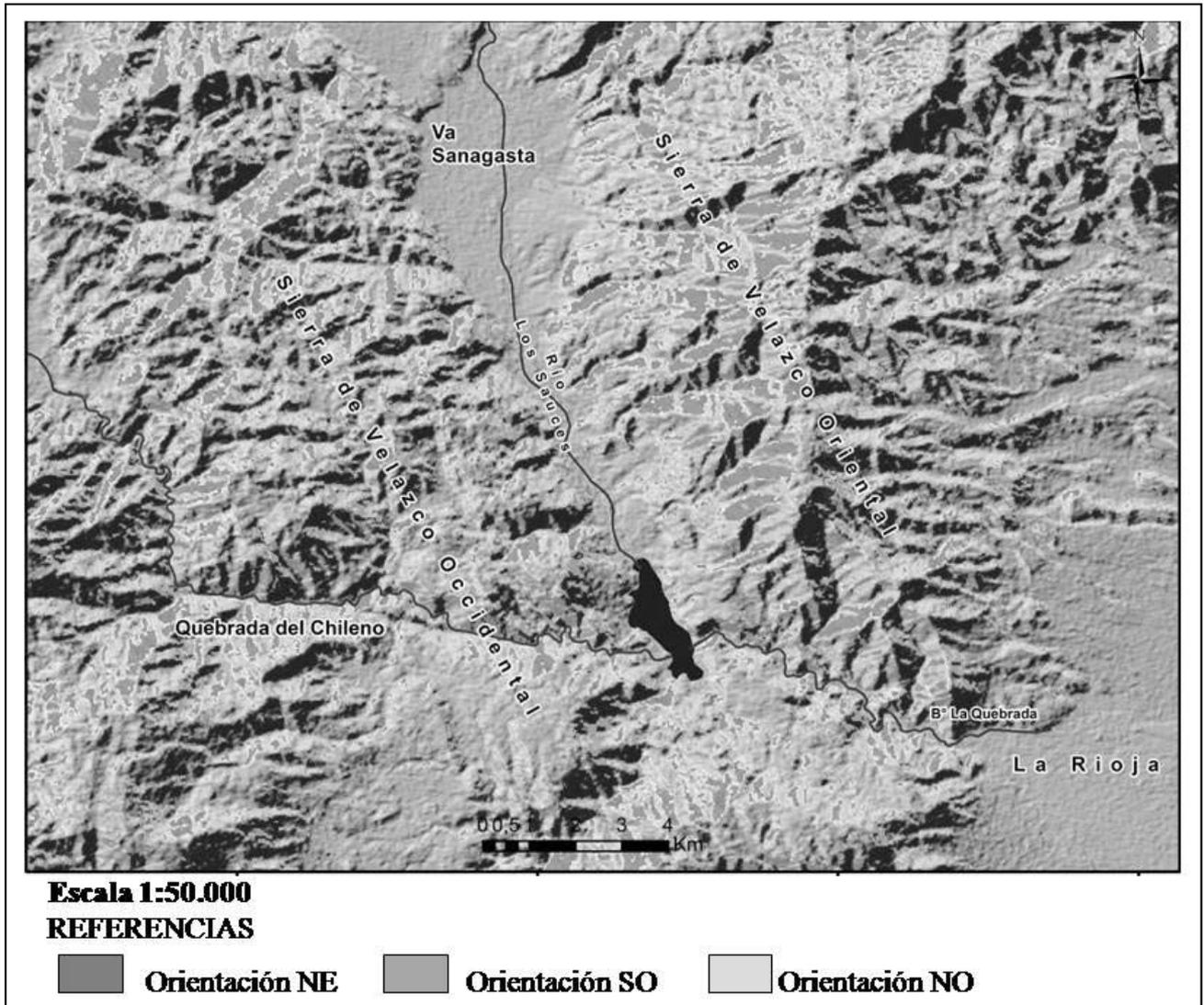


Figura 9. Plano de orientación de laderas según zonas de Alta a Muy Alta susceptibilidad de riesgo de remoción en masa.

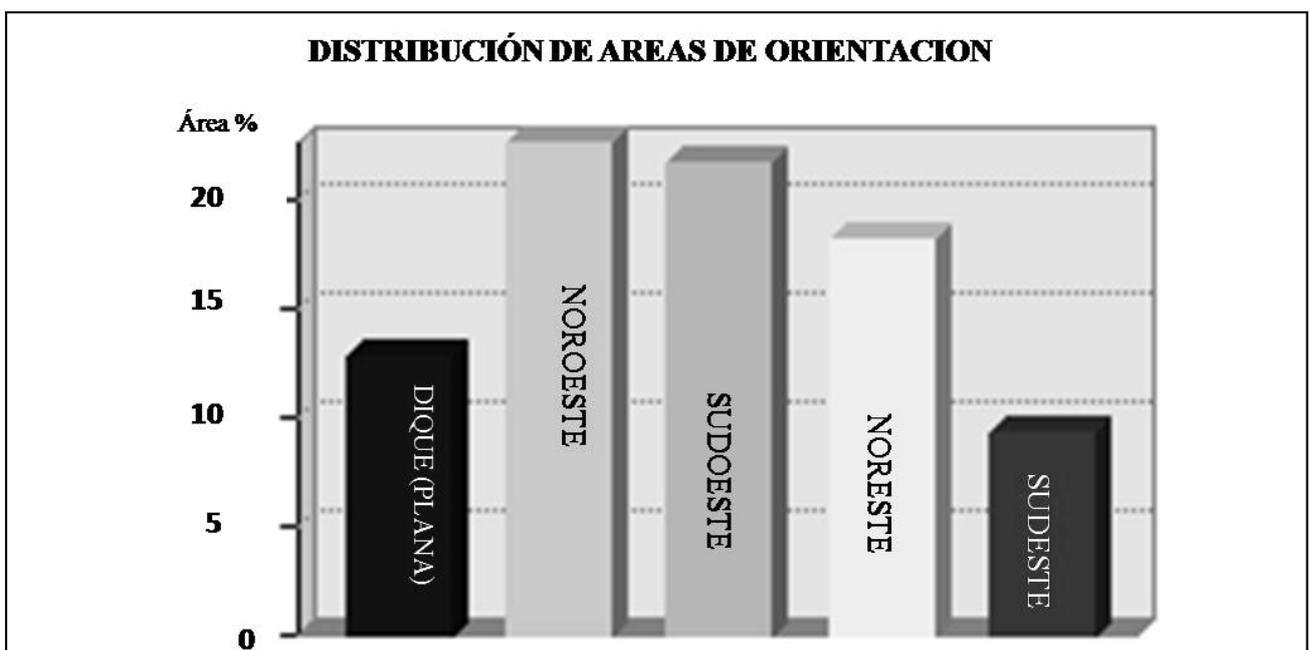


Figura 10. Distribución de áreas de orientación de laderas (elaboración propia).

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ABRAHAM DE VAZQUEZ, E.M. (1.978).
Geomorfología y biota del Valle de Sanagasta (Provincia de La Rioja).
DESERTA, IADIZA, Mendoza, 5: 95-155.
- AYALA, F.J. (1.990).
Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a definición de tipos de riesgos geológicos.
Bol. Geol. y Min., Vol. 101-3, pág. 456-467. Madrid, España.
- CAMINOS, R. (1.979).
Sierras Pampeanas Noroccidentales, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan.
2º Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba 1: 225-291.
- COROMINAS, J. Y GARCÍA YAGÜE, A. (1.997).
Terminología de los movimientos de ladera.
IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3: 1051-1072
- COSTA, C. (2.008).
Neotóctica. Caracterización preliminar del peligro sísmico en la provincia de La Rioja.
En Gonzalez, M.A., Gonzalez diaz, E.F., Elissondo, M., Juarez, P., Coppolecchia, M., Costa, C., Cisneros, H., Tello, G. y Hunicken, H. (eds.) Peligrosidad sísmica en la sierra de Velasco, provincia de La Rioja. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas: Peligrosidad Geológica 14: 30-65, Buenos Aires.
- CRAVERO, O. Y GONZÁLEZ DÍAZ, E.F. (1.999).
Hoja Geológica 2966-III La Rioja, provincia de La Rioja. Servicio Geológico Minero Argentino,
Instituto de Geología y Recursos Minerales (inédito), 49 p., versión preliminar, Buenos Aires.
- FERNÁNDEZ, T. (2.001).
Cartografía, análisis y modelado de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en macizos rocosos mediante SIG: Aplicación a diversos sectores del sur de la provincia de Granada.
Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 648 pp.
- FERRER GIJÓN, M. (1.995).
Los movimientos de ladera en España. Reducción de Riesgos Geológicos en España.
Instituto Tecnológico Geominero de España (ed.). Madrid.
- GONZÁLEZ BONORINO, F. (1.950).
Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas.
Revista Asociación Geológica Argentina. Tomo V (3):81-110. Buenos Aires.
- GONZÁLEZ BONORINO, F. (1.951).
Una nueva Formación Precámbrica en el noroeste argentino.
Com. Cient. Mus. La Plata, 5, La Plata.
- MORGENSTERN, N.R. (1.997).
Toward landslide risk assessment in practice.
Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment. Honolulu, Hawaii. USA, pp. 15-23.
- PIERONI, E. M. (2.004).
Análisis paleoflorístico y paleoambiental del Neopaleozoico del área del dique Los Sauces, provincia de La Rioja.
Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Seminario, 120 p., Tucumán.
- PIERONI, E.M.;GEORGIEFF, S.M. (2.007).
Reconsideración estratigráfica del Neopaleozoico de los alrededores del dique Los Sauces, La Rioja.
Rev. Asoc. Geol. Argentina vol. 62 N°1 Buenos Aires.
- RAMOS, V.A., (1.988).
Late Proterozoic–Early Paleozoic of South America– a Collisional History.
Episodes, 11(3): 168-173.
- RAMOS, V. (1.999).
Las Provincias Geológicas del territorio Argentino.
Geología Argentina- Anales 29 - Instituto de Geología y Recursos Minerales (41-96). Editorial A. Amaya - Argentina.
- SÁNCHEZ, M.; SPAGNOTTO, S.; MARTÍNEZ, M. (2.013).
Rasgos estructurales en la sierra pampeana de Velasco y alrededores a partir de los campos gravimétricos y magnetométricos.
Rev. Asoc. Geol. Argentina vol.70 N°2 Buenos Aires.
- SARKAR, S.;KONUNGO D.P. (2.004).
An integrated approach for landslie susceptibility mapping using remote sensing and GIS.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 70:pp. 617-625.

SUARÉZ DÍAZ, J. (1.988).

Deslizamientos: Técnicas de Remediación Vol.2.
Universidad Industrial de Santander IUS.

VARNES, D.J. (1.978).

Slope movement types and processes.

*In R.L. Schuster y R. J. Krizek (Eds.) Landslides: analysis and control. Transportation Research Board.
Special report 176: 11-33*



Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón

Pretreatment recycled aggregates for concrete

Priano, Carla ¹ ✉ - Señas, Lilia ² - Moro, Juan ³ - Marfil, Silvina ⁴

Recibido: 17 de mayo de 2016 • Aceptado: 24 de junio de 2016

Resumen

Los residuos de la construcción, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones de demolición, pueden ser utilizados como reemplazo total o parcial del agregado natural. Como consecuencia de su mayor porosidad, el agregado reciclado resulta menos denso y con una mayor capacidad de absorción de agua que el natural.

En este trabajo se presentan distintos tratamientos de impregnación sobre el agregado grueso reciclado de un hormigón de canto rodado, con el fin de mejorar la calidad del hormigón resultante y optimizar su uso. Se analizaron tres tipos de productos para tratar al agregado reciclado (dos comerciales de uso frecuente en el mercado y una pasta cementícea) y diferente tiempo entre la ejecución del tratamiento y su incorporación al hormigón. Se estudiaron propiedades mecánicas y físicas de hormigones con un reemplazo del 50% del agregado grueso natural por hormigón triturado. Se realizó un estudio petrográfico sobre las diferentes muestras a fin de determinar la influencia de los tratamientos en la morfología de la zona de interfase agregado-mortero.

El tratamiento previo de impregnación del agregado reciclado demostró ser una alternativa para mejorar la estructura de poros del hormigón y llevarlo a un comportamiento similar al de un hormigón convencional. El uso de un material de desecho permite reducir la cantidad de residuos generados una vez cumplida la vida útil de las estructuras y disminuir la explotación de recursos naturales no renovables como son los agregados para hormigón.

Palabras clave: Agregado reciclado, hormigón, tratamiento previo, petrografía.

Abstract

Construction waste, mainly those coming from crushed demolition concrete, can be used as partial or complete replacement of natural aggregates. Due to their greater porosity, recycled aggregates have lower density and higher water absorption than natural ones.

This research presents different impregnation treatments of the recycled coarse aggregate obtained from concrete containing boulder, in order to improve final concrete quality and optimize their use. Three types of products were analyzed to treat the recycled aggregate (two highly used commercial products and one cement paste), as well as different time between treatment execution and its addition to the concrete. Mechanical and physical properties of concretes with 50% of natural coarse aggregate replacement by crushed concrete were

1. Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253. Bahía Blanca (8000). TE 0291-4595101 int. 3225.

✉ e-mail: cpriano@uns.edu.ar

2. Ing. Civil. Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.

3. Ing. Civil. Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.

4. Dra. Geología. Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur. Investigador Principal CIC.

studied. A petrographic study of the different samples was performed to determine the treatment influence on the morphology of the aggregate-mortar interface zone.

Previous impregnation treatment of the recycled aggregate proved to be an alternative to improve concrete pore structure and to allow a similar behavior to conventional concretes. The use of waste materials reduces the amount of residues generated once the useful life of the structure ends and decreases the exploitation of non-renewable natural resources like concrete aggregates.

Keywords: Recycled aggregate, concrete, pretreatment, petrography.

INTRODUCCIÓN

El uso de materiales reciclados provenientes de desechos de demolición es una alternativa cada vez más aceptada en la industria de la construcción. Además de conservar los recursos naturales y reducir el área de tierras destinadas a la disposición final de residuos, es una forma de disminuir el consumo de energía y por lo tanto, el costo de una obra. Los residuos de la construcción, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones de demolición, pueden ser utilizados como reemplazo total o parcial del agregado natural. Desde 1982 la definición de agregado grueso dada por la ASTM, ha incluido como tal, al hormigón triturado (*ASTM C33, 2013*). Asimismo la Federal Highway Administration recomienda el uso de hormigón reciclado como agregado en sus especificaciones y guías (*Federal Highway Administration, 1985*).

El agregado reciclado es un material heterogéneo que está constituido por dos fases: mortero y roca. Sus partículas pueden estar conformadas únicamente por agregado natural (Figura 1a), por mortero del hormigón que se trituró adherido al agregado natural (Figura 1b) o solo por mortero (Figura 1c).

En general, los agregados reciclados que provienen de hormigón triturado, consisten en un 65-70% en volumen, de agregado natural y un 30-35% en volumen, de pasta cementicia del hormigón original. La principal característica que los diferencia de un agregado natural, es el mortero adherido que poseen.

La fracción gruesa de áridos triturados puede ser utilizada como reemplazo del agregado natural en la producción de hormigón. Los beneficios e inconvenientes del uso de agregado grueso reciclado han sido extensamente estudiados por *Hansen y Narud (1983)*, *Tavakoli y Soroushian (1996)*, *Poon et al. (2002)*, *Padmini et al. (2009)*, *Zega et al. (2010)*, *Kou y Poon (2012)*, entre otros. Se ha demostrado que en hormigones con un reemplazo de hasta 75% de agregado natural por reciclado,

no se modifica significativamente el comportamiento mecánico (*Señas et al., 2006*).

Como consecuencia de la mayor porosidad del mortero adherido, el agregado reciclado resulta menos denso y con una mayor capacidad de absorción de agua que el natural (*Poon et al., 2004*). Las mezclas elaboradas con agregado reciclado generan un hormigón más permeable que uno de similares características elaborado con agregados naturales, y por consiguiente es más susceptible a ser atacado por agentes externos. El agua que penetra al interior del hormigón, funciona como un transporte para los iones agresivos y es la causa principal de los procesos químicos responsables de la degradación física y mecánica de las estructuras de hormigón armado. En general, para agregados densos, su capacidad de transporte es inferior o del orden de la de la pasta de cemento, en cuanto que para agregados porosos, ocurre el caso opuesto (*Fernández Luco, 2001*). En términos de durabilidad, los hormigones elaborados con agregados reciclados demostraron una mayor absorción de agua por inmersión y por capilaridad (*Amorim et al., 2012*) y una menor resistencia a la penetración de cloruros y a la carbonatación (*Olorunsogo y Padayachee, 2002*).

A pesar de presentar menor densidad y mayor absorción que los agregados naturales, es factible elaborar un hormigón mediante una correcta dosificación (*Lin et al., 2004; Evangelista y de Brito, 2014*). Por otro lado el hormigón reciclado presenta una relación agua/cemento efectiva más baja respecto al convencional y los agregados que provienen de la trituración de hormigón presentan partículas con forma angulosa y textura rugosa, generando una mejor interfase en la zona de transición pasta-agregado, respecto al árido natural (*Zega y Di Maio, 2011; Dominguez Ruben y Mantegna, 2012*). El aumento de la rugosidad y superficie específica del agregado reciclado contribuyen a una mejor interconexión entre éste y la nueva pasta de cemento (*Poon et al., 2004*).



Figura 1. Partículas de agregado reciclado. a. Agregado natural. b. Canto rodado con mortero adherido. c. Mortero.

Una de las diferencias más significativas entre el hormigón convencional y el elaborado con agregados reciclados es la presencia de dos tipos diferentes de interfase: una zona de transición entre el antiguo mortero y el agregado natural y otra entre el nuevo mortero y el agregado, que puede ser tanto reciclado como natural. El mecanismo de falla del hormigón con agregado reciclado ante una sollicitación mecánica, depende de la calidad de las dos zonas de interfase, la nueva y la original (Xiao *et al.*, 2012).

La zona de interfase generada entre la pasta cementícea y un agregado reciclado es diferente a la del agregado natural, ya que el primero es más poroso, y generalmente está parcialmente carbonatado debido al mortero original adherido sobre la superficie de las partículas. La microestructura de la zona de interfase del hormigón reciclado es un factor de relevancia en el desarrollo de su resistencia mecánica. Es de esperar que las propiedades mecánicas del hormigón reciclado mejoren mediante la modificación de las propiedades superficiales y la estructura de poros de los agregados reciclados (Poon *et al.*, 2004).

El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento del hormigón elaborado con agregado reciclado tratado con tres productos de impregnación (dos comerciales de uso frecuente en el mercado y una pasta cementícea). Éstos fueron aplicados sobre el agregado grueso reciclado de hormigón de canto rodado, previo a su incorporación en la mezcla, con el fin de mejorar la calidad del hormigón resultante y optimizar su uso.

El empleo de un hormigón triturado perteneciente a una estructura que ha cumplido su vida útil, permite reducir la cantidad de residuos generados y además, disminuir la explotación de recursos naturales no renovables como son los agregados para hormigón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se dosificaron hormigones con relación agua/cemento 0,50 y un 50% de reemplazo, en volumen, de agregado grueso natural (canto rodado) por agregado reciclado. Este último se impregnó con dos productos impermeabilizantes de uso comercial (denominados A y B) y con pastas cementíceas, previo a su incorporación en el hormigón (denominados TP). En los

casos de tratamientos previos con pasta cementícea, se estudiaron dos variables, una vinculada con la relación agua/cemento de la pasta cementícea: $a/c = 0,50$ (TP1); $a/c = 0,74$ (TP2) y $a/c = 1,00$ (TP3) y la otra, relacionada con la cantidad de días transcurridos entre la fecha de realización del tratamiento y la de hormigonado de las probetas, los cuales se estipularon en 1 y 28 días.

Para poder diferenciar los hormigones, de acuerdo a la cantidad de días transcurridos entre la realización del tratamiento previo sobre el agregado grueso reciclado y el día de hormigonado, a la denominación se le incorporó un subíndice indicativo de la cantidad de días antes mencionada. Por ejemplo, se indicó TP1²⁸ a aquellos hormigones en los que se utilizó agregado grueso reciclado con tratamiento previo TP1, elaborados luego de 28 días de la realización del mismo.

Además, se elaboraron dos hormigones de referencia: patrón (P) sin incorporación de agregado reciclado y (R) con 50 % de agregado reciclado sin tratamiento previo de impregnación.

En todos los tratamientos, se efectuó el siguiente procedimiento:

- 1- Incorporación del agregado reciclado en la hormigonera
- 2- Incorporación del cemento o producto impermeabilizante
- 3- Mezclado de los materiales
- 4- Incorporación del agua
- 5- Mezclado durante 5 minutos
- 6- Volcado del material tratado
- 7- Dispersión del material para evitar el aglomerado de pasta y agregado
- 8- Movimiento del material tratado dos veces por día hasta notar que la superficie esté seca.

En la Tabla 1 se detalla los diferentes hormigones proyectados y sus respectivas nomenclaturas.

En la Figura 2a se muestra el agregado reciclado tratado y en la Figura 2b el aspecto del triturado antes de su tratamiento previo.

Tabla 1. Detalle de las mezclas elaboradas.

Denominación	Características
P	100% agregado grueso natural
R	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado sin tratamiento previo
A	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con el impermeabilizante A
B	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con el impermeabilizante B
TP1 ₁	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 0,50$ y 1 día de secado
TP1 ₂₈	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 0,50$ y 28 días de secado
TP2 ₁	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 0,74$ y 1 día de secado
TP2 ₂₈	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 0,74$ y 28 días de secado
TP3 ₁	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 1,00$ y 1 día de secado
TP3 ₂₈	Reemplazo de 50 % del agregado grueso natural por agregado reciclado pretratado con pasta cementícea de $a/c = 1,00$ y 28 días de secado

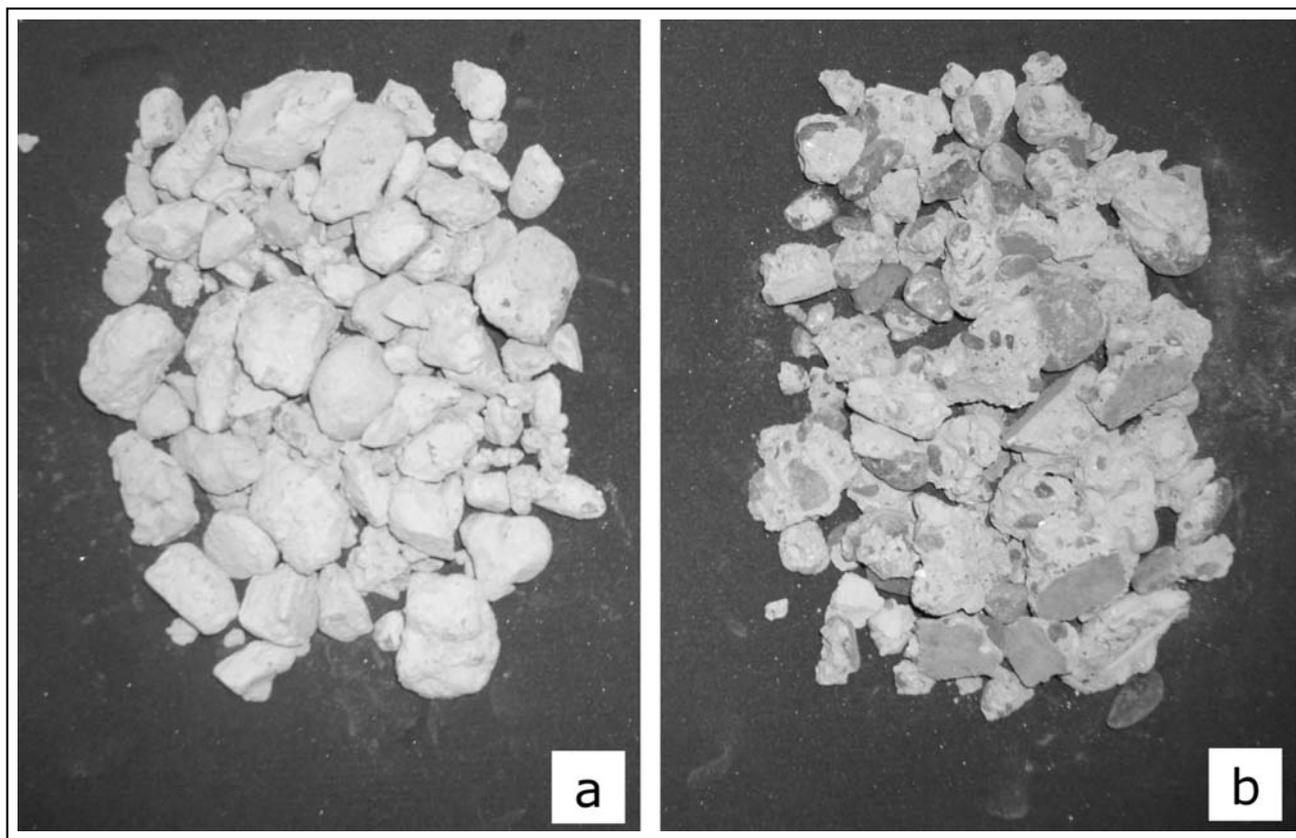


Figura 2. Agregado de hormigón reciclado: a. Con tratamiento previo. b. Sin tratamiento previo.

Se estudiaron la densidad (en estado saturado superficie seca) y la absorción del agregado fino, del grueso natural y del grueso reciclado, con y sin tratamientos previos (IRAM 1533, 2002).

Se realizó un estudio petrográfico sobre secciones delgadas de cada uno de los hormigones a fin de observar sus características y posibles variaciones en la zona de interfase mortero-agregado reciclado (con y sin tratamiento).

Además se evaluó el efecto de los tratamientos en las propiedades mecánicas: resistencia a compresión (IRAM 1546, 2013) y tracción simple por compresión diametral (IRAM 1658, 1995) y físicas relacionadas con la estructura de poros: capacidad y velocidad de succión capilar (IRAM 1871, 2004).

Para la elaboración de las mezclas se utilizó:

Agua: corriente de la red de provisión a la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires.

Cemento: portland normal (CPN 40) proveniente de una fábrica ubicada en la provincia de Buenos Aires.

Agregado fino: constituido por arena natural silícea proveniente de un yacimiento ubicado al sur de la provincia de Buenos Aires, que cumple con las especificaciones granulométricas dadas por la norma IRAM 1627(1997).

Agregados gruesos, se emplearon tres tipos:

a) Natural: constituido por canto rodado de tamaño máximo nominal 25 mm. Este material cumple con los límites granulométricos indicados en la norma IRAM 1627, y proviene de la misma cantera que el agregado fino.

b) Reciclado: se obtuvo de la trituración de hormigones elaborados con canto rodado, provenientes de obras rea-lizadas en la zona de Bahía Blanca. Se molió el material a reciclar con el empleo de una trituradora de mandíbulas hasta tamaño máximo nominal 25 mm.

c) Reciclado con tratamiento previo: corresponde al material indicado en el inciso b) sometido a los tratamientos de impregnación con pasta cementícea y los impermeabilizantes A y B.

Las dosificaciones del *hormigón patrón* (P) y reciclado sin tratar (R) se detallan en la Tabla 2. En las mezclas A, B y todas las TP se debieron ajustar las cantidades de agregado grueso reciclado, debido a la leve modificación de las densidades luego de cada tratamiento (Tabla 3).

Tabla 2. Proporciones del hormigón patrón y del reciclado sin tratar.

Mezcla	Patrón	Reciclado
Cemento (kg/m ³ H°)	350	350
Agregado fino (kg/m ³ H°)	895	895
Canto rodado (kg/m ³ H°)	970	485
Agregado grueso reciclado (kg/m ³ H°)	---	443

Los hormigones elaborados con agregados gruesos reciclados secos y arena natural demandan, para obtener una misma trabajabilidad, aproximadamente un 5% más de agua que los hormigones convencionales, debido a su mayor capacidad

de absorción (Di Maio, 2004; Hansen y Narud, 1983). Por ello se utilizaron 175 litros de agua para mezclado y 8 litros para humedecer previamente el agregado reciclado seco, por m^3 de hormigón. Los hormigones se diseñaron con un ámbito de consistencia de 8-10 cm, medida con el cono de Abrams (IRAM 1536, 1978). Todas las muestras presentaron un grado de trabajabilidad aceptable, sin indicios de segregación ni exudación.

Se moldearon probetas cilíndricas de 10 x 20 cm para realizar los ensayos de capacidad y velocidad de succión capilar y probetas cilíndricas de 15 x 30 cm para los ensayos de resistencia a compresión y tracción simple por compresión diametral. Se moldearon y curaron de acuerdo con la norma IRAM 1534 (2004).

RESULTADOS

Ensayos físico-mecánicos

Las características físicas del agregado fino y grueso natural y del grueso reciclado, con y sin tratamientos previos, se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características físicas de los agregados. (sss: saturado superficie seca).

Agregado	Densidad sss (kg/dm^3)	Absorción (%)
Arena natural silíceas	2,58	1,2
Canto rodado	2,66	0,4
Reciclado sin tratamiento previo	2,43	6,4
Reciclado con tratamiento A	2,49	3,8
Reciclado con tratamiento B	2,47	3,9
Reciclado con TP1 ₁	2,39	5,8
Reciclado con TP1 ₂₈	2,43	5,7
Reciclado con TP2 ₁	2,40	5,6
Reciclado con TP2 ₂₈	2,44	5,5
Reciclado con TP3 ₁	2,46	5,6
Reciclado con TP3 ₂₈	2,47	5,3

Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión y de tracción simple por compresión diametral, de todos los hormigones elaborados, se muestran en la Tabla 4. Los valores presentados son el promedio de tres determinaciones con una dispersión entre resultados menor al 15% (IRAM 1666-3, 1986). En la Figura 3 se graficaron dichos resultados en orden descendente.

Los resultados determinados en el ensayo de absorción capilar de todas las mezclas elaboradas, se muestran en la Tabla 5. Los valores de capacidad y velocidad de succión capilar están expresados en porcentaje respecto al hormigón proyectado con agregado reciclado sin tratamiento previo (R). Se tomó como referencia (100%) el hormigón R, para poder comparar el efecto de cada uno de los tratamientos aplicados a los agregados reciclados, sobre el comportamiento de las mezclas en el ensayo de succión capilar. Se agregó además, el valor correspondiente al hormigón elaborado con agregado natural sin reemplazo de agregado reciclado (P). En la Figura 4 se graficaron dichos resultados en orden descendente.

Tabla 4. Características mecánicas de los hormigones estudiados.

Hormigones	Compresión [MPa]	Tracción [MPa]
P	36,4	3,6
R	32,6	3,0
A	34,5	3,4
B	25,5	2,7
TP1 ₁	33,1	3,1
TP1 ₂₈	30,9	3,2
TP2 ₁	32,8	2,8
TP2 ₂₈	30,6	2,8
TP3 ₁	34,4	3,0
TP3 ₂₈	32,8	2,8

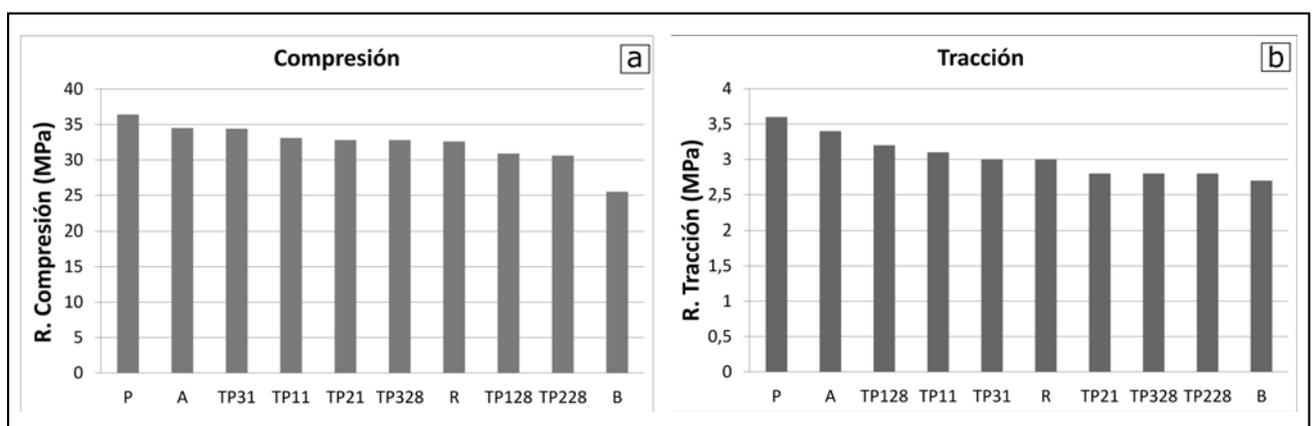


Figura 3. a. Resistencia a compresión. b. Resistencia a tracción.

Tabla 5. Capacidad (C) y velocidad de succión capilar (S) de los hormigones estudiados.

Hormigones	C [%]	S [%]
P	57	53
R	100	100
A	67	53
B	86	88
TP1 ₁	55	34
TP1 ₂₈	49	33
TP2 ₁	67	59
TP2 ₂₈	55	45
TP3 ₁	59	39
TP3 ₂₈	49	32

Análisis petrográfico

El agregado grueso del hormigón patrón (P) es un canto rodado en cuya composición predominan las rocas volcánicas. El contacto agregado-mortero es neto. El agregado fino es una arena natural constituida por cuarzo, rocas volcánicas y graníticas, y partículas individuales de cuarzo, feldespatos, piroxenos y valvas carbonáticas. En la Figura 5a se observa la composición del agregado y el contacto neto entre una partícula de agregado grueso basáltico y el mortero.

En la Figura 5b se muestra un sector del hormigón R con una partícula de agregado reciclado en la zona central de la imagen, constituida por canto rodado del hormigón original y un trozo de mortero en contacto neto. El resto de la imagen corresponde al mortero nuevo donde se visualiza claramente la zona de interfase con el reciclado. En las Figuras 5c y 5d se muestra el hormigón sometido a los tratamientos A y B respectivamente. Se puede observar que si bien ha mejorado la zona de interfase agregado reciclado-mortero respecto al hormigón reciclado de referencia (R) (Figura 5b), el contacto no es neto. Además es posible ver que el mortero original se encuentra carbonatado, evidenciado por un incremento de la birrefringencia de la pasta.

En la Figura 6 se muestra las características petrográficas de los hormigones realizados con los agregados reciclados

impregnados con pasta cementícea para las diferentes relaciones a/c y edades.

En la muestra TP1₁ se observa abundante microfisuramiento tanto en el mortero reciclado como en el nuevo. Es clara la zona de interfase lo que evidencia que el contacto entre ambos no es neto (Figura 6a). Con este mismo tratamiento pero a los 28 días, en general se hace difícil distinguir la interfase entre el mortero nuevo y el reciclado ya que los contactos son muy netos. En la Figura 6b se observa una partícula de agregado reciclado (a la izquierda de la imagen) en contacto neto con el mortero nuevo (a la derecha). En este caso se puede visualizar la interfase debido al proceso de carbonatación de la pasta del hormigón reciclado.

Los resultados de las muestras TP2 se muestran en las Figuras 6c y d, a 1 y 28 días respectivamente. Al igual que con los tratamientos anteriores se ve una mejora en la adherencia entre el mortero nuevo y el reciclado. Es difícil reconocer los contactos, solo se observa un cambio de tonalidad en el mortero reciclado por la carbonatación de la pasta.

Las Figuras 6e y f corresponden al tratamiento TP3 a 1 y 28 días respectivamente. Los resultados son similares. El microfisuramiento es muy escaso y afecta a ambos morteros. La interfase es prácticamente imperceptible.

DISCUSIÓN

Los resultados de resistencia a compresión y tracción simple por compresión diametral, indican que al reemplazar un 50% del agregado natural por agregado reciclado sin tratamientos previos (R), se obtiene un material de buena prestación, como para ser utilizado en estructuras resistentes. Sin embargo, los valores de absorción capilar son elevados respecto a los hormigones elaborados en forma convencional (P) debido a la mayor porosidad de los agregados reciclados.

Los hormigones elaborados con agregado grueso reciclado, a los que se le aplicó previamente un tratamiento con pasta cementícea (TP1, TP2 y TP3) o producto A, mostraron similar comportamiento mecánico que el hormigón reciclado (R). La mezcla elaborada con agregado reciclado con el tratamiento de producto B, mostró un valor inferior de resistencia mecánica. Se puede concluir que los tratamientos previos de los agregados reciclados no tuvieron una influencia significativa en el comportamiento mecánico de los correspondientes hormigones, salvo para la mezcla B que presentó una disminución del orden del 22 % respecto al hormigón R.

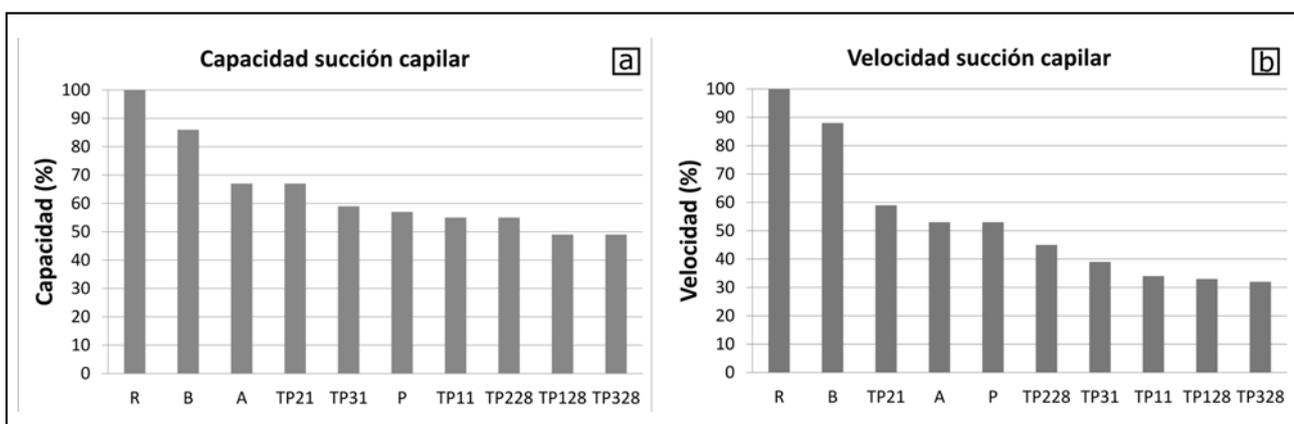


Figura 4. a. Capacidad de succión capilar. b. Velocidad de succión capilar.

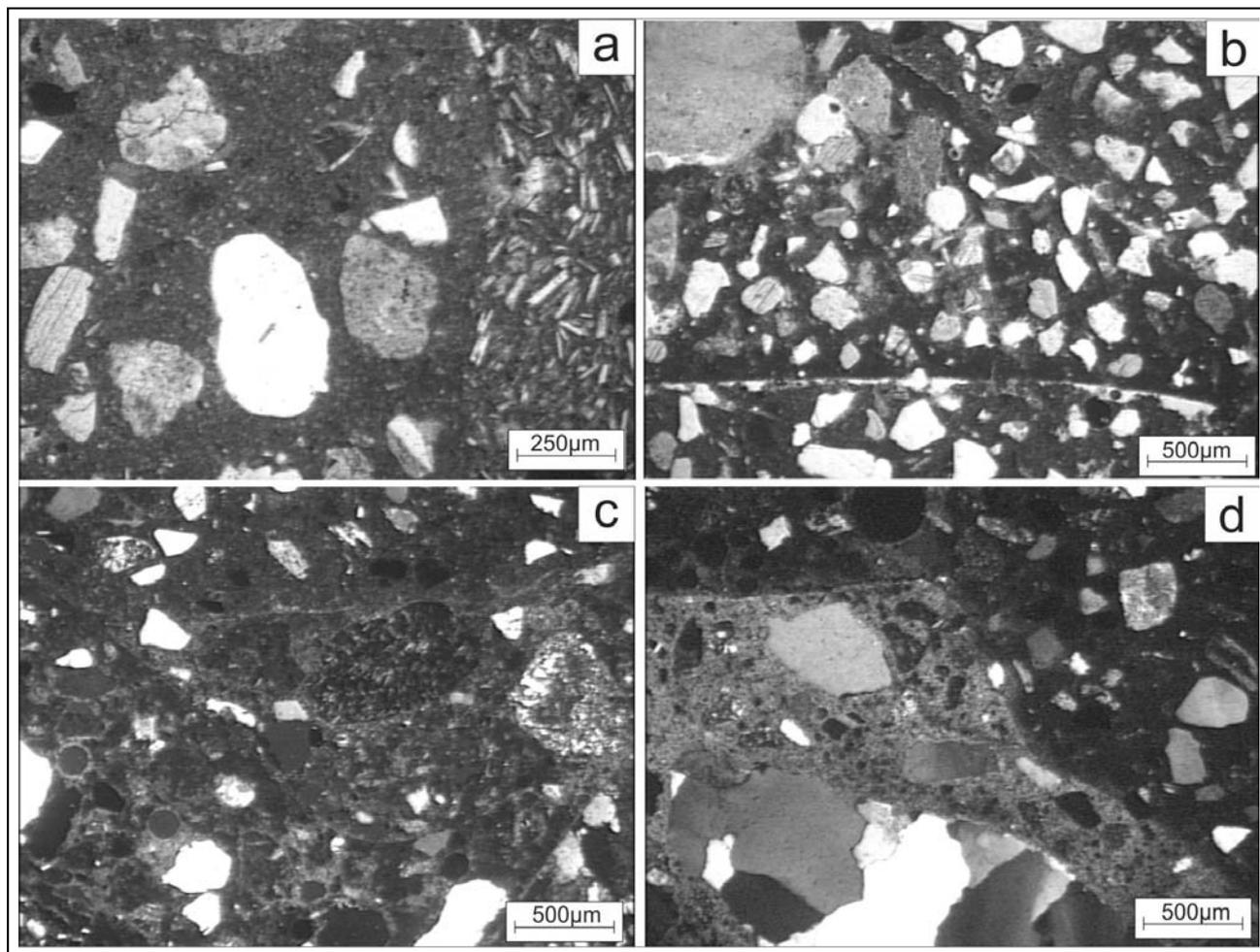


Figura 5. Microscopía óptica sobre secciones delgadas: a. Hormigón patrón (P) (visto con luz paralela). b. Hormigón con reemplazo de 50 % de agregado reciclado sin tratamiento previo (R) (con luz paralela). c. Hormigón A. d. Hormigón B (con nicóles cruzados).

En el ensayo de succión capilar, las diferencias fueron más notorias. Los hormigones elaborados con agregado grueso reciclado, al que se le aplicó previamente los tratamientos A y todos los TP, lograron una clara mejoría (del orden del 40% o más) respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo (R). Incluso el comportamiento de algunas mezclas en el ensayo de succión capilar, fue superior al del hormigón patrón realizado sin la utilización de agregados reciclados (P). La mezcla B fue la que presentó la menor disminución en los valores de capacidad y velocidad de succión capilar, solo 14% y 12%, respectivamente.

El intervalo de tiempo transcurrido entre el día de tratamiento previo de los agregados reciclados y el de hormigonado (1 y 28 días), no influyó significativamente. No se pudo apreciar una tendencia clara en los valores de resistencia mecánica y de capacidad de succión capilar respecto a los días de secado del agregado luego del tratamiento, si bien en general los valores de absorción obtenidos el día 28 de secado fueron los menores. Tampoco se apreciaron grandes diferencias respecto a la variación de la relación a/c de cada pasta cementícea, aplicada en los tratamientos previos.

El estudio petrográfico sobre secciones delgadas, de los diferentes hormigones, permitió analizar la zona de interfase entre el agregado reciclado y el mortero. Se observó una mejor

adherencia en las partículas sometidas a los tratamientos previos de impregnación respecto al hormigón reciclado de referencia (R). En la mayoría de los casos, la observación de la diferencia entre ambos morteros se vio facilitada por el desarrollo de carbonatación en la pasta del hormigón reciclado. Sin embargo, en los hormigones sometidos a los tratamientos A y B, la zona de interfase agregado reciclado-mortero muestra una separación entre las partículas y el mortero más evidente que en los TP.

CONCLUSIONES

- Los valores de absorción capilar del hormigón reciclado se incrementaron respecto a los del hormigón convencional, debido a que los agregados de hormigón triturado poseen una mayor porosidad. Por este motivo, el hormigón elaborado con agregados reciclados, es un material más vulnerable frente al ingreso de agentes externos que pueden producir reacciones deletéreas y afectar su durabilidad.
- Los hormigones elaborados con agregados tratados (TP1, TP2, TP3 y A) mostraron una clara modificación de su estructura de poros, respecto al hormigón reciclado sin tratar (R), presentando un comportamiento mecánico y de absorción capilar similar al

hormigón patrón (P). Mientras que el tratamiento previo del agregado reciclado con el producto B, no permitió una disminución significativa de la succión capilar del hormigón y generó las mayores diferencias en las resistencias mecánicas.

- No se apreciaron grandes diferencias respecto a la variación de la relación a/c de cada pasta cementícea aplicada en los tratamientos previos. La alternativa más

conveniente desde el punto de vista económico, sería el uso de la mayor de ellas ($a/c = 1$). El tiempo de secado de la pasta cementícea con la que se trató el agregado reciclado, no influyó en los resultados finales. Esto se cumplió para todas las relaciones a/c .

- Los resultados de los estudios petrográficos son coincidentes con los resultados de los ensayos físico-mecánicos. Los tratamientos previos mejoraron la adherencia

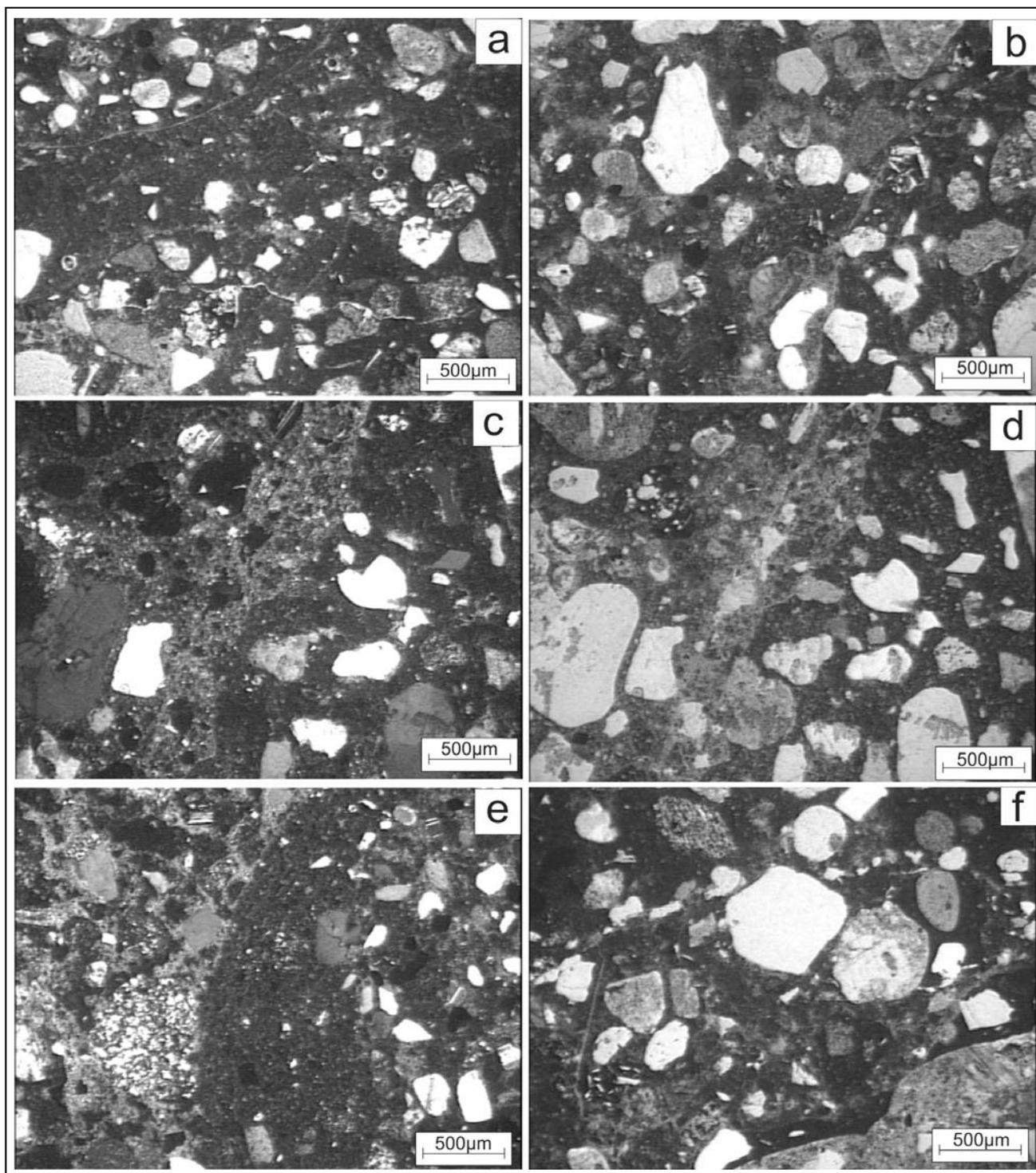


Figura 6. Microscopía óptica sobre secciones delgadas de hormigones reciclados sometidos a tratamientos previos con pastas cementíneas. a: TP1₁ (con luz paralela). b: TP1₂₈ (con luz paralela). c: TP2₁ (con nicoles cruzados). d: TP2₂₈ (luz paralela). e: TP3₁ (con nicoles cruzados). f: TP3₂₈ (luz paralela).

del hormigón reciclado con el mortero mostrando características físico-mecánicas similares a las del hormigón patrón (P).

- El uso de estos tratamientos de impregnación del agregado reciclado previo a su incorporación en el hormigón, es una alternativa para mejorar la estructura de poros del hormigón y llevarlo a un comportamiento similar al de un hormigón tradicional.
- La aplicación de los tratamientos previos al mezclado, implica un aumento en los costos de producción de hormigón, que varía según el material con el cual se

hace el tratamiento, siendo el cemento el producto que brinda mayores beneficios a menores costos. La realización de este tipo de tratamientos es compleja, pero abre la posibilidad de utilizar productos para la impregnación de agregados reciclados y mejorar la calidad del hormigón elaborado con materiales de desecho.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Dptos. de Ingeniería y Geología de la Universidad Nacional del Sur y a la CIC de la Prov. de Bs. As., por el apoyo brindado.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMORIM, P.; DE BRITO, J. Y EVANGELISTA, L., 2012.
Concrete made with coarse concrete aggregate: influence of curing on durability.
ACI Materials Journal, Vol. 44: 195-204.
- ASTM C33 / C33M-13. 2013.
Standard Specification for Concrete Aggregates.
Annual Book of ASTM Standards Section 4 Construction, Vol.: 04.02 Concrete and Aggregates. 11 pp.
- DI MAIO, A., 2004.
Reciclado de Hormigones, Nuevos hormigones y sus aplicaciones,
Jornadas organizadas por el LEMIT-CIC, La Plata, Argentina. 19 pp.
- DOMINGUEZ RUBEN, J. Y MANTEGNA, D., 2012.
Uso a gran escala de hormigón reciclado.
V Congreso Internacional y 19º Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Bahía Blanca, Argentina. Vol.1: 463-470.
- EVANGELISTA, L. DE BRITO, J., 2014.
Concrete with fine recycled aggregates: a review.
European Journal of Environment Civil Engineering, Vol. 18 (2): 129-172.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 1985.
Recycling portland cement concrete.
DP47-85. Washington, D.C. 6 pp.
- FERNÁNDEZ LUCO, L., 2001.
La Durabilidad del Hormigón: su relación con la estructura de poros y los mecanismos de transporte de fluidos.
Durabilidad del Hormigón Estructural. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 306 pp.
- HANSEN, T. Y NARUD, H., 1983.
Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate.
Concrete International, Vol. 5 V (1): 79-83.
- IRAM 1533, 2002.
Agregados gruesos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 11 pp.
- IRAM 1534, 2004.
Hormigón. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 15 pp.
- IRAM 1536, 1978.
Hormigón fresco de cemento portland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 8 pp.
- IRAM 1546, 2013.
Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 13 pp.
- IRAM 1627, 1997.
Agregados. Granulometría de los agregados para hormigones.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 23 pp.

- IRAM 1658, 1995.
Hormigón. Determinación de la resistencia a la tracción simple por compresión diametral.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 9 pp.
- IRAM 1666-3, 1986.
Hormigón de cemento portland. Hormigón elaborado. Uniformidad del hormigón del pastón.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 13 pp.
- IRAM 1871, 2004.
Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido.
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires. 12 pp.
- KOU, S. Y POON, C., 2012.
Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate.
Construction and Building Materials, Vol. 35: 69-76.
- LIN, Y.; TYAN, Y.; CHANG, T. Y CHANG, C., 2004.
An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates.
Cement and Concrete Research, Vol.34: 1373-1380.
- OLORUNSOGO, F. Y PADAYACHEE, N., 2002.
Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes.
Cement and Concrete Research, Vol. 32 (2): 179-185.
- PADMINI, A.; RAMAMURTHY, K. Y MATHEWS, M., 2009.
Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete.
Construction and Building Materials, Vol.23 (2): 829-836.
- POON, C.; KOU, S. Y LAM, L., 2002.
Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks.
Construction and Building Materials, Vol. 16 (5): 281-289.
- POON, C.; SHUI, Z. Y LAM, L., 2004.
Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates.
Construction and Building Materials, Vol.18 (6): 461-468.
- SEÑAS, L.; PRIANO, C.; VALEA, J. Y CABO, G., 2006.
Reciclado de hormigón de canto rodado patagónico.
16ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Mendoza, Argentina. Vol. 1: 15-22.
- TAVAKOLI, M. Y SOROUSHIAN, P., 1996.
Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate.
ACI Materials Journal, Vol. 93 (2): 182-90.
- XIAO, J.; LI, W.; SUN, Z. Y SHAH, S., 2012.
Crack propagation in recycled aggregate concrete under uniaxial compressive loading.
ACI Materials Journal, Vol. 109(4): 451-461.
- ZEGA, C.; VILLAGRAN-ZACCARDI, Y. Y DI MAIO, A., 2010.
Effect of natural coarse aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coarse aggregates.
Materials and Structures, Vol. 43(1-2): 195-202.
- ZEGA, C. Y DI MAIO, A., 2011.
Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements.
Waste Management, Vol. 31: 2336-2340.



Reseña de Libros

Experiencia Portuguesa en Obras Subterráneas

Sarra Pistone, Raúl

En Portugal los túneles para líneas férreas comenzaron a construirse en la segunda mitad del siglo XIX. Desde ese tiempo hasta nuestros días la industria de túneles ha crecido enormemente. En las últimas tres décadas se modernizó la infraestructura del país, lo que implicó la construcción de obras subterráneas de gran complejidad y riqueza técnica.

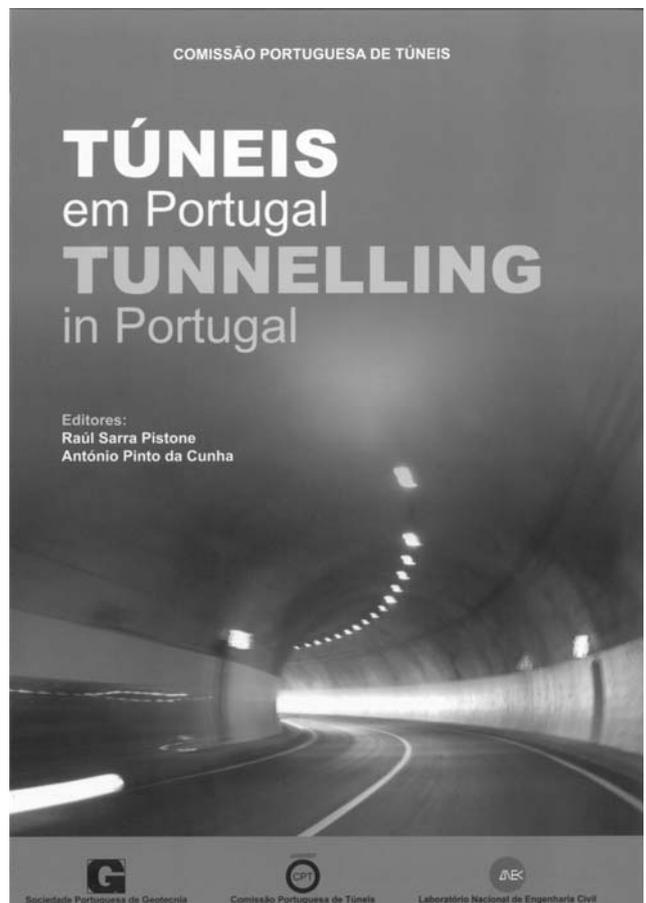
La Comisión Portuguesa de Túneles (CPT) fue creada en 2006, dentro de la Sociedad Portuguesa de Geotecnia (SPG), como filial local de la Sociedad Internacional de Túneles (ITA). La CPT se abocó inmediatamente al objetivo de realizar un catastro de túneles construidos en Portugal. En junio de ese año fue creado el primer grupo de trabajo (GT1) para preparar ese registro, con la animación del autor.

En Mayo de 2008 la CPT organizó su 2º Seminario sobre Túneles y Obras Subterráneas en Portugal, cuya agenda incluía todos los túneles construidos en el país. La CPT convocó a todos los actores: dueños de obras viales, ferroviarias, metropolitanas, hidroeléctricas e hidráulicas; tanto a empresas públicas como concesionarios, universidades, institutos y laboratorios técnicos, así como proyectistas y contratistas.

Ya en 2010 la CPT atesoraba suficiente información para comunicarla orgánicamente. Así nació la idea de publicar un libro sobre túneles en Portugal, cuya edición se realizó en mayo de 2014 y fue presentado formalmente en el Congreso Mundial de Túneles de la International Tunnelling Association (ITA) en Iguazú, Brasil.

En Portugal fue presentado formalmente en una sesión especial en la Orden de los Ingenieros en noviembre de ese año. Ya se había presentado en el XIV Congreso Nacional de la Sociedad Portuguesa de Geotecnia en el mes de abril.

Su título original es *Túneis em Portugal – Tunnelling in Portugal*. Es una edición bilingüe (Portugués-Inglés) y sus editores son Raúl Sarra Pistone y António Pinto da Cunha.



Comissão Portuguesa de Túneis - CPT, Vice Presidente; COBA Engineering and Environmental Consultants, Director - Especialista en Obras Subterráneas.

Figura 1. Tapa del Libro.

ESTRUCTURA DEL LIBRO

Como otros libros de este género, Túneles de Portugal está estructurado por fichas de obras construidas. Cada una de ellas está acompañada por un resumen extendido de la obra, que pretende registrar las características y episodios más importantes durante su construcción, opciones de proyecto, equipamientos de seguridad, etc.

Las fichas fueron trabajadas por colegas que tuvieron la disponibilidad y la amabilidad de dedicar su tiempo a este proyecto. Los editores, que a su vez son autores, coordinaron todos los esfuerzos, definieron los tiempos, procuraron dar unidad a todas las contribuciones, promovieron la traducción al inglés y junto con la comisión de la CPT revisaron todos los textos, cuadros, figuras y fotos, con el objetivo de conseguir una obra calificada.

El libro no pretendió ser exhaustivo y retratar todas las obras. Sí se definió qué tipos de obras deberían estar registradas y cuáles eran las más emblemáticas de cada tipo. Como obra viva, los editores confían en que será de utilidad a la comunidad técnico-científica y que merecerá actualizaciones futuras.

PRÓLOGOS

Este documento comienza con un mensaje de los editores Raúl Sarraf Pistone y António Pinto da Cunha. La presentación estuvo a cargo del profesor Ricardo Oliveira, ex Presidente de la International Association for Engineering Geology (IAEG).

Consta también de varios prefacios, integrados en las primeras páginas, que jerarquizan la obra. Entre ellos se cuentan los escritos por Soren Eskesen, Presidente de la International Tunnelling Association (ITA); José L. Macha do do Vale, Presidente de la Sociedad Portuguesa de Geotecnia; Carlos Pina, Presidente del Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC); y por André Assis, ex Presidente de la ITA, 2001-2004. Los Agradecimientos fueron realizados por J. Bilé Serra, Presidente de la CPT.

CONTENIDO

Básicamente el Libro organiza las obras presentadas según su utilización. Así se inicia con los *Túneles Ferroviarios*, que en Portugal, como en muchos países, son las obras subterráneas que hicieron la conexión entre los túneles mineros y los integrados en obras de infraestructuras.

Una Breve Historia de los Túneles Ferroviarios en Portugal que se remonta al siglo XIX abre el discurso para dar



Figura 2. Túnel do Pragal

sustento a todo el desarrollo posterior de esta industria. Se registran algunos casos emblemáticos de rehabilitación de túneles antiguos como el túnel de Rossio, en la ciudad de Lisboa, y obras modernas, de los últimos 20 años, como los túneles de Trofa, Pragal y Espinho.

En el capítulo siguiente, se presentan los *Túneles Carreteros o Viales*, divididos en obras realizadas en el *Continente* y *Túneles en la Isla de Madeira*, ya que esta pequeña isla montañosa mereció un tratamiento especial debido a la inusitada cantidad de túneles que posee.

Túneles Viales en el Continente

Con la entrada de Portugal a la Comunidad Económica Europea en la década del 80 se procedió a la concreción del *Plano Rodoviário Nacional*. La construcción de carreteras bajo parámetros de seguridad y confort más exigentes, atravesando zonas de orografía accidentada, con fuertes condicionantes ambientales y urbanos, potenció la adopción de soluciones subterráneas.

Actualmente se encuentran en servicio en la Red Nacional 35 túneles que corresponden a 12,8 km de carretera, de los cuales 16 se encuentran integrados en la Red Vial Transeuropea. De este conjunto de infraestructuras, 91% de los túneles son del tipo unidireccional, o sea constan de 2 galerías, duplicando así la longitud excavada. Relativamente al método constructivo utilizado, 14 túneles fueron construidos con el método convencional, representando un total de 13,5 km de galerías construidas, en unos 70 km de carretera (Monteiro, B. Livro de Túneis em Portugal).

Túneles viales en la Isla de Madeira

La Isla de Madeira es la mayor isla y la más poblada del archipiélago de Madeira, región Autónoma de Portugal. Tiene una superficie de 740 km², y la población, de unos 250 mil habitantes está concentrada en un tercio del territorio. De allí la necesidad de dotarla de infraestructura vial moderna. Durante los últimos 20 años fueron invertidos más de 2.000 M€ con este fin. Actualmente la red vial fundamental de la isla tiene unos 200 km, de los cuales 85 km son túneles de dos, tres y cuatro vías. En total fueron construidos más de 150 túneles viales en ese período, agregando unos 100 km de túneles a todo el sistema vial moderno. Los túneles viales en la isla de Madeira pueden clasificarse en: túneles antiguos y túneles modernos o recientes.

Los túneles *antiguos* fueron construidos a partir de la década del 40, con el objetivo de dotar de conexiones viales a poblaciones dispersas en un territorio montañoso. La mayoría de los túneles antiguos (llamados "furados" localmente) fueron ejecutados entre los años 50 y 60, hasta los 80 (Mateus de Brito, A. et al, Livro de Túneis em Portugal).

Los túneles *viales recientes* fueron construidos durante las últimas dos décadas agregando una longitud total de unos 150 km de túneles al sistema vial. Son 6 las obras presentadas: Túnel da Pontinha, de Santa Cruz Este y Oeste, de Faial Cortado, Duplo de Caniçal, Acesso Oeste al Puerto de Funchal, Madalena do Mar.

Los *Túneles Urbanos* merecieron un capítulo especial debido a los condicionamientos e impactos que los caracterizan. Incluimos la bellísima historia del Túnel de la Ribeira de la ciudad de Oporto, construido en los inicios del siglo XX y, en contrapunto, dos obras modernas realizadas en la ciudad de Lisboa: Túnel de Benfica y túnel del Marqués. Muy importante



Figura 3. Túnel de Gardunha.

nos pareció también, el túnel de saneamiento de la costa de Estoril, obra “escondida” a los ojos de los contribuyentes con un gran impacto en la calidad de vida de esta área del gran Lisboa.

Capítulo aparte se reservó para las obras subterráneas urbanas de los *Metropolitanos* de Lisboa y Oporto, historia, túneles de vía, estaciones, accesos, presentados con el mejor detalle posible, figuras, imágenes 3D, fotografías, de dos emprendimientos de gran dimensión con consecuencias valiosísimas en la modernización de estas ciudades.

Los *Túneles Hidráulicos*, como los acueductos, se cuentan entre las obras civiles más antiguas de las sociedades organizadas. Incluimos algunos túneles de conexión entre reservorios de presas e incorporamos un capítulo histórico sobre galerías hidráulicas incluidas en el sistema de trasmisión de agua de la Isla de Madeira.



Figura 4. Túnel Mato Forte.



Figura 5. Túneles antiguos de Madeira.



Figura 6. Túnel Vale Ribeira de Santa Luzia.



Figura 7. Túnel Nuevo Acceso al Puerto de Funchal.



Figuras 8. Túnel Ribeira do Porto.



Figura 11. Metro de Lisboa.



Figura 9. Túnel Benfica, CRIL.



Figuras 10. Metro de Lisboa.



Figura 12. Metro do Porto.



Figuras 13. Túnel Odelouca-Funcho.

Finalmente, incluimos una extensa descripción de las obras subterráneas asociadas a *Aprovechamientos Hidroeléctricos*, elementos estructurales esenciales de la producción energética.

El primer AH con circuito hidráulico totalmente subterráneo y central en caverna fue Salamonde (I) inaugurado en 1953. A partir de allí y hasta 1965 se construyeron varios AH del tipo: Caniçada, Picote, Miranda, Alto Rabagão, Bemposta y Vilar Tabuaço. En 1992 entró en operación el AH de Alto Lindoso, considerado un marco en la ingeniería portuguesa dada su complejidad y las dimensiones de las excavaciones subterráneas. Por la primera vez se utilizó en el país la técnica mecanizada de raise-boring para la abertura de pozos.

El próximo AH con central en caverna fue Venda Nova II, central de Frades, construido al final de los 90. A partir del nuevo milenio fueron construidos otros nueve AH con circuitos subterráneos: Picote II, Bemposta II, Alqueva II, Baixo Sabor – Escalão de Montante, Baixo Sabor – Escalão de Jusante, Venda Nova III, Salamonde II, Ribeiradio e Foz Tua, de los cuales tres poseen centrales en caverna: Picote II, Venda Nova III e Salamonde II.

Todos estos grandes proyectos constituyen hitos referenciales de la ingeniería portuguesa en general y del grupo EDP (Energías de Portugal) en particular.



Figura 14. Túnel Loureiro-Alvito.



Figura 15. Central de Alto Lindoso.



Figuras 16. Central de Frades.

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. En el caso que el idioma del trabajo sea español, se debe incorporar, en forma consecutiva, el "Resumen" de hasta 250 palabras, las "Palabras clave" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Abstract" y las correspondientes "Keywords". A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- En el caso que el idioma del trabajo sea inglés, la primera sección será el "Abstract" de hasta 250 palabras, seguido de las "Keywords" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Resumen" y las correspondientes "Palabras clave" en español. A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- En el caso que el idioma del trabajo sea portugués, la primera sección será el "Resumo" de hasta 200 palabras, seguido de las "Palavras chave" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Abstract" y las correspondientes "Keywords" en inglés. A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- Todo el texto deberá estar escrito en letra Times New Roman punto 12 a interlineado sencillo, con sangría de un centímetro y sin doble espacio entre párrafos. Se conservarán

los tipos de letra 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 01-04-2015):

Para Argentina: Gastos de envío incluidos.

- Compra de número vigente: **480** Pesos
- Compra de número atrasado: **420** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **210** Pesos por artículo

Para el exterior: Gastos de envío no incluidos.

- Compra de número vigente: **55** Dólares
- Compra de número atrasado: **45** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **25** Dólares por artículo

PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 01-04-2015):

Para Argentina: Gastos de envío incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **600** Pesos, en formato electrónico, y **800** Pesos en edición papel
- Suscripción Instituciones: **2400 / 3200** Pesos
- Compra de número atrasado: **420** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **210** Pesos por artículo

Para el exterior: Gastos de envío no incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **67** Dólares, en formato electrónico, y **89** Dólares en edición papel
- Suscripción Instituciones: **268/356** Dólares
- Compra de número atrasado: **45** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **25** 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. 2016
Printed in Argentina

Se terminó de imprimir en Julio de 2016