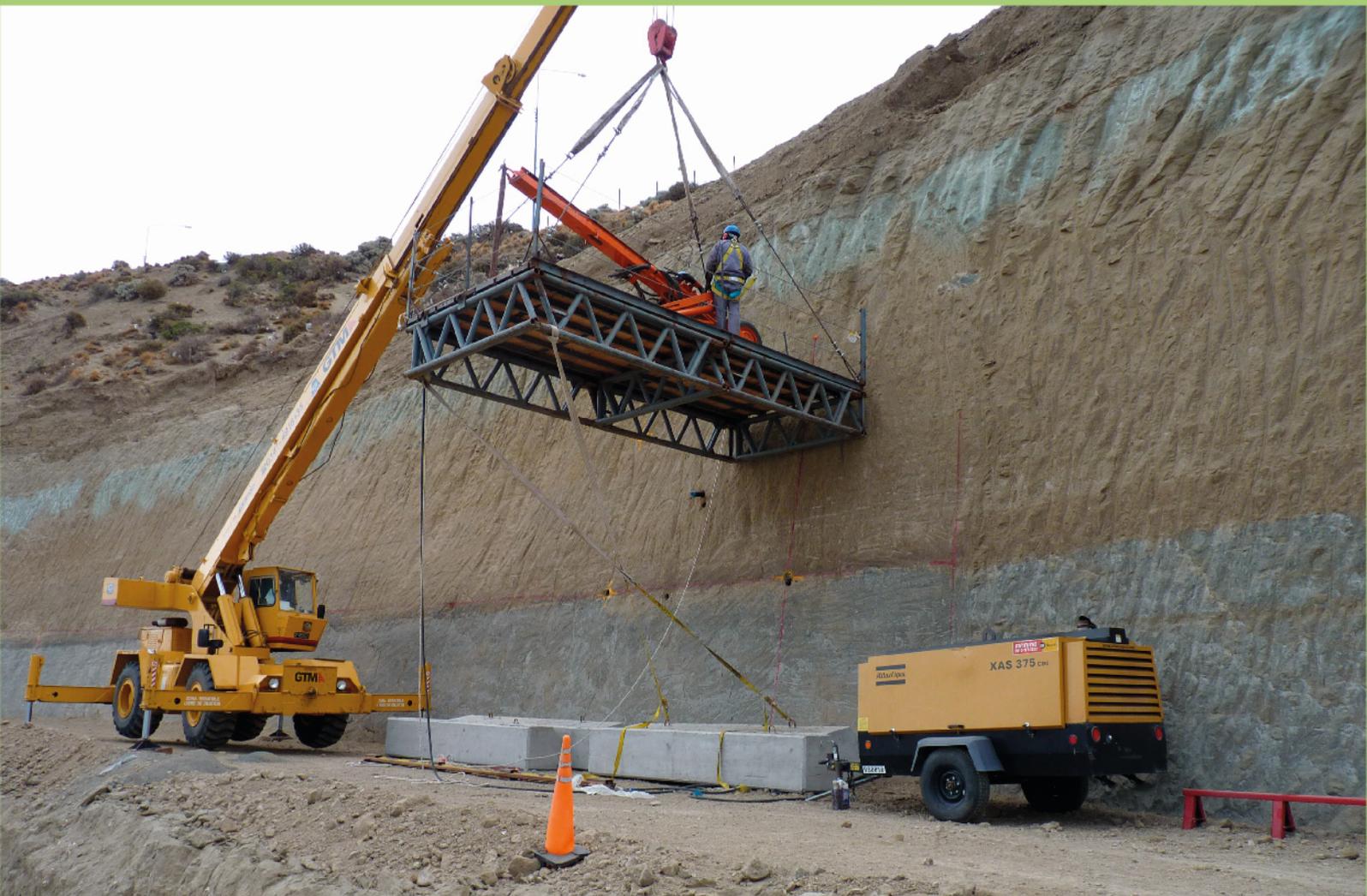


Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



ASAGAI
ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

Córdoba - Argentina

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Publicación Oficial de



Número 43 • 2019

ISSN 2422-5703 (En línea)

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

Editada en la Ciudad de Córdoba - Argentina



EDITOR JEFE

MSc Geólogo Norberto Jorge Bejerman

UCIS Consultores
editor@editoresasagai.org.ar

EDITORA ASOCIADA

Dra. Marcela Perez

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Argentina
maperez@fich.unl.edu.ar

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Carlos Costa

Departamento de Geología
Universidad Nacional de San Luis
Argentina
costa@unsl.edu.ar

Dr. Julio Luis del Río

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

Lic. Luis Mario Giaconi

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

Prof. Dr. Luis I. Gonzalez de Vallejo

Departamento de Geodinámica
Universidad Complutense de Madrid
España
vallejo@geo.ucm.es

Prof. Dr. Helder Iglésias Chaminé

Departamento de Engenharia Geotécnica
Politécnico do Porto
Portugal
hic@isep.ipp.pt

SECRETARIA

Dra. María Paula Bunicontro

IGEBA (CONICET-UBA)
Argentina
secretaria@editoresasagai.org.ar

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Encargada de Diseño

Paula Paredes
paulaparedes13@gmail.com

Webmaster

Guillermo Saint
saintdisegno@gmail.com

Dr. Clemente Irigaray Fernández

Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Granada
España
clemente@ugr.es

Prof. Dra. Malva Andrea Mancuso

Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental
Universidade Federal de Santa Maria
Brasil
malvamancuso@ufsm.br

Dra. Ofelia Tujchneider

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

Dr. Marcelo E. Zeballos

Área de Geotecnia
Departamento de Construcciones Civiles
Universidad Nacional de Córdoba
Argentina
marcelo.zeballos@unc.edu.ar

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

COMISIÓN DIRECTIVA 2018 - 2022

PRESIDENTE	<i>Fabio Sergio Luna</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Julia Löffler</i>
SECRETARIO	<i>Norberto Jorge Bejerman</i>
TESORERO	<i>Alejandro Emmanuel Celli</i>
VOCAL TITULAR	<i>Cristian Elías Cocchiarale</i>
VOCAL TITULAR	<i>María Victoria Altinier</i>
VOCAL TITULAR	<i>Rubén Alvaro López</i>
REVISORA DE CUENTAS TITULAR	<i>Cristina Dapeña</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>José Gabriel Salminci</i>
REVISORA DE CUENTAS SUPLENTE	<i>María Beatriz Ponce</i>

Maipú 645, Piso 1º - 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
Calidad química de los recursos hídricos subterráneos en las cuencas de la falda oriental y norte de la sierra de Ancasti, Catamarca, Argentina	<i>Segura, Luis - Saracho, Marta - Lobo, Patricia - Leguizamón, Mario</i>	1
Peligro de Erosión hídrica costera en el balneario Monte Hermoso, Buenos Aires, Argentina	<i>Albouy, René - Di Martino, Claudina - Berezosky, Juan José - Ruffo, Andrés Gabriel - Marcos, Angel</i>	17
Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca. Relación del grado de deterioro con el comportamiento hidrodinámico de la zona no saturada	<i>Pérez Marfil, Paula - Scherger, Leonardo - Priano, Carla - Lescano, Leticia - Pera Vallejos, Guillermo - Lafont, Daniela - Lexow, Claudio - Marfil, Silvina</i>	27
Soluciones estructurales de bajo impacto ambiental utilizando gaviones para la disminución del riesgo de inundaciones en una cuenca urbana. Aplicación en la cuenca del Ramal H, Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina	<i>Giaconi, Luis Mario - Giaconi, Mario Nicolás - Coelho Dos Santos, Gabriela - Tear, María Florencia</i>	39
La técnica del cociente espectral H/V como herramienta para la determinación de estructuras ciegas. Un caso de estudio en la ciudad de Mendoza, Argentina	<i>Giolo, Emilce - Calderón, Francisco - Pagano, Sebastián - Vía Gatica, Sebastián - Frau, Carlos</i>	55
Directrices para autores		69
Formulario de suscripción o compra		73

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.

Legenda 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 73 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 its use in an 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 73 an application form to be fulfilled and sent to the Editor is available.



Calidad química de los recursos hídricos subterráneos en las cuencas de la falda oriental y norte de la sierra de Ancasti, Catamarca, Argentina

Chemical quality of water resources underground in the basins of the eastern and north falda of the sierra de Ancasti, Catamarca, Argentina

Segura, Luis ^{1,2} ✉ - Saracho, Marta ^{2,3} - Lobo, Patricia ^{2,4} - Leguizamón, Mario ³

Recibido: 17 de agosto de 2018 • Aceptado: 27 de junio de 2019

Resumen

Conocer y evaluar el estado y dinámica del recurso hídrico, constituye el insumo básico de todo proceso de planeamiento y gestión. El agua subterránea es una importante fuente de abastecimiento para consumo humano pero en algunos casos presenta escasa aptitud debido a elevadas concentraciones de sales disueltas, arsénico y fluoruro. En la provincia de Catamarca no se dispone de suficiente información sobre la calidad del agua subterránea utilizada para consumo de la población en las cuencas de la Falda Oriental y Norte del Ancasti. El objetivo es evaluar la calidad química de los recursos hídricos subterráneos, en las cuencas de la Falda Oriental y Norte de la Sierra de Ancasti: departamentos La Paz y Santa Rosa, Catamarca, Argentina a fin de seleccionar áreas críticas que orienten en la toma de decisiones para mejorar el acceso de la población al agua potable. Se utilizaron técnicas normalizadas para determinar conductividad eléctrica, concentraciones del ion sulfato y componentes minoritarios: arsénico y fluoruro. Se utilizó el software ARGIS generando diferentes capas de información raster. Fue monitoreada la calidad de 42 fuentes de agua subterránea destinada al consumo humano. Mediante la aplicación de un SIG se obtuvieron áreas geográficas estratificadas en categorías de acuerdo a los estándares de calidad para consumo humano según las concentraciones de arsénico, fluoruro, sulfato y valores de conductividad. El agua de mayor mineralización y con concentraciones de arsénico que superan los límites aceptados para consumo humano corresponde a perforaciones ubicadas en el departamento La Paz, siendo el problema de la calidad hidroquímica más atenuado en el departamento Santa Rosa.

Palabras Clave: *Calidad agua subterránea, Falda Oriental y Norte del Ancasti; Catamarca, Argentina.*

1. Facultad de Humanidades. UNCa.

2. Subsecretaría de Planificación de los Recursos Hídricos. MOP.

3. Facultad de Ciencia Exactas y Naturales. UNCa.

4. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. UNCa. Catamarca. Argentina

✉ geosegura_luis@yahoo.com.ar

Abstract

Knowing and evaluating the state and dynamics of water resources, is the basic input of any planning and management process. Groundwater is an important source of supply for

human consumption but in some cases it has poor aptitude due to high concentrations of dissolved salts, arsenic and fluoride. In the province of Catamarca there is not enough information available on the quality of the groundwater used for consumption of the population in the basins of La Falda Oriental and Norte del Ancasti. The objective is to evaluate the chemical quality of underground water resources, in the basins of La Falda Oriental and Norte de la Sierra de Ancasti: La Paz and Santa Rosa departments, Catamarca, Argentina in order to select critical areas that guide decision-making to improve the population's access to drinking water. Standardized techniques were used to determine electrical conductivity, sulfate ion concentrations and minor components: arsenic and fluoride. The ARGIS software was used generating different layers of raster information. The quality of 42 groundwater sources for human consumption was monitored. Through the application of a GIS, geographical areas stratified into categories according to quality standards for human consumption were obtained according to the concentrations of arsenic, fluoride, sulfate and conductivity values. The water of greater mineralization and with concentrations of arsenic that exceed the accepted limits for human consumption corresponds to perforations located in the La Paz department, being the problem of hydrochemical quality more attenuated in the Santa Rosa department.

Keywords: *Groundwater quality, Eastern Skirt and North Ancasti; Catamarca, Argentina.*

INTRODUCCIÓN

Conocer y evaluar el estado y dinámica del recurso hídrico con precisión, constituye el insumo básico de todo proceso de planeamiento y gestión (COHIFE, 2003). El agua subterránea es una importante fuente de abastecimiento para consumo humano pero en la mayoría de los casos presenta escasa aptitud debido fundamentalmente a elevadas concentraciones de sales disueltas, arsénico y fluoruro, lo que constituye un riesgo para la salud de población que la consumen. Desde hace algunos años se viene realizando el control de la calidad de agua subterránea sobre diferentes cuencas hidrográficas de la provincia de Catamarca, Argentina, pero particularmente no se dispone de suficiente información sobre la calidad química del agua subterránea de las cuencas de la Falda Oriental y Norte del Ancasti, en especial de perforaciones utilizadas para consumo de la población. Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación "Determinación de zonas de riesgo por contaminantes naturales en agua de consumo, en localidades de las cuencas hidrográficas del Salar de Pipanaco y Falda Oriental del Ancasti, Catamarca, Argentina." El objetivo es evaluar la calidad química de los recursos hídricos subterráneos, en las cuencas de la Falda Oriental y Norte de la Sierra de Ancasti: departamentos La Paz y Santa Rosa, Catamarca, Argentina, a fin de seleccionar áreas críticas que orienten en la toma de decisiones para mejorar el acceso de la población al agua potable. La región investigada comprende dos sectores: la cuenca del norte de la Sierra de Ancasti que drena la superficie correspondiente al departamento Santa Rosa (alimentando los acuíferos de la zona) y que forma parte de la cuenca hídrica de río Salí-Dulce. La cuenca del este de la Sierra de Ancasti (Falda Oriental del Ancasti) cuyos ríos, en su tránsito superficial hacia las Salinas Grandes –nivel de base local– aportan agua por infiltración a los acuíferos del departamento La Paz. En la Figura 1 se muestra el área de estudio.

La zona en estudio está inserta en la provincia geológica de las Sierras Pampeanas Orientales. Se reconocen tres grupos de terrenos: rocas del Basamento Cristalino con porosidad y permeabilidad secundaria por fracturación. Estas rocas compuestas de esquistos y gneis de origen metamórfico y granitos y granodioritas de origen ígneo se consideran no acuíferas constituyendo el basamento hidrogeológico de la cuenca de agua subterránea. Suprayacendo al basamento cristalino se han identificado rocas sedimentarias del Terciario (Mioceno) con reducida permeabilidad

y con elevado contenido de yeso y otras sales que contribuyen a la mineralización y desmejoramiento natural de la calidad química del agua para diversos usos. El tercer grupo de terreno constituido por rocas y sedimentos del Terciario (Plioceno) litológicamente representado por areniscas, limolitas, intercalaciones de yeso en forma de bochas y concreciones, arcillitas verdes a rosadas, y sedimentos del Cuaternario, porosos y permeables, de origen aluvial y eólico cuya conformación litológica está constituida por arenas de diferentes granulometrías y limos. Este grupo presenta las mejores condiciones hidráulicas para almacenar y conducir agua, constituyendo los principales acuíferos del área de estudio (INA-CRAS, 2014). El análisis de los perfiles integrales de las perforaciones en explotación del agua subterránea, situadas en el área investigada y utilizadas para diferentes usos, particularmente para el abastecimiento de agua potable a las poblaciones locales, muestra horizontes acuíferos interstratificados en sedimentos pertenecientes al tercer grupo de terrenos y que corresponden al Plioceno y Cuaternario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se monitoreó la calidad de cuarenta y dos (42) fuentes de agua subterránea destinadas al consumo humano ubicadas en el área de estudio: diecisiete (17) perforaciones pertenecientes al departamento Santa Rosa y veintitrés (23) perforaciones y dos (2) pozos cavados (Las Peñas y Babiano) del departamento La Paz.

El muestreo fue realizado con una frecuencia cuatrimestral durante el período 2016-2018. Se utilizaron técnicas normalizadas (APHA, AWWA, WEF; 2005) para determinar los valores de conductividad, concentraciones de los iones minoritarios: arsénico y fluoruro y del ion mayoritario, sulfato. La concentración de arsénico total fue determinada por espectrometría de absorción atómica (3113 B), utilizando un equipo Perkin Elmer AA 400 con horno de grafito (HGA 900). Para determinar la concentración del ion fluoruro se aplicó la técnica del SPADNS (4500-F-) utilizando un espectrofotómetro marca HACH DR 6000, el ion sulfato fue analizado por gravimetría con combustión de residuos (4500-SO₄²⁻) y la conductividad (2510 B) con un equipo marca HACH HQ 14d.

Como instrumento de gestión se utilizó el software ARGIS generando diferentes capas de información raster tales como:

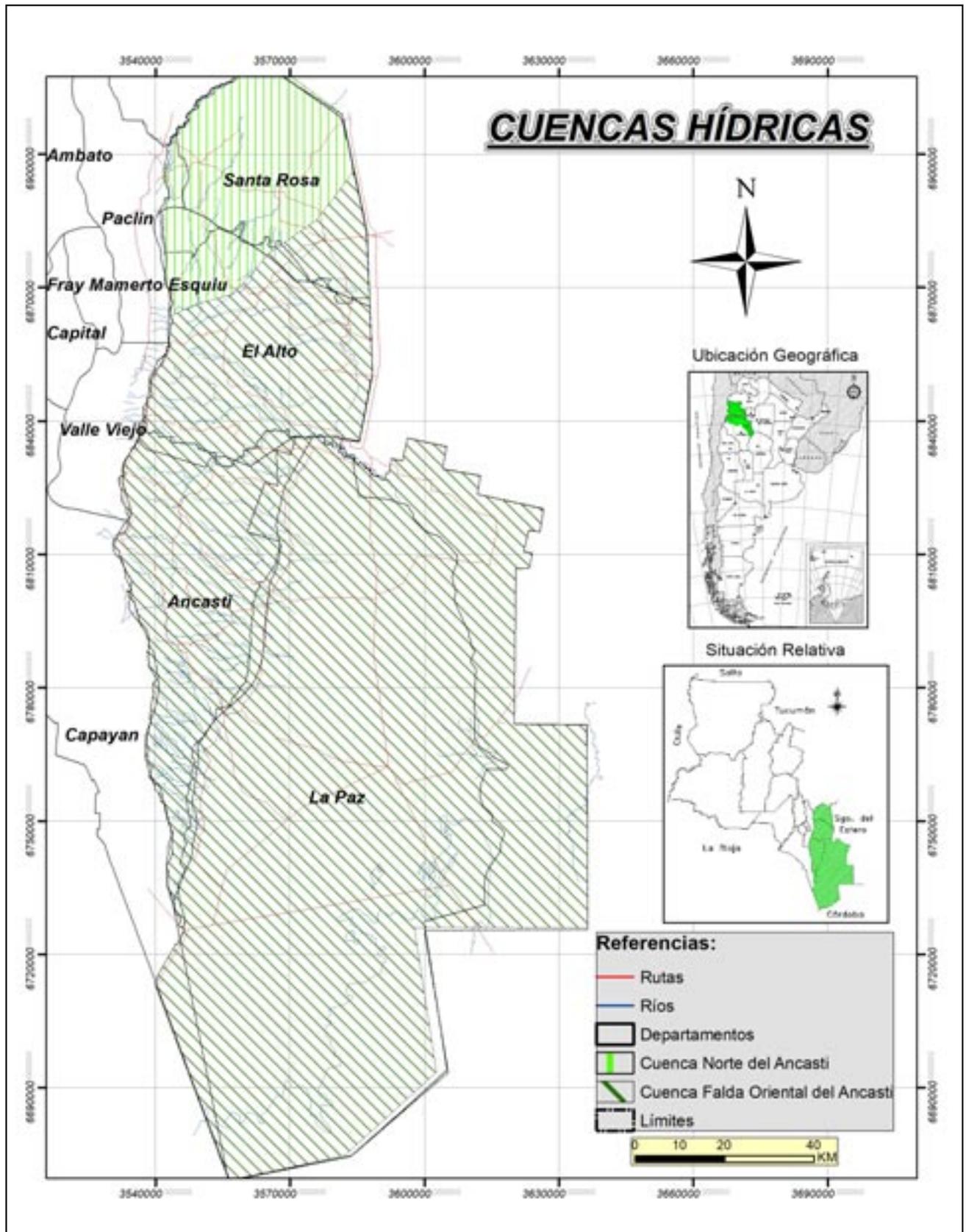


Figura 1. Cuencas hídricas de la Falda Oriental y Norte de la Sierra de Ancasti Departamentos La Paz y Santa Rosa, Catamarca, Argentina.



Figura 2. Ubicación de perforaciones monitoreadas departamento Santa Rosa.

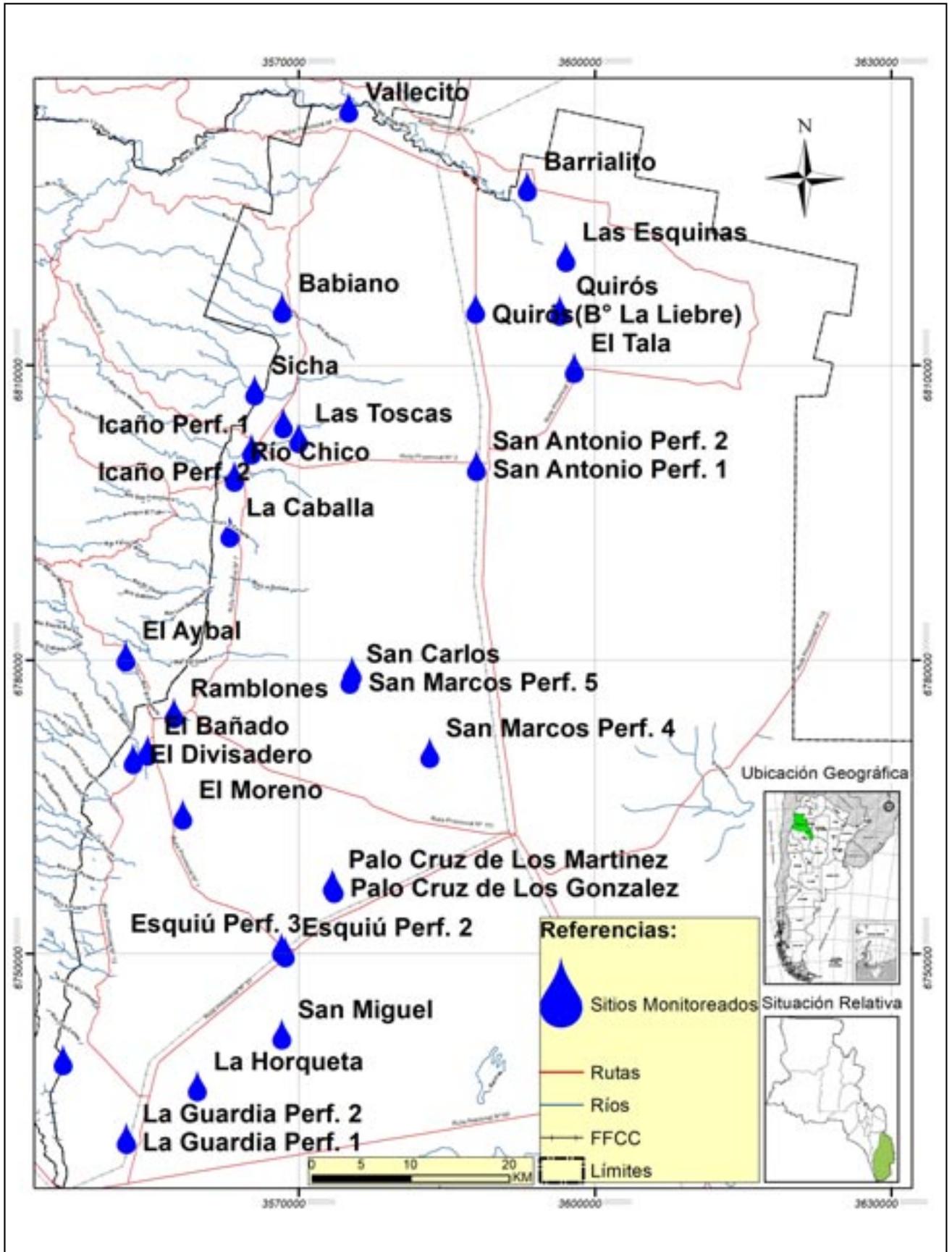


Figura 3. Ubicación de perforaciones monitoreadas en el departamento La Paz.

curvas de nivel topográfico, mapas de isopiezas, georeferenciación de las perforaciones utilizadas para consumo humano, conductividad, concentraciones de los iones fluoruro, arsénico y sulfato. Se consideraron los niveles piezométricos, determinados mediante piezómetros lumínicos y sonoros de 0,5 cm de apreciación, reportados por *INA-CRAS (2014)*, en el Estudio Hidrogeológico de las Cuencas de Santa Rosa y del Aconquija. Convenio INA-Gobierno de la Provincia de Catamarca.

Para evaluar la calidad química de los recursos hídricos subterráneos estudiados, los valores medios de los parámetros investigados fueron evaluados en función de las Guías para Calidad del Agua Potable de la OMS (*Organización Mundial de la Salud, 2006*) y de los Estándares de Calidad de Agua Potable fijados por el CAA (*Código Alimentario Argentino, 2007*).

La ubicación de las perforaciones de explotación de agua subterránea utilizadas para consumo humano en los departamentos Santa Rosa y La Paz, que se muestran en las Figuras 2 y 3, fue georeferenciada utilizando un equipo GPS marca Garmin (núv 42).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestran algunos de los mapas generados con el SIG. En las Figuras 4 y 5 se visualizan las concentraciones medias del ion fluoruro en las captaciones de agua subterránea utilizadas para consumo humano en los departamentos Santa Rosa y La Paz, respectivamente.

Como se observa en la Figura 4, la concentración media de fluoruro en las muestras analizadas, correspondiente a cuatro perforaciones ubicadas en el sector centro-sur del departamento Santa Rosa, excede el límite superior de 1,2 mg/l fijados por el CAA para una temperatura media anual de 19°C, mientras que el valor medio de este ión en 8 captaciones ubicadas en el área noreste es inferior al mínimo establecido por esta normativa para agua de consumo humano (0,7 mg/l) a la temperatura referenciada.

La Figura 5, correspondiente al departamento La Paz, muestra que en 6 de las 25 perforaciones estudiadas, ubicadas en las zonas oeste y centro norte (El Tala) el valor medio del fluoruro excede el límite superior fijados por el CAA, mientras que en 7 captaciones es inferior a la concentración mínima exigido por la normativa nacional.

En las Figuras 6 y 7 se observa la distribución espacial del ión arsénico en el agua de las perforaciones estudiadas, visualizando zonas estratificadas en cuatro rangos.

Con respecto al valor medio del ion arsénico, de las 42 perforaciones monitoreadas en el área de estudio, el 26,2 % se encuentran en el primer rango (<10 µg/l); el 40,4% corresponden al segundo rango (10-30) µg/l, y el 16,7% pertenecen al rango de 30-50 µg/l y mayor de 50 µg/l. Analizando esta problemática solo en el departamento La Paz y como se visualiza en la Figura 7 obtenida con el SIG, en el 80% de las perforaciones estudiadas, la concentración del ion As, supera los 10 µg/l, valor fijado por el CAA (2007) y cuya aplicación efectiva se encuentra prorrogada desde el año 2012.

En el departamento Santa Rosa, las concentraciones de arsénico en el 64,7% de las fuentes de agua subterráneas monitoreadas, ubicadas principalmente en los sectores norte, centro-oeste y sudeste, superan el valor de 10 µg/l, límite fijado por el CAA para agua potable en coincidencia con el Valor Guía de la OMS. Sólo en la perforación La Rinconada, el valor medio detectado es mayor a 50 µg/l. Las perforaciones donde la

concentración de arsénico se ajusta a las normativas de referencia están ubicadas en la zona de influencia de los ríos El Abra y Bañado de Ovanta, de bajos tenores de arsénico (<5 µg/l) y conductividad (445 µS/cm), cursos superficiales que nacen en las estribaciones más elevadas del sector noreste de la sierra El Alto-Ancasti y que discurren por la cuenca de Santa Rosa con rumbo sudoeste-noreste.

Los mapas obtenidos con el SIG de conductividad y concentraciones del ion sulfato obtenidas en el departamento Santa Rosa, se muestran en las Figuras 8 y 9.

Los niveles piezométricos en el departamento Santa Rosa varía entre 7m en la zona sudeste/norte y los 71 m en la zona centro de la cuenca (*INA-CRAS, 2014*). La conductividad eléctrica varía entre 563 µS/cm y 2320 µS/cm correspondiendo las de menor mineralización a las perforaciones ubicadas en el sector norte y centro.

El valor medio de la concentración del ión sulfato en el agua de las perforaciones ubicadas en El Abra, Monte Redondo y Quebrachito supera el límite tolerable para agua potable fijado por el CAA (400 mg/l). El promedio de la conductividad del agua en estas perforaciones coincide con el área de mayor mineralización (Figura 8). Si se tiene en cuenta lo recomendado por la OMS respecto al ion sulfato (200 mg/l), además de las perforaciones señaladas superan el valor guía, las concentraciones de SO_4^{2-} detectadas en las captaciones subterráneas ubicadas en Pozo del Bajo, Pozo del Campo y San Pedro. El agua con concentraciones de sulfato elevadas corresponde a perforaciones ubicadas en zonas próximas a sedimentos terciarios aflorantes y subaflorantes portadoras de yeso.

En las perforaciones de mineralización media, los valores promedios de STD en el agua analizada varían entre 282 mg/l (Cuchinoque) y 336 mg/l (Dos Pocitos). En el agua subterránea con mayor mineralización se detectó que los valores medios de STD fluctúan entre 554 mg/l (Bañado de Ovanta) y 1159mg/l (El Abra). La diferencia detectada se puede atribuir a la presencia, en la zona con agua subterránea de mayor salinidad, de sedimentos terciarios subaflorantes de la formación Guasayán que en su constitución litológica presenta horizontes con yeso. La lixiviación de este mineral por el flujo subterráneo de rumbo SO- NE incrementa la mineralización de los horizontes productivos próximos y explotados para agua potable. El agua de mejor calidad corresponde a perforaciones que captan acuíferos ubicados en sedimentos cuaternarios.

En las figuras 10 y 11 se muestran los mapas elaborados con el SIG para las variables conductividad y sulfato del agua en el departamento La Paz.

Los valores medios de conductividad permiten clasificar el agua con salinidad media a excepción de las perforaciones ubicadas en el sector Sur-Oeste del área de estudio de conductividad alta: La Horqueta, La Guardia, Las Peñas, San Miguel, Esquíú (Perf. N°2), Palo Cruz de los Martínez y El Tala (zona NE). La menor conductividad del agua subterránea explotada para consumo humano, en las perforaciones del sector N y NE, tales como El Barrialito, El Vallecito, Las Esquinas (ubicadas sobre el área de influencia del río Albigasta); Babiano (ubicada sobre las márgenes del río de nombre homónimo); El Divisadero y El Bañado (situada en la cuenca del río Los Bazanes), se puede atribuir a la influencia del recurso hídrico superficial. De igual manera la calidad del agua de Ramblones y El Aybal desde el punto de vista de la salinidad estaría influenciada por el aporte de pequeños arroyos que drenan la ladera oriental de la sierra de Ancasti.

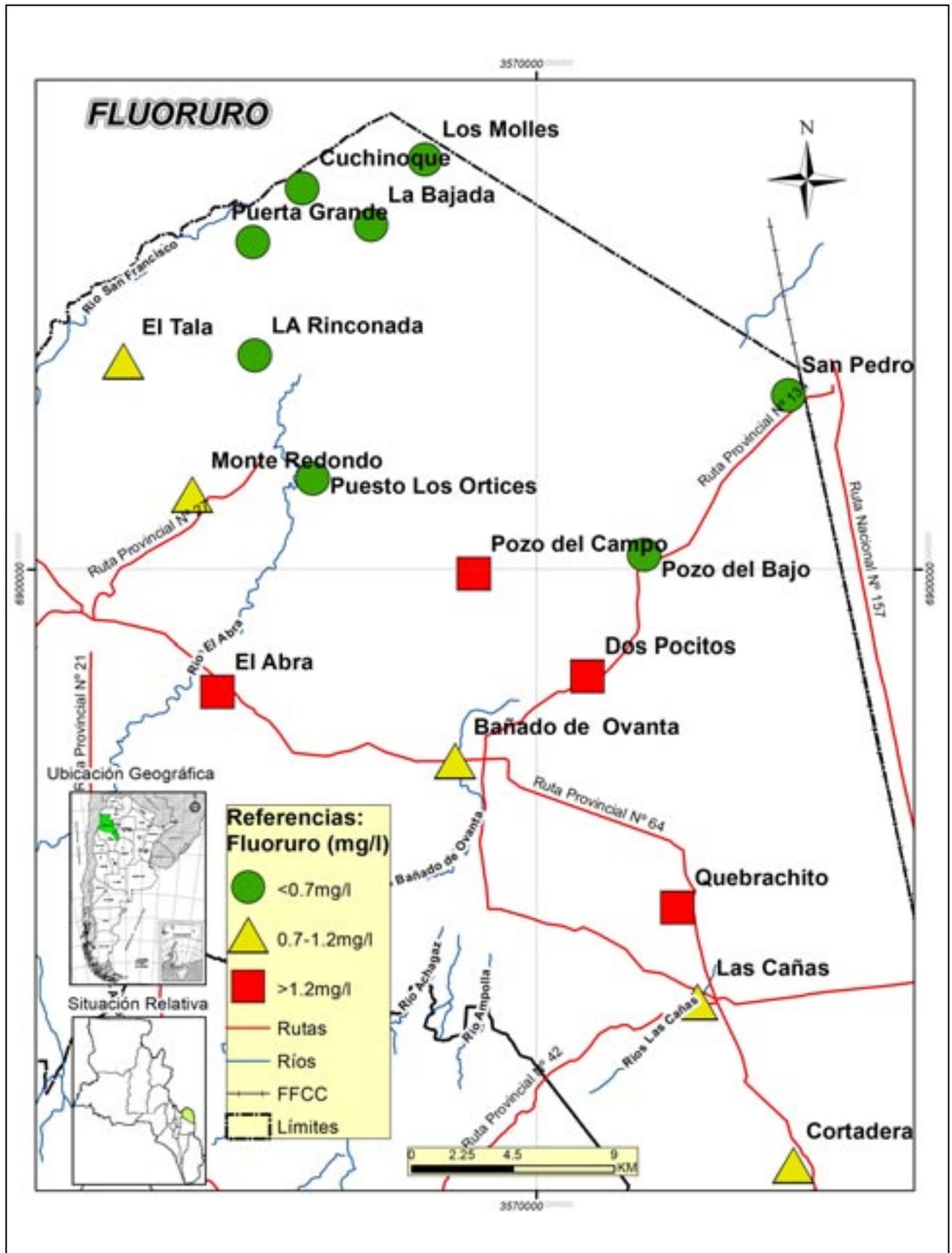


Figura 4. Concentración media de ion fluoruro en perforaciones monitoreadas del departamento Santa Rosa, Catamarca.

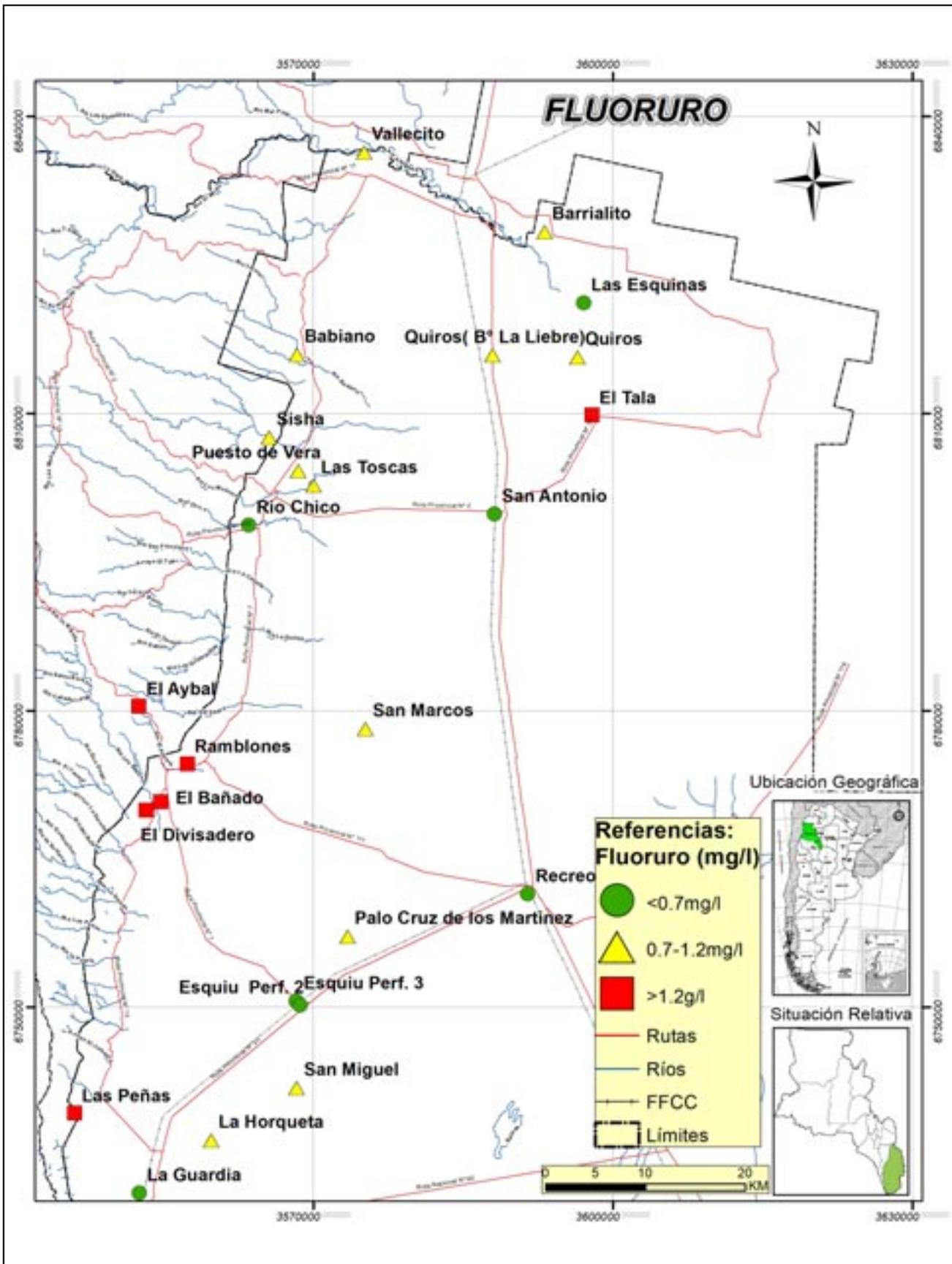


Figura 5. Concentración media de ion fluoruro en perforaciones monitoreadas del departamento La Paz, Catamarca.

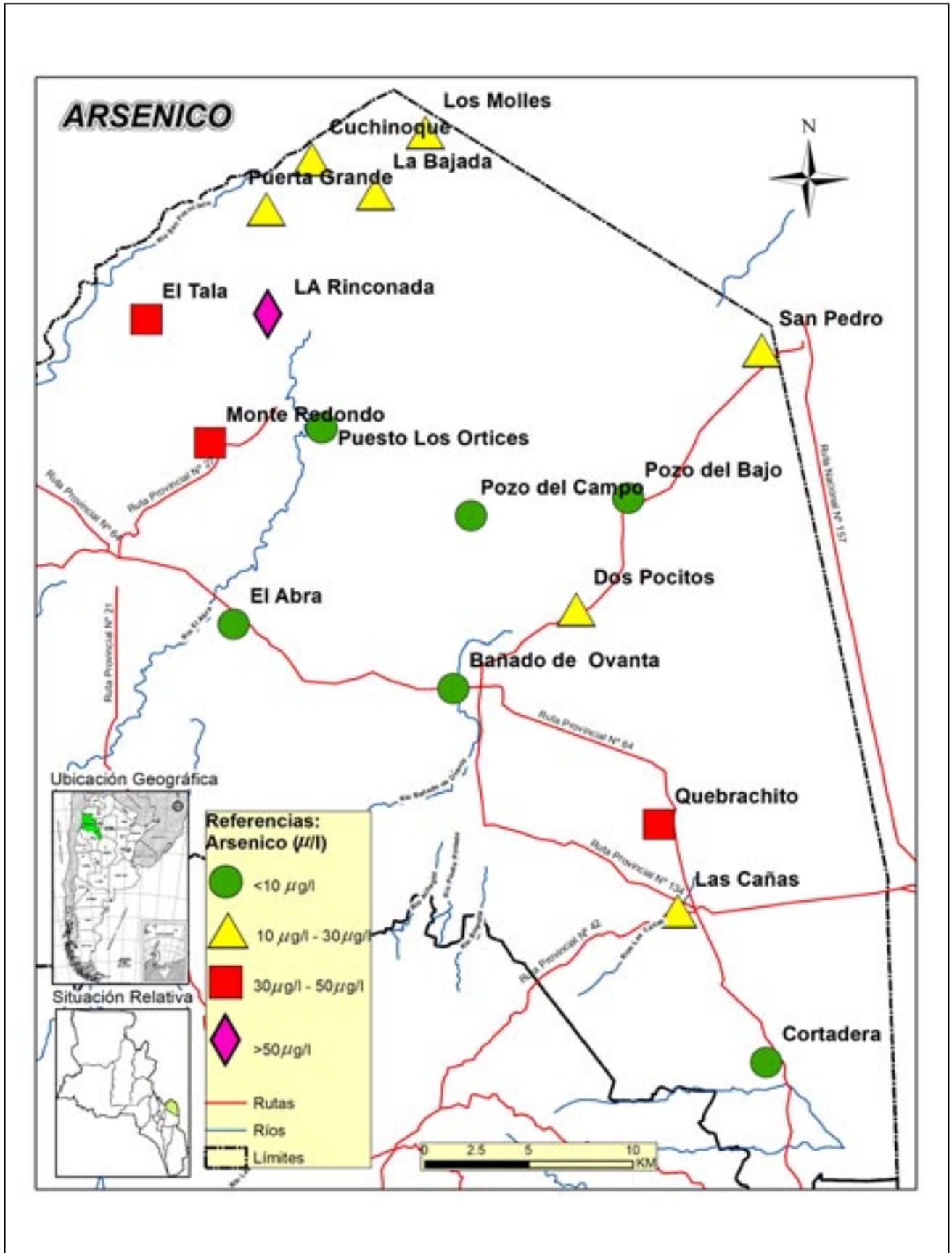


Figura 6. Concentración medias del ión Arsénico en las perforaciones monitoreadas del departamento Santa Rosa.

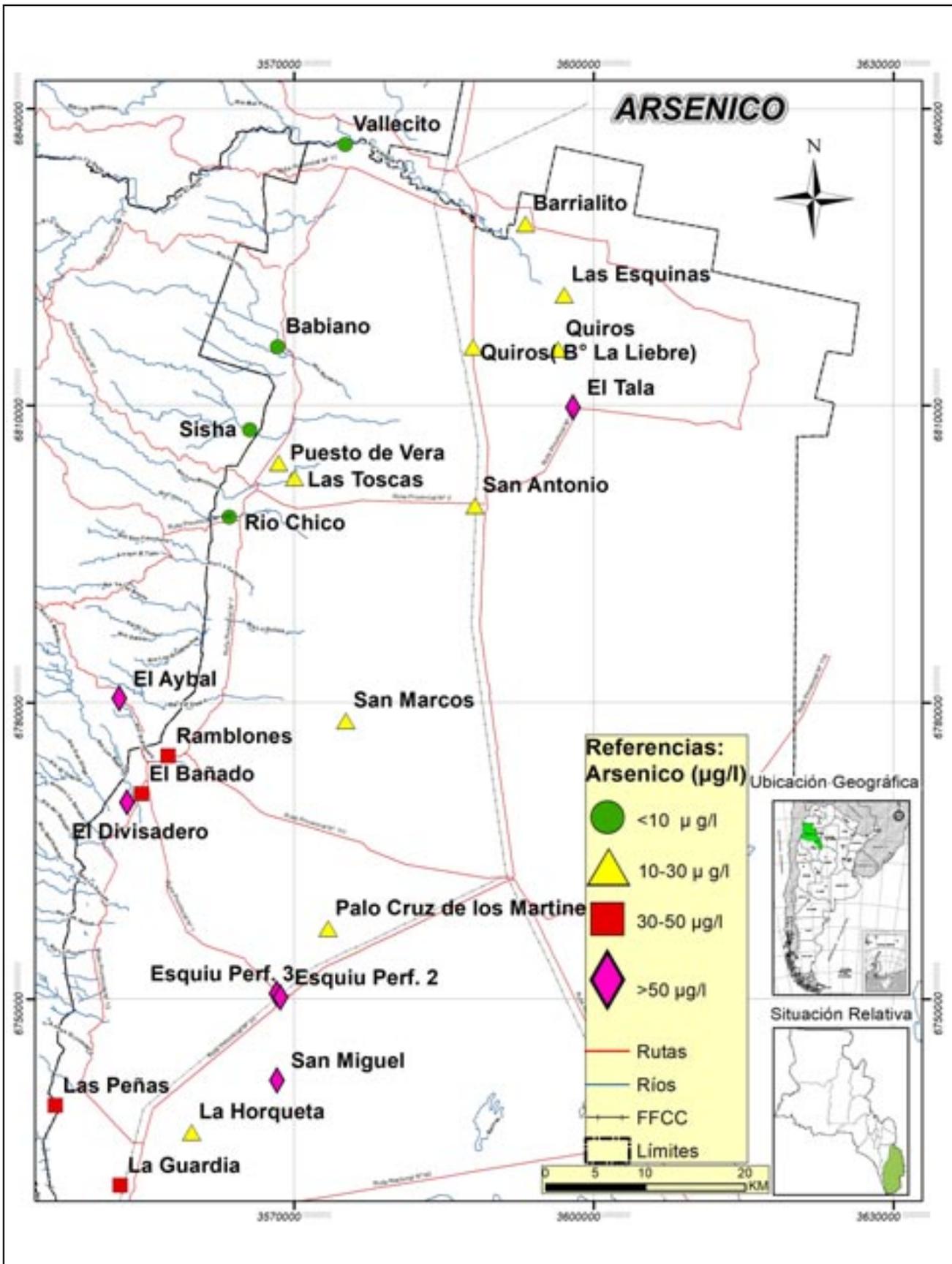


Figura 7. Concentración media del ión Arsénico en las perforaciones monitoreadas del departamento La Paz.

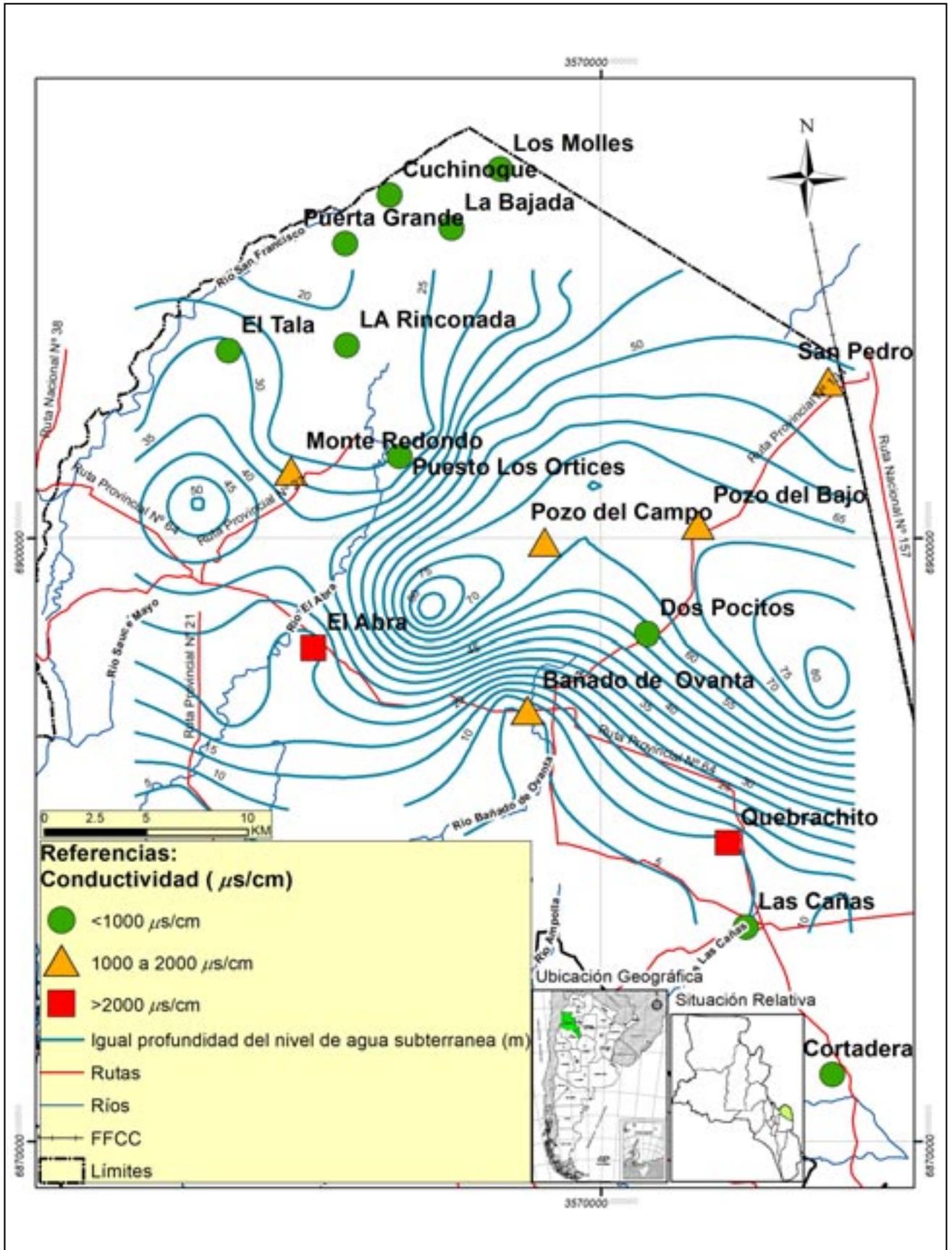


Figura 8. Rangos de conductividad. Departamento Santa Rosa. Catamarca.

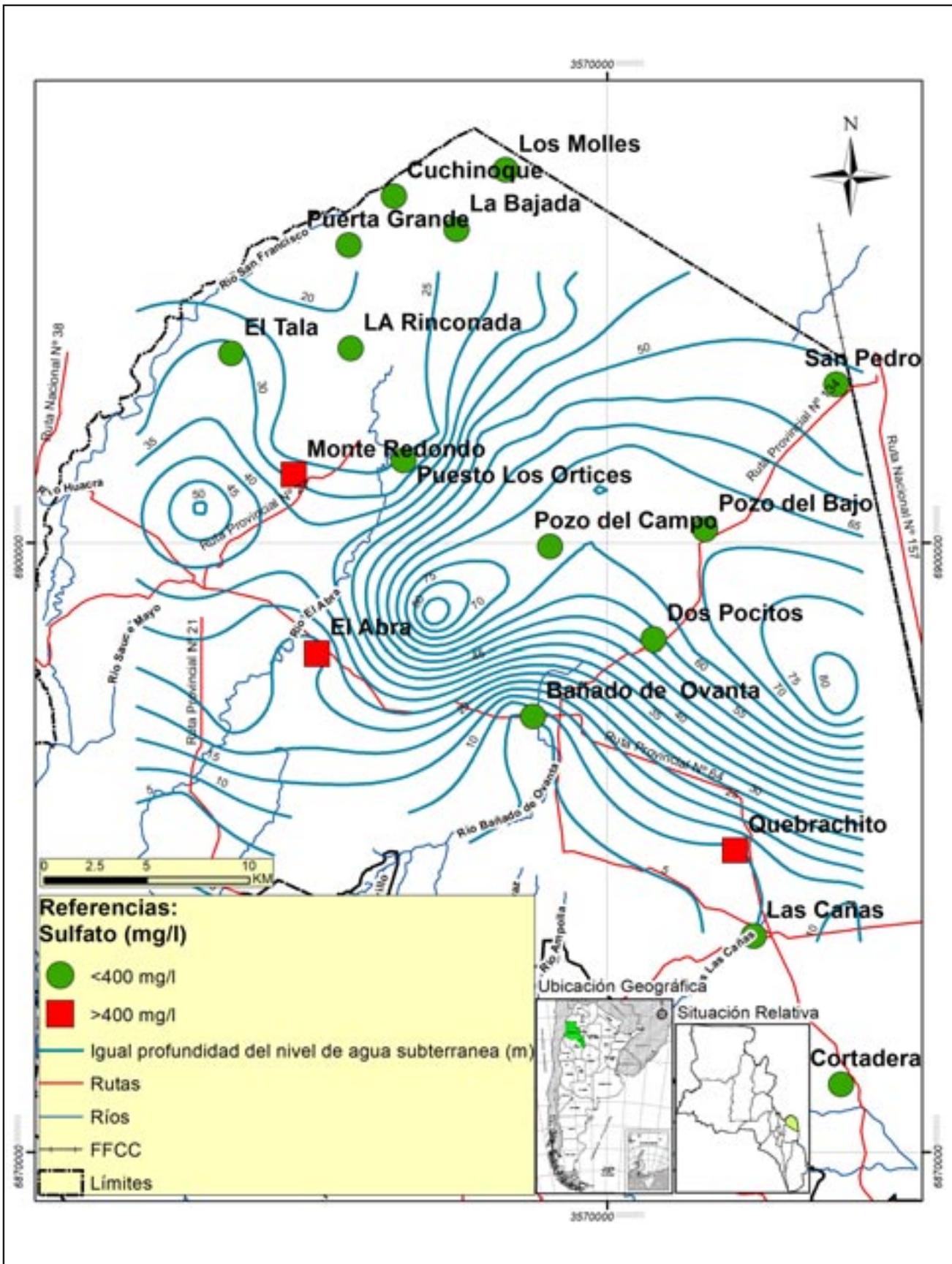


Figura 9. Rangos del ion sulfato. Departamento Santa Rosa. Catamarca.

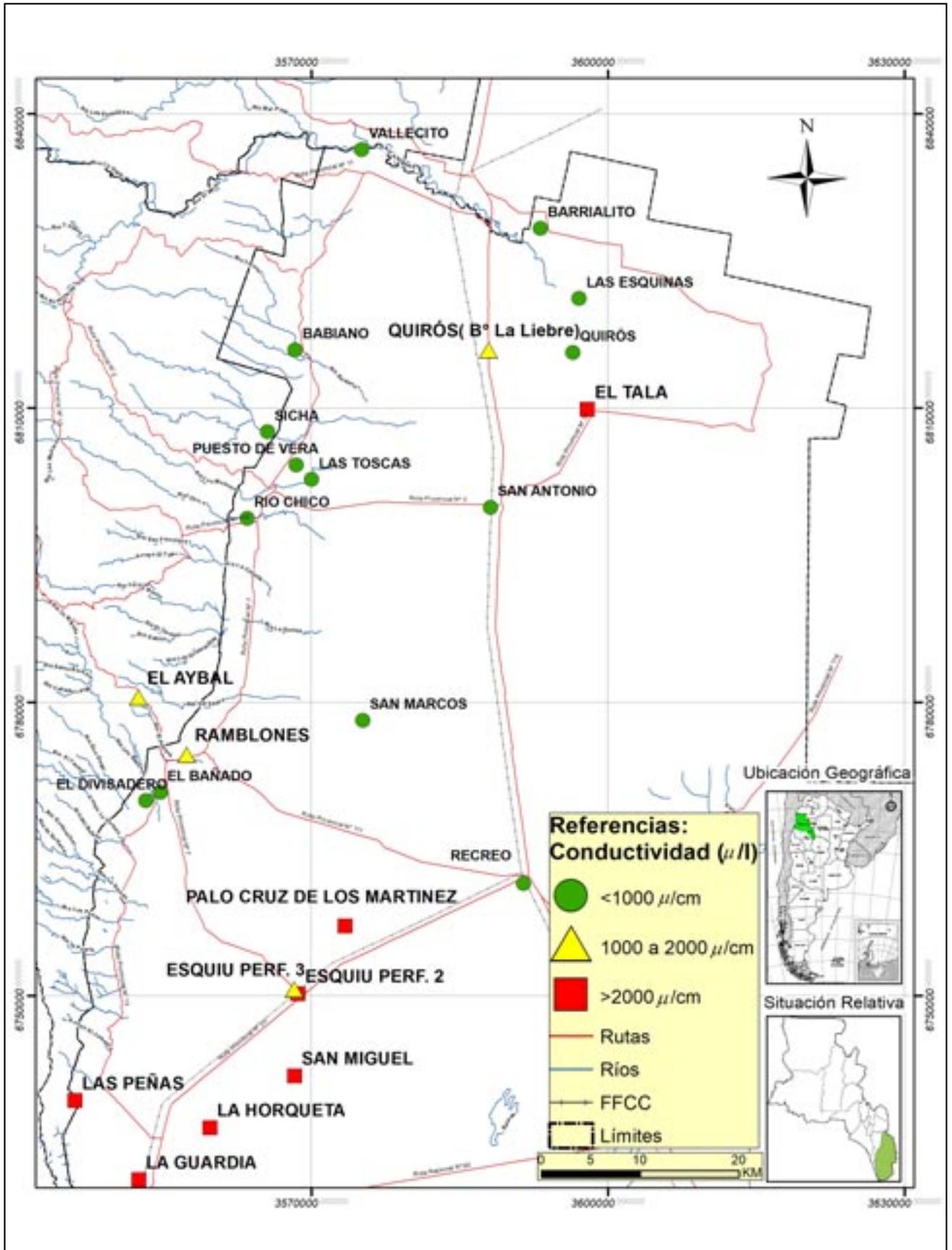


Figura 10. Rangos de conductividad. Departamento La Paz.

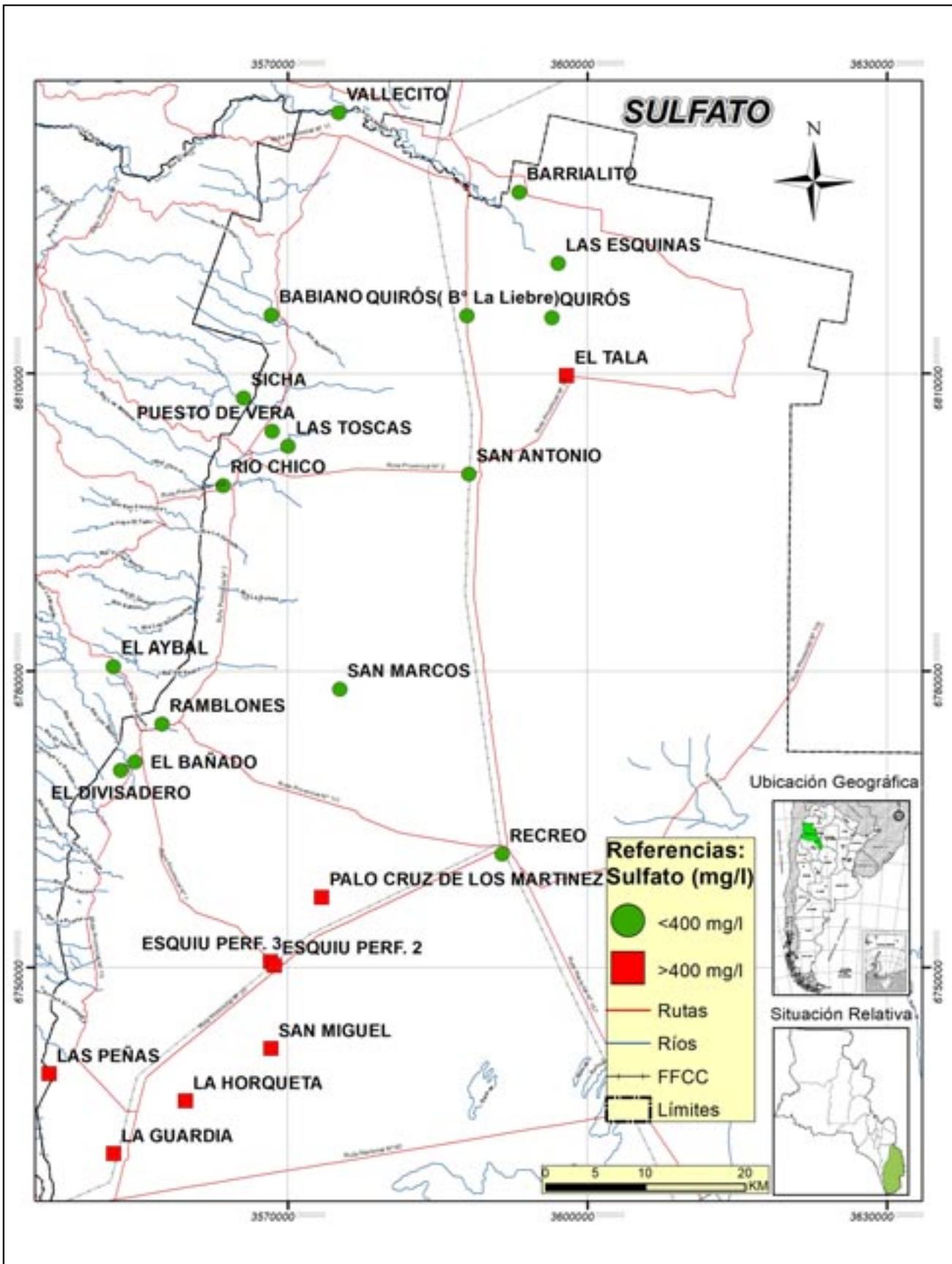


Figura 11. Rangos de sulfato. Departamento La Paz.

Los acuíferos del grupo de perforaciones ubicadas en las localidades de Esquiú, La Guardia y La Horqueta, más distantes de la sierra de Ancasti y de los cursos superficiales influentes, presentan salinidad más elevada en correspondencia con ambientes continentales de alta evaporación.

El valor medio del ion sulfato en el agua de las perforaciones ubicadas en la zona SO, de elevada mineralización, tales como La Guardia (588 mg/l); Esquiú (Perf. N° 2: 496 mg/l; Perf. N°3: 432 mg/l), La Horqueta (1367 mg/l), Palo Cruz de los Martínez (1593 mg/l), San Miguel (1593 mg/l) y El Tala (466 mg/l) perforación ubicada en la zona N, superan el límite tolerable fijado para este ion por el CAA que es 400 mg/l y el valor guía recomendado por la OMS, 250 mg/l y están asociados a los rangos de conductividad más elevados del área de estudio. La predominancia del ión sulfato en la composición iónica de esta agua es atribuible a la disolución de yeso presente en la litología de los horizontes productivos

REFERENCIAS FINALES

Mediante la aplicación del S.I.G. se obtuvieron áreas geográficas estratificadas en categorías de acuerdo a los estándares de calidad para consumo humano según las concentraciones de arsénico, fluoruro, sulfato y valores de conductividad.

El agua de mayor mineralización y con concentraciones de arsénico que superan los límites aceptados para consumo humano, corresponde a las perforaciones ubicadas en el departamento La Paz. La calidad química del agua en este departamento se ajusta a las exigencias del CAA en el área norte y noroeste, desviándose de esta normativa en el sector suroeste y en una perforación ubicada al noreste, área crítica de la zona de estudio, lo que condiciona su uso para consumo humano sin tratamientos adicionales. El elevado contenido de yeso y otras sales en los horizontes explotados contribuyen a la mineralización y deterioramiento de la calidad química del agua para abastecimiento de la población.

En el departamento Santa Rosa, el agua de mayor contenido salino se encuentra en las perforaciones ubicadas en los sectores sur y centro, coincidente con concentraciones del ión sulfato superior al límite tolerable fijado por el CAA. Las concentraciones

de arsénico exceden el valor guía de la OMS en el sector noroeste y particularmente en una perforación ubicada en el sector centro oeste. En el sector centro sur se ubican las perforaciones donde la concentración media del ion fluoruro excede el límite superior fijados por la normativa nacional de acuerdo a la temperatura media anual de la zona.

La dirección del flujo subterráneo en el departamento Santa Rosa es SO-NE, localizándose la zona de mayor desarrollo de acuíferos explotables en el centro geográfico de la cuenca, mientras que en el departamento La Paz, la zona de mayor profundidad del agua subterránea se localiza en la franja centro-oeste del departamento con una dirección del flujo subterráneo NO-SE.

El análisis realizado es necesario a fin de estudiar desde un punto de vista holístico la gestión del agua subterránea en zonas con concentraciones de elementos químicos en niveles nocivos para la salud humana. Esto permite la actualización permanente de la información y el respaldo técnico a los gestores de áreas críticas para la aplicación de tecnologías de remediación. La implementación de un SIG constituye una valiosa herramienta para la planificación y la gestión del recurso hídrico de las cuencas hidrográficas estudiada.

Se considera que una tecnología factible de implementar para mitigar el problema de calidad química del agua, utilizada para consumo humano y detectado en las áreas críticas de los departamentos La Paz y Santa Rosa, sería la instalación de equipos de osmosis inversa, alimentados con energía solar fotovoltaica, donde sea posible en función de la demanda de la población. En este caso se recomienda un seguimiento continuo de la calidad del agua entregada a la población y de los efluentes producidos. Otra solución técnica y factible para la provisión de agua para consumo a las poblaciones del departamento La Paz, las más afectadas por las características naturales del agua subterránea en el área de estudio, sería la conducción de agua superficial, proveniente del dique El Bolsón, con una capacidad de almacenamiento de 35 Hm³ (98% de avance de obra) mediante acueductos hasta las poblaciones que no cuenta con buena calidad de agua para consumo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO. 2007.

Capítulo XII. Resolución N°68/2007 y N°196/2007.

Modificación 2012 (Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012). Ministerio de Salud. Bs. As. Argentina.

COHIFE. 2003.

Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina.

Acuerdo Federal del Agua. Buenos Aires. Pp 19.

INA-CRAS (2014).

Estudio Hidrogeológico de las Cuencas de Santa Rosa y del Aconquija.

Convenio INA-Gobierno de la Provincia de Catamarca. Acuerdo Específico N° 01/12. Informe Técnico IT 329. San Juan

OMS. 2006.

Guías para la Calidad de Agua Potable.

Primer Apéndice de la Tercera Edición. Volumen I. Recomendaciones. Ginebra. Suiza.



Erosión hídrica costera en el balneario Monte Hermoso, Buenos Aires, Argentina

Coastal hydric erosion in Monte Hermoso beach, Buenos Aires, Argentina

Albouy, René ^{1,2} ✉ - Di Martino, Claudina ^{1,2,3} - Berezosky, Juan José ^{1,4} - Ruffo, Andrés Gabriel ¹ - Marcos, Angel ¹

Recibido: 24 de agosto de 2018 • Aceptado: 29 de julio de 2019

Resumen

Actualmente el centro de la ciudad quedó fuertemente impactado por la construcción de edificios, rambla y paradores. La urbanización, sobre la línea de costa, fue obliterando el paisaje de médanos, alterando las condiciones naturales del terreno e interfiriendo sobre el escurrimiento superficial del agua. En eventos de lluvia intensa colapsan los desagües que descargan en el mar provocando inundaciones, socavones en calles sin asfalto, desestabilización-remoción de arena en la costa y profundas canalizaciones en la playa. Edificaciones y vegetación sobre los médanos cortan, localmente, la dinámica natural de la arena.

También, son frecuentes “sudestadas” y “sudoestadas” destructivas de la infraestructura y construcciones costeras. Sin embargo, se ha demostrado que la playa tiene capacidad de recuperación en tiempos breves, luego de eventos de tormentas, que la erosionan. El Municipio ha establecido controles sobre el tránsito vehicular, la extracción de arena y construcción de paradores en la playa y la expansión urbana está siendo planificada según la legislación provincial. Los estudios realizados en la playa de Monte Hermoso, demuestran que la misma tiene una rápida regeneración, ante eventos de tormentas marinas y de lluvia. Una ocupación del terreno criteriosa permitiría un desarrollo urbano sustentable y consistente con el principal recurso económico local, la actividad turística estival.

Palabras Clave: Monte Hermoso, erosión costera, planificación urbana.

Abstract

At the moment the downtown was strongly modified by the construction of buildings, coastal paths and beach bars. Urban projects on the coastline, where obliterating the landscape of dunes, altering the natural conditions of the soil and interfering with the natural overland flow. In heavy rain events, the drains that discharge into the sea collapse causing undermining in streets without asphalt, flooding and deep

1. Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253 - Cuerpo B'. Piso 2º (8000) Bahía Blanca.
 2. CGAMA-CIC-UNS. San Juan 670 (8000) Bahía Blanca
 3. UTN.FRBB. 11 de abril 461, (8000) Bahía Blanca.
 4. CONICET. CCT Bahía Blanca. Camino La Carrindanga Km 7 (8000) Bahía Blanca.
- ✉ albouy@uns.edu.ar

channels on the beach. Buildings and vegetation on the dunes change the natural dynamics of the sand. Also, hard winds and marine storms from southeast and southwest cause great damage on the coastal constructions and on the beach line. However, it has been shown that the beach has a capacity to recover in a short time, after storm events that erode it. The local government has established controls on vehicular traffic, sand extraction and commercial construction on the beach. The urban expansion is being planned according to provincial legislation. The studies carried out in the Monte Hermoso beach show that it has a rapid regeneration after the events of marine storms and heavy rains. A careful occupation of the land would allow a sustainable urban development consistent with the main local economic resource, the summer tourist activity.

Keywords: Monte Hermoso, coastal erosion, urban planning.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene por objetivo presentar la problemática ambiental vinculada a la erosión hídrica en Monte Hermoso, tanto en el espacio de playa (erosión marina y pluvial) como en las calles sin pavimento (erosión hídrica pluvial). Se pretenden analizar los aspectos a tener en cuenta para evitar que la playa se degrade y pierda su atractivo turístico, principal recurso económico del lugar.

Los estudios realizados hasta el momento, han puesto de manifiesto que son los eventos naturales o tormentas marinas conocidas como “sudestadas” o “sudoestadas” las que más impactan sobre la playa e infraestructuras costeras del balneario. También se ha indicado que en Monte Hermoso no se reconocen problemas graves de erosión, como en otras costas del noreste bonaerense, al contrario, se sostiene que la morfología de la costa y la dinámica litoral locales, forjan una alta capacidad de recuperación de la playa, en breve tiempo. (Fernández et al., 2006)

El desarrollo urbano del balneario tiene su impacto sobre el ambiente costero principalmente por la construcción de edificios, que inhiben el desarrollo de la duna costera, la fijación de dunas con vegetación y la localización de los desagües pluviales en la costanera. Edificios y dunas semifijas han modificado, parcialmente, la transferencia o intercambio natural de arena desde la playa hacia el campo de dunas costeras y viceversa. En el sector céntrico, además, la construcción de una rambla de madera y de paradores turísticos limita el espacio de playa, sobre todo en pleamar. Asimismo se verifica, que en eventos de lluvia intensos, la descarga del agua en el mar provoca remoción de arena en la costa, desestabilización y daños en la infraestructura y profundas canalizaciones en la playa.

En el casco urbano, los permanentes cambios introducidos en el uso del suelo han modificado las condiciones originales de infiltración y escurrimiento superficial. La nivelación de terrenos con arena de dunas, la impermeabilización de espacios, la introducción de vegetación y apertura-compactación de calles de tierra, provocan, en circunstancias de precipitaciones intensas el colapso de algunos desagües, aparición de socavones o hundimiento del suelo, inundaciones de viviendas céntricas y en definitiva, en su descarga final en el mar, remoción de arena y daños en la playa.

En este aporte se presenta la situación físico-ambiental actual del balneario haciendo hincapié en el desarrollo urbano y los problemas ambientales generados por la actividad antrópica sobre la línea de costa. Se documentan e ilustran las consecuencias sobre la costanera de una “sudestada” reciente y los daños, en calles y playa, de un temporal de lluvia también del año 2017.

Se señalan pautas de planificación urbana y de prevención de la erosión costera, algunas ya seguidas por las autoridades de gestión municipal.

BALNEARIO MONTE HERMOSO: UBICACIÓN. MEDIO FÍSICO

Este balneario está ubicado en el sudoeste del litoral Atlántico de la provincia de Buenos Aires a los 38° 59' 33" de latitud Sur y 61° 15' 55" de longitud Oeste (Figura1). La Playa se extiende a lo largo de unos 32 km de costa baja, arenosa, caracterizada por suave pendiente y aguas cálidas que en promedio superan en unos 6 oC a la de cualquier otra playa bonaerense (Di Martino et al., 2017). Por su ubicación geográfica (de este a oeste) es la única en el país donde el sol nace y se pone en mar. Monte Hermoso fue declarado ciudad en 1975 y años después (1979) se creó el municipio homónimo, el cual a partir de mayo de 1983, se denominó oficialmente Partido de Monte Hermoso. El área urbana cubre una superficie de aproximadamente 186 ha y tiene una población estable de 6.494 habitantes (INDEC, 2010). El balneario tiene una marcada estacionalidad turística ya que en la época estival puede albergar hasta unas 70.000 personas.

El área del estudio tiene un clima de tipo templado, característico de las latitudes medias. De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional para Bahía Blanca (estación meteorológica ubicada a unos 78 km de Monte Hermoso) y para el período 1981-2010 se indican un valor medio de precipitación de 651,4 mm y una temperatura media anual de 15,5 oC. Los vientos dominantes provienen del continente desde el N, NO y NE; los que provienen del mar (S, SE y SO) son los menos frecuentes pero de mayor intensidad y menos habituales son los de dirección E-O (Fernández et al., 2003).

Desde un punto de vista geomorfológico, en el distrito de Monte Hermoso, pueden identificarse dos ambientes: uno de llanura y un campo de dunas, desarrollados al norte y sur del río Sauce Grande respectivamente. La llanura tiene suave pendiente hacia el mar y sobre ella, hacia la costa, se sobre imponen dunas costeras, activas (móviles), semifijas y fijas. Se desarrollan por detrás de las zonas de playa, tienen forma y altura variables y un ancho frecuente entre 4 y hasta 7 km desde la costa.

La playa, en general, presenta perfiles típicos de playa frontal, playa distal y cara de playa, respaldada por el cordón de dunas costeras parcialmente fijados por vegetación y en parte impactados por la urbanización. El ancho promedio es de unos 270 m con una pendiente aproximada de 2o y está constituida por arenas finas, bien seleccionadas, aportadas, alternativamente y según la dirección predominante del viento, desde el médano y/o desde la playa frontal o baja (Fernández et al., 2003).

La costa está expuesta a la acción erosiva directa de las olas provenientes del sector sur, suroeste y sureste. Las corrientes litorales se caracterizan por una alternancia de dirección hacia el este y oeste, sin una dirección manifiesta predominante (Marcos *et al.*, 2006).

DESARROLLO URBANO Y PROBLEMÁTICA



Figura 1. Ubicación del balneario Monte Hermoso.

AMBIENTAL

La urbanización de Monte Hermoso se fue expandiendo desde el centro de la ciudad, hacia el este, siguiendo la línea de costa, hacia el norte, lugar de residencias permanentes y en menor medida hacia el oeste. En el año 2000 comienza un período de gran expansión edilicia con la construcción de edificios en altura en la costanera y el desarrollo de los barrios residenciales Monte Hermoso del Este (en dirección al balneario Sauce Grande) y Las Dunas (hacia el Camping Americano). Actualmente, el centro de la ciudad y sobre la avenida costanera, se puede apreciar un frente de edificios muy cercanos o linderos. Como consecuencia de ello, aumentó la circulación vehicular y la afluencia de personas a la playa. Este sector ha quedado fuertemente impactado por la actividad antrópica también por la construcción de una rambla de madera y de paradores gastronómicos, que limitan fuertemente el espacio costero céntrico, sobre todo en pleamar.

La urbanización, básicamente sobre la línea de costa y hacia el norte, fue obliterando el paisaje de médanos, alterando las condiciones naturales del terreno, por impermeabilización del suelo (edificaciones, asfalto, compactación) o forestación y por tanto interfiriendo sobre el escurrimiento del agua pluvial en superficie. Teniendo en cuenta que la pendiente topográfica regional es desde el norte hacia la costa, en las calles perpendiculares a la línea de playa, se origina, en los eventos de lluvia, un flujo del agua en dirección al mar. Estas vías de escurrimiento actúan también como colectoras del agua de las calles transversales a

éstas y a la pendiente regional. Como consecuencia y ante eventos de precipitación de alta intensidad, colapsan los desagües pluviales que descargan en el mar y se producen inundaciones de viviendas (Figura 2), socavones en las calles niveladas sin asfalto (Figura 3), desestabilización y remoción de arena en la costa (Figuras 4 y 5) y profundas canalizaciones en la playa (Figuras 6 y 7). Las fotos corresponden a un fuerte temporal de lluvia y tormentas eléctricas que azotó Monte Hermoso el 8 de marzo de 2017 y durante el cual precipitaron 130 mm en menos de 24 horas. Según los registros, fue la tormenta más importante de los últimos 60 años. Al respecto, López y Marcomini (2002) sugirieron pautas de planificación urbana que fueron tenidas en cuenta por las autoridades de la gestión tales como conservar y reconstruir el área de dunas, prohibir las actividades mineras en las playas y dunas costeras, eliminar los desagües pluviales en la playa, cortar las calles que desembocan en la playa y conservar el medio ambiente natural de la playa y las dunas en un área de 150 m hacia adentro desde la línea de mareas vivas, entre otras.

DINÁMICA LITORAL Y EROSIÓN COSTERA

Desde el año 1997 se está relevando información de las características oceanográficas y meteorológicas del lugar y realizado estudios a partir de la medición y muestreo de perfiles, que han permitido conocer algunas características de la playa en cuanto a su fragilidad y dinámica litoral (Caló *et al.*, 1997; Caló *et al.*, 1998; Caló *et al.*, 1999; Caló *et al.*, 2000; Fernández *et al.*, 2003; Caló *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2006; Marcos *et al.*, 2006; Marcos *et al.*, 2009; Marcos *et al.*, 2010). A partir de un análisis textural y sedimentológico del material, se ha podido establecer que la movilidad natural de las arenas se da desde la playa hacia los médanos y viceversa. También se verificó que en algunos lugares, producto del asentamiento de construcciones y vegetación, hay una interrupción en el desplazamiento de la arena desde el médano hacia la playa.

En función de la morfología costera, obtenida a partir de los perfiles medidos, se calculó el balance sedimentario y pudo determinarse que la playa tiene capacidad de recuperación en tiempos breves, luego de los eventos de tormentas (marinas y pluviales), que producen erosión en la misma.

Esto es consecuencia de una deriva litoral alternante este-oeste, sin una dirección dominante (Caló *et al.* 2000; Fernández *et al.* 2006). La principal causa de erosión costera se debe al desbalance sedimentario en las corrientes litorales, intensificado por la acción directa e indirecta del hombre.

En este sentido las causas antrópicas que ejercen su influencia en la erosión inducida sobre la playa identificadas en el balneario Monte Hermoso son: urbanización y fijación de médanos, extracción de arena de playa y duna costera, eliminación de la duna costera, incremento del escurrimiento superficial por impermeabilización y desagües pluviales. La erosión y degradación costera es un problema ambiental grave en el litoral de la provincia de Buenos Aires. Las causas, si bien pueden ser naturales, han sido potenciadas sin lugar a dudas por el accionar del hombre, en especial desde 1980, cuando se produjo un brusco incremento poblacional en las localidades balnearias.

Son frecuentes las tormentas marinas que provienen del S y SE que se conocen localmente como "sudestadas" (Figuras 8 y 9). Sin embargo, las que más impactan sobre la playa proceden del SO y se denominan "sudoestadas" pero aparecen como eventos extraordinarios, con una frecuencia de unos 10 años (Figuras 10 y 11). Estas tormentas marinas son las más destructivas sobre la infraestructura y construcciones sobre la costa (Marcos *et al.*, 2006).



Figura 2 y 3. Inundaciones en viviendas y socavones en calles sin asfalto.
Fuente: lanueva.com / Agencia Monte Hermoso. Marzo, 2017



Figura 4 y 5. Destrozos en la costanera de Monte Hermoso debido a temporal de lluvia.
Fuente: lanueva.com / Agencia Monte Hermoso. Marzo, 2017.



Figura 6 y 7. Canalizaciones y remoción de arena en la costa.
Fuente: lanueva.com / Agencia Monte Hermoso. Marzo, 2017



Figura 8 y 9. Costanera de Monte Hermoso. Sudestada del 16 de julio de 2017.
Fuente: lanueva.com / Agencia Monte Hermoso.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las autoridades del Municipio de Monte Hermoso, conscientes de la problemática costera, han actuado en consecuencia con controles sobre las distintas actividades que perjudican a la playa (tránsito vehicular, extracción de arena, construcción de

paradores) con buenos resultados, pero no se han realizado en forma continua en el tiempo. Se debería insistir en estos controles en forma permanente. También la expansión urbana está siendo planificada acorde a la legislación provincial, prohibiendo construcciones sobre los médanos costeros.



Figura 10 y 11. Costanera de Monte Hermoso. Sudoestada del 23 de junio de 2018.
Fuente: lanueva.com / Agencia Monte Hermoso

Se advierte sobre los problemas de erosión costera que derivan del escurrimiento superficial de calles que llegan al mar y de los desagües pluviales en la playa, causa de socavamiento de arena y colapso de las obras de infraestructura. Esta circunstancia debería tenerse en cuenta, especialmente en la Avenida Costanera.

En ocasiones, el oleaje, durante las tormentas marinas, remueve la arena por debajo de la rambla de madera y alcanza las subcapas del asfalto, siendo otro de los factores de colapso de las construcciones sobre la costa. Debería evaluarse el emplazamiento de obras complementarias (defensas duras) para proteger estas construcciones sobre la línea de la costa. Este tipo

de obras requieren un gasto económico que debería evaluarse cómo costo beneficio.

Los estudios realizados en la playa de Monte Hermoso demuestran que, debido a la dinámica litoral natural, la playa

tiene una rápida regeneración frente a los eventos de tormentas marinas y lluvia. Una planificación sustentable del medio natural y antrópico permitiría un óptimo crecimiento urbano acorde con el desarrollo del principal recurso económico que es la actividad turística estival.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CALÓ, J., A. MARCOS, E. FERNÁNDEZ, H. ALDACOUR, P. VARELA Y N. MÁRQUEZ, 1997.
La tormenta de abril de 1997 en la localidad costera de Monte Hermoso, Provincia de Buenos Aires.
X Coloquio de Oceanografía, Resumen p.34. Bahía Blanca, Argentina.
- CALÓ, J., E. FERNÁNDEZ, A. MARCOS Y H. ALDACOUR. 1998.
Análisis preliminar del balance sedimentario de la playa de Pehuen-Co, provincia de Buenos Aires, Argentina.
Geoacta, 23,1-12.
- CALÓ, J., E. FERNÁNDEZ, A. MARCOS, H. ALDACOUR, P. VARELA Y N. MÁRQUEZ, 1999.
Coastal Environmental hazards: comparison of high winds and storm surges in Monte Hermoso City, Buenos Aires Province, Argentina.
Loicz 4th Open Science Meeting, XI Coloquio de Oceanografía. Abstracts, p.108. Bahía Blanca, Argentina.
- CALÓ, J., E. FERNÁNDEZ, A. MARCOS Y H. ALDACOUR, 2000.
Comparación del efecto de dos tormentas en la ciudad de Monte Hermoso. Argentina.
Geoacta, 25:40-48.
- CALÓ J., E. FERNÁNDEZ, A. MARCOS Y H. ALDACOUR. 2005.
Observaciones litorales ambientales de olas, corrientes y vientos de la playa de monte hermoso entre 1996 y 1999.
Revista Geoacta, 30, 27-38.
- DI MARTINO, C., R. ALBOUY, A. MARCOS, J.J. BEREZOSKY Y A. RUFFO, 2017.
Erosión hídrica costera en el balneario Monte Hermoso, Buenos Aires, Argentina.
Primer Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. San Luis. Agosto 2018. Resúmenes.
- FERNÁNDEZ E., J. CALÓ, A. MARCOS Y H. ALDACOUR. 2003.
Interrelación de los ambientes eólico y marino a través del análisis textural y mineralógico de las arenas de la playa de Monte Hermoso, Argentina.
Asociación Argentina de Sedimentología. Revista: 10(2):151-162.
- FERNÁNDEZ, E., A. MARCOS, J. CALO Y H. ALDACOUR, 2006.
Balance Sedimentario, Parámetros Meteorológicos y Oceanográficos en un Sector de la Playa de Monte Hermoso, Provincia de Buenos Aires.
Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. GEOACTA 31,11-22. ISSN 0326-7237.
- INDEC, 2010.
Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina.
Censo poblacional 2010. Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/>
- LÓPEZ R. A. Y S. C. MARCOMINI, 2002.
Pautas para el manejo costero en costas de dunas y acantilados, Provincia de Buenos Aires.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. 18: 59-68.
- MARCOS, A., E. FERNÁNDEZ, J. CALÓ Y H. ALDACOUR, 2006.
Caracterización Físico Ambiental de la Playa de Monte Hermoso.
Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. ISBN-987-22912-0-9. XXIII Reunión Científica. Bahía Blanca. Argentina.
- MARCOS, A., E. FERNÁNDEZ, J. CALÓ Y R. HUESPE. 2009.
Relevamientos semicuantitativos para el estudio de la morfología de playa.
Geoacta, 34, 117-126, 2009.
- MARCOS, A., J. CALO Y E. FERNANDEZ, 2010.
Problemática Ambiental de la localidad costera de Monte Hermoso, Provincia de Buenos Aires.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. Publicación oficial de la ASAGAI, 25:67-76.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL.
En: <https://www.smn.gob.ar>



Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca. Relación del grado de deterioro con el comportamiento hidrodinámico de la zona no saturada

Concrete pavements of the city of Bahia Blanca. Relationship between the deterioration and the hydroninamic behaviour of the unsaturated zone

Pérez Marfil, Paula¹ - Scherger, Leonardo^{1,2} - Priano, Carla³ - Lescano, Leticia^{1,2} ✉
Pera Vallejos, Guillermo^{1,2} - Lafont, Daniela^{1,2} - Lexow, Claudio^{1,2} - Marfil, Silvina^{1,2}

Recibido: 06 de junio de 2019 • Aceptado: 27 de agosto de 2019

Resumen

Se relevaron pavimentos en los diferentes ambientes geomorfológicos de la ciudad de Bahía Blanca, cubriéndose una extensión de 98 km². Se evaluó el estado de conservación de las losas y, donde fue posible, se tomaron muestras para realizar ensayos de porosidad, absorción, densidad y estudios petrográficos. Se determinó que de la superficie total el 19,2% de los pavimentos son de hormigón, 36,1% flexibles, 0,6% articulados, 0,1% empedrados y el 44% está sin pavimentar. Es frecuente observar lavado superficial, en especial en las esquinas, debido al efecto del tránsito y al inadecuado drenaje del agua de lluvia. Las principales causas de deterioro de las losas están vinculadas con fallas estructurales y falta de mantenimiento de las juntas de contracción. Por otro lado, se estudió el comportamiento hidrodinámico de la zona no saturada (ZNS) para determinar si la misma se relaciona con el estado de deterioro de los pavimentos. Se determinó que la influencia de la franja capilar (FC) sobre el contenido volumétrico del suelo superficial es nula en las zonas: peniplanicie y aluvio-coluvio y nula a mínima en el abanico aluvial. En la llanura de marea, la FC mantiene espesores medios de 70 cm en condiciones estáticas y de hasta 110 cm en periodos húmedos, vinculado a la presencia de sedimentos finos y un acuífero freático somero. Los niveles superficiales de la ZNS presentan altos contenidos de humedad durante la mayor parte del año, siendo factible la influencia de las condiciones hidrodinámicas sobre el estado de las obras viales.

Palabras claves: pavimentos, hormigón, durabilidad, zona no saturada.

Abstract

Pavements in the different geomorphological environments of the city of Bahia Blanca were surveyed. A total area of 98 km² was covered. The state of conservation of the slabs was evaluated. In the sites that were possible, samples were taken.

1. CGAMA CIC-UNS

2. Departamento de Geología UNS. San Juan 670 Bahía Blanca

3. Departamento de Ingeniería UNS. Av. Alem 1253. Bahía Blanca

✉ leticia.lescano@uns.edu.ar

At laboratory, porosity, absorption, density and petrographic studies were realized. It was determined that 19.2% of the pavements are of concrete, 36.1% flexible, 0.6% articulated, 0.1% paved and 44% are unpaved. It is common to observe washing surfaces, especially in corners, due to the traffic effect and the inadequate drainage of rainwater. The main causes of slabs deterioration are linked to structural failures and lack of contraction joints maintenance. The unsaturated zone (UZ) hydrodynamic behavior was studied to define if it is related to pavements deterioration. It was determined that capillary fringe (CF) influence on the volumetric content of the superficial soil is null in plateau and alluvial-colluvial zones and null to minimum in the alluvial fan. In the tidal plain, the CF maintains 70 cm of average thickness in static conditions and up to 110 cm in humid periods, linked to fine sediments presence and a shallow aquifer. The UZ surface levels present high humidity contents during most of the year, being possible the influence of the hydrodynamic conditions on the pavements state.

Keywords: pavements, concrete, durability, unsaturated zone.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras de hormigón se ejecutan para una cierta vida útil, a pesar de ello, un gran número de obras comienzan a deteriorarse mucho tiempo antes del previsto en su diseño original. Para poder seguir prestando sus funciones, es necesario realizar intervenciones extraordinarias de mantenimiento, reparaciones y hasta reemplazos de la misma estructura o de parte de ella. Esta disminución de la vida en servicio de una obra se puede deber a la calidad de los materiales usados en el hormigón y a su ejecución, como así también a la acción combinada de diferentes agentes agresivos, factores que afectan directamente a la durabilidad de las estructuras (Priano, 2011).

En la actualidad, existen formas de garantizar que una construcción tenga continuidad a lo largo de los años, es decir que conserve requisitos mínimos de seguridad, estabilidad y funcionalidad durante su vida útil, sin costos inesperados de mantenimiento o reparación.

Algunos reglamentos han incorporado una clasificación detallada del medio de exposición en función del proceso de deterioro que puede afectar al hormigón y a las armaduras. Además, se han incluido, a modo de requisitos prestacionales, exigencias destinadas a evaluar la calidad del hormigón de recubrimiento a través de propiedades de transporte, que aportan información sobre la conectividad de la estructura porosa y del factor de retardo. Tal es el caso del reglamento CIRSOC 201 (2005), en el que se fija un valor límite para la velocidad de succión capilar de hormigones en estructuras emplazadas en ambientes con cierto tipo de exposición.

El punto más cuestionado en el diseño por durabilidad, quizás por lo difícil que resulta implementarlo en la práctica, es el referido a definir la velocidad de ingreso del agente agresivo a través del hormigón mediante modelos sencillos y accesibles que permitan inferir, con cierta fiabilidad, la vida en servicio conforme al proceso de deterioro que prevalece (Eperjesi et al., 2010).

La Instrucción del Hormigón Estructural (EHE-08, 2008), que regula el proyecto y ejecución de las estructuras de hormigón en España, define el estado límite de durabilidad como el “fallo producido al no alcanzarse la vida útil de proyecto de la estructura, como consecuencia que los procesos de degradación del hormigón o de las armaduras, alcancen el grado suficiente como para impedir que la estructura se comporte de acuerdo a las hipótesis con las que ha sido proyectada”.

Los pavimentos de hormigón necesitan poco trabajo de mantenimiento, aunque es necesario que se realice en forma periódica y constante, de lo contrario, una pequeña falla inicial, reparable a bajo costo, se convertirá en un daño progresivo que encarecerá los trabajos de remediación. El mantenimiento consiste en el sellado de juntas, tanto de contracción como de dilatación. Esto evita que material granular no compresible se introduzca dentro de las cavidades de las juntas, generando tensiones localizadas en el hormigón cuando éstas tienden a cerrarse por dilatación (Priano, 2011). Los cambios de volumen del hormigón, originados por variaciones del contenido de humedad, constituyen una de las causas más frecuentes de fisuración de las estructuras, especialmente en los pavimentos, ya que tienen grandes superficies expuestas a la acción de la intemperie. Estas fisuras pueden alterar el comportamiento estructural y además afectan su durabilidad, ya que son vías de ingreso para sustancias agresivas (Mehta y Monteiro, 2006; Priano, 2011). El deterioro está vinculado también con la expansión térmica diferencial entre sus componentes ya que el coeficiente de dilatación térmica es mayor en la pasta cementicia que en los agregados, y varía con el contenido de humedad del hormigón y con la composición de la roca. El ataque químico al hormigón es causado por agentes externos a la estructura, que se transportan en solución hacia su interior y reaccionan con algún constituyente de la pasta cementicia (Klaric, 2001). El ingreso y la circulación de líquido se produce por permeabilidad, capilaridad o por difusión. Por lo tanto, la compactación del hormigón es el factor más importante que gobierna la capacidad de resistir este tipo de ataque y la penetración del agua dependerá de su estructura de poros y del grado de conectividad (Priano, 2011).

La degradación del hormigón afecta no solo sus propiedades, sino que puede afectar la propia funcionalidad de la estructura y en ocasiones su aspecto estético. Si bien el deterioro es inevitable, al momento de diseñar una estructura, se deben elegir correctamente los materiales, evaluar el ambiente al que estará expuesta y establecer la vida útil. Las estructuras de hormigón se diseñan generalmente para una vida en servicio de 50 años, aunque pueden comenzar a deteriorarse a los 10 o 20 años. Las reparaciones no contempladas generan pérdidas económicas además de inconvenientes de funcionalidad. La disminución de la vida en servicio de las estructuras puede deberse a factores físicos, químicos, biológicos o mecánicos. En la mayoría de los casos nunca se presentan solos, sino son combinación de varios y, en muchas ocasiones, el deterioro producido por uno de ellos es vía de acceso a otro (Priano, 2011).

En los últimos años, se observó el deterioro prematuro de pavimentos de hormigón, emplazados en diferentes ambientes en la ciudad de Bahía Blanca. En trabajos previos se realizaron estudios en algunos sectores de la ciudad (macro y microcentro) y se concluyó que la principal causa de deterioro se debía a problemas estructurales y falta de mantenimiento de las juntas de contracción (Pérez Marfil et al., 2017; Priano et al., 2018). También se observaron patologías vinculadas a la reacción álcali-sílice (RAS) en especial en rutas de circunvalación y rotondas de acceso (Berezosky et al., 2018).

Por otro lado, Grizinić y Hirtz (2000) determinaron que en áreas urbanas, las sales presentes en la ZNS pueden generar deterioros considerables sobre las estructuras de hormigón y pavimentos. El ingreso de sales al perfil de suelo puede ser producto del riego de aguas con altos contenidos de iones disueltos o provenientes desde un acuífero hipersalino por el proceso de capilaridad. En este último caso los efectos son magnificados en presencia de un nivel freático somero, que se encuentre a escasos metros de la superficie (Scherger et al., 2019).

El subsuelo de la ciudad de Bahía Blanca presenta variaciones en sus componentes sedimentológicos, generándose diferentes comportamientos hidrodinámicos en los distintos sectores de la localidad. Las características texturales de los materiales condicionan el espesor de la franja capilar (FC) y la movilidad del agua en la zona no saturada (ZNS). La FC es una zona de transición ubicada entre el nivel freático y la ZNS. Su límite superior, muy difícil de definir, se identifica introduciendo el concepto de presión de entrada de aire en un medio poroso saturado (ha) y su límite inferior es aquel donde la tensión matricial es $h = 0$ cm (Lexow y Bonorino, 2003).

La zona céntrica de la ciudad de Bahía Blanca se encuentra asentada sobre un abanico aluvial, comprendido entre cotas topográficas de 10 y 30 msnm. Hacia el norte se encuentra una amplia peniplanicie, cuya elevación supera escasamente los 100 msnm en la parte norte y este y que desciende suavemente hacia el oeste y sur hasta alturas no mayores a los 60 msnm. La parte terminal de esta planicie se continúa con un faldeo, comprendido entre las cotas de 10 y 60-80 msnm, que constituye un complejo coluvio-aluvio y conos aluviales coalescentes. Hacia el sur, la zona que se extiende entre las curvas de 0 y 10 msnm conforma el área litoral, correspondiente a una antigua llanura de marea, ahora emergida (Caló et al., 1999).

En determinados sectores de la localidad, la posición del nivel freático mantiene una influencia directa sobre la hidrodinámica del sistema (Lexow et al., 2017), donde el espesor de la FC queda determinado por las características litológicas y las condiciones hidrométricas. En la peniplanicie, la profundidad del acuífero se encuentra entre los 10 y los 17 m; en la zona del coluvio-aluvio y los conos aluviales, el nivel freático se localiza entre los 4 y 10 m y en la llanura de marea, se encuentra a profundidades menores de 4 m (Caló et al., 1999).

En distintos sectores de la ciudad de Bahía Blanca se han detectado problemas en los pavimentos de hormigón vinculados a las diferentes condiciones que presenta el subsuelo que conforma el área. En la zona sudoeste de la ciudad, la presencia de arcillas en superficie y la escasa profundidad del nivel freático determinan el predominio de movimientos hídricos verticales y la transferencia del agua por ascenso capilar, lo que potencia la concentración de sales por evapotranspiración (Pérez Marfil et al., 2017).

Los modelos de simulación constituyen herramientas muy valiosas a la hora de estudiar sistemas que involucran procesos

complejos e interactivos en el flujo de agua y transportes de solutos dentro de la ZNS. El código HYDRUS 2D/3D (Simunek et al., 2006) es uno de los modelos más aceptados en la bibliografía en la evaluación de parámetros hidráulicos del suelo, transporte de solutos, diagramas de riego y fertilización, calidad de agua edáfica y simulación de flujos hídricos.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el estado de conservación de los pavimentos de hormigón de Bahía Blanca, considerando los cuatro ambientes geomorfológicos en los que está emplazada la ciudad. Para ello, se estudió el grado de deterioro, la relación con la composición petrográfica de los agregados gruesos y finos, el estado de las juntas de contracción y dilatación, tipo de tránsito, humedad, temperatura, contenido de sales (sulfatos, carbonatos y cloruros) y reacción álcali-sílice. Finalmente, se evaluó si existe una relación directa entre el estado de deterioro de las obras viales y las condiciones hidrodinámicas de la ZNS, para cada ambiente en particular.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área relevada de la ciudad de Bahía Blanca es de 97,8 km². Se analizaron un total de 84492 losas de hormigón, distribuidas en los 4 ambientes geomorfológicos en los que está emplazada la ciudad: llanura de marea, abanico aluvial, aluvio-coluvio y peniplanicie (Figura 1).

Se recolectaron muestras en los sitios donde fue posible. Se contó el número de placas de hormigón sanas, con fisuras longitudinales y transversales (paralelas y perpendiculares al eje del pavimento), en esquina, combinadas las dos anteriores, y en mapa. Además, se consideraron las que necesitan reemplazo debido al elevado grado de deterioro que presentan y los cortes por el tendido de servicios públicos. Las fisuras en esquina son diagonales que intersectan la junta o el borde que delimita la losa, y pueden originarse por acción de las cargas de tránsito, sobre esquinas sin soporte o por alabeo de las losas. Se determinó el tipo de agregado utilizado, se evaluó el desarrollo de fisuras por retracción, fracturas por causas estructurales o por reacciones deletéreas del tipo RAS y la presencia o ausencia de material sellador en las juntas de contracción.

Con las muestras obtenidas se realizaron ensayos de densidad, absorción y porosidad (ASTM C642-97), para lo cual se secaron a 100-110 °C durante 24 horas y se determinó el peso de la masa seca. Luego se sumergieron en agua a temperatura ambiente durante 48 horas, se secaron y pesaron para determinar la masa saturada superficie seca. Se colocaron en un recipiente con agua hasta ebullición durante 5 horas, se enfriaron hasta temperatura ambiente y nuevamente se pesaron. Para el cálculo de la masa aparente se utilizó una balanza hidrostática. La porosidad del hormigón está directamente relacionada con la posibilidad de ingreso de agua y agentes agresivos a su interior, por lo tanto es un parámetro que está estrechamente vinculado con la durabilidad de una estructura (Pérez Marfil et al., 2017).

Para el estudio petrográfico de los agregados y del hormigón se utilizó un estereomicroscopio Olympus trinocular SZ-PT y un microscopio petrográfico Leica DM 750P.

La hidrodinámica de la ZNS fue estudiada mediante la aplicación del código HYDRUS 2D/3D (Simunek et al., 2006). Este código, ejecutable en ambiente Windows, resuelve la ecuación de Richards para el flujo no saturado en determinada sección de estudio, según condiciones iniciales y de borde establecidas por el usuario. La ecuación de Richards modificada, que adhiere un término sumidero para incorporar la extracción

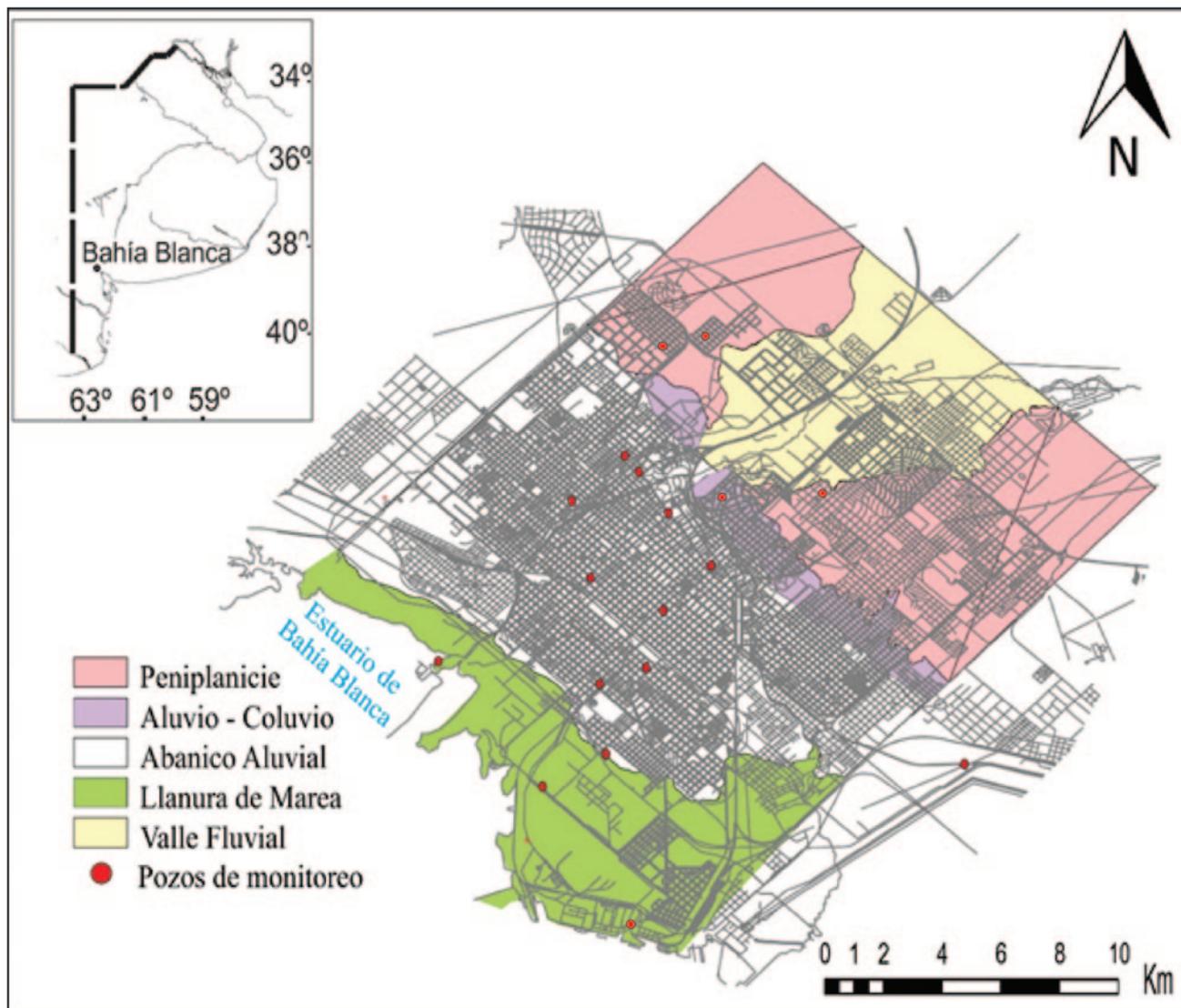


Figura 1. Plano de la ciudad de Bahía Blanca, indicando los cuatro ambientes geomorfológicos y los pozos freáticos relevados.

de agua por raíces, es resuelta mediante el método de elementos finitos. En el presente trabajo fueron evaluados cuatro perfiles no saturados correspondientes a cada sector geomorfológico de la ciudad: peniplanicie, aluvio-coluvio, abanico aluvial y llanura de marea. Las simulaciones realizadas en base a antecedentes y datos bibliográficos fueron validadas mediante la representación de condiciones similares a los valores actuales de campo.

El periodo de simulación consistió en 2555 días, iniciando el 01/01/2011 y finalizando el 31/12/2017. El modelo hidráulico elegido para la simulación fue el propuesto por *Van Genuchten*; *Mualem* (1) (*Van Genuchten, 1980; Mualem, 1976*).

$$Se = 1 + [(\alpha h)^n]^{-m} \quad (1)$$

Donde $Se = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ es la humedad efectiva, θ es la humedad volumétrica del suelo, θ_r es la humedad residual, θ_s es la humedad de saturación, $\alpha = ha^{-1}$ es un parámetro empírico determinado por la inversa del valor tensión de entrada

de aire (ha), h corresponde a la tensión matricial y n y m, son parámetros empíricos siendo $m = 1 - 1/n$. La conductividad hidráulica (2) se estima mediante la ecuación:

$$K(Se) = K_s Se^1 \left[1 - (1 - Se^{\frac{1}{m}})^m \right]^2 \quad (2)$$

Donde K_s corresponde a la conductividad hidráulica saturada y l es la conductividad de poro para la cual se sugiere un valor de 0,5 tras numerosos ensayos en varios suelos (*Mualem, 1976*).

Los parámetros hidráulicos de los materiales fueron estimados de acuerdo con datos texturales antecedentes para cada perfil (*Municipalidad de Bahía Blanca, 2016*), de acuerdo a la función de pseudotransferencia Rosetta Lite V1.1 (*Schaap et al., 2001*). Las características hidrogeológicas de cada sitio se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características hidrogeológicas de cada sector. p.n.f.: profundidad del nivel freático; θ_r : humedad residual; θ_s : humedad de saturación; $\alpha = h a^{-1}$; n: índice de distribución de poros; K_s : conductividad hidráulica saturada.

Área Geomorfológica	p.n.f (m.b.s)	Litología	θ_r	θ_s	α	n	K_s (cm/día)
Peniplanicie	≥ 15	Limos que culminan con un potente banco de tosca	0,034	0,46	0,016	1,37	6
Aluvio-Coluvio	4	Arenas finas arcillosas, bancos de tosca en niveles superiores	0,1	0,39	0,059	1,48	31,4
Abanico Aluvial	2,8	Franco limoso	0,067	0,45	0,02	1,41	10,8
		Arena fina arcillosa	0,1	0,39	0,059	1,48	31,4
Llanura de marea	1,3	Limos arcillosos	0,089	0,43	0,01	1,23	1,6

La FC corresponde a una zona de transición del sistema no saturado con el acuífero freático, donde el contenido de agua en el medio poroso es igual al de saturación y la presión de fluidos es negativa, considerando que el agua se encuentra bajo tensión (*Freeze y Cherry, 1979*). A partir de este precepto, e introduciendo el concepto de tensión de entrada de aire (h_a), se define a la FC para un medio poroso como la zona en la que el contenido de agua está próximo a la saturación $\theta \cong \theta_s$, con el agua bajo carga hidráulica negativa ($h < 0$) cuya altura hFC, para una condición hidrostática de equilibrio, está comprendida por una superficie inferior donde $h = 0$ y otra superior de tensión matricial $h = h_a$, parámetro que mantiene una relación inversa con el coeficiente hidrodinámico α .

RESULTADOS

Relevamiento del Estado de Deterioro de los Pavimentos

En la Tabla 2 se muestra la distribución del tipo de pavimento relevado por ambiente, donde se puede observar que la mayor parte de la ciudad de Bahía Blanca está emplazada en el abanico aluvial y la peniplanicie (79%). Considerando el área que ocupa cada ambiente y el tipo de pavimento en cada uno, se determinó que, de la superficie total, el 19,2% corresponde a pavimentos rígidos (hormigón), el 36,1% flexibles, el 44% son calles de tierra y un porcentaje muy bajo (<1%) son pavimentos articulados (0,6%) y empedrados (0,1%).

En la Tabla 3 se muestran los resultados del estado de conservación de los pavimentos rígidos en cada uno de los ambientes. En la Figura 2 se muestra el estado de los pavimentos en cada ambiente ponderado respecto del área total que representa en la ciudad. Si se considera la superficie que representa cada uno se puede decir que el 68% de las losas de hormigón se encuentran sanas. De las que presentan fisuras la mayoría (23%) corresponde a fisuras longitudinales y transversales. Del total de losas con deterioro el 4% necesita reemplazo.

La principal causa de deterioro de los pavimentos relevados de la ciudad de Bahía Blanca está vinculada con fallas estructurales y falta de mantenimiento de las juntas. En la Figura 3a, se observa una falla longitudinal que afecta tres placas de hormigón, con crecimiento de vegetación dentro de las fracturas. En muy pocos casos se observó levantamiento de placas por raíces de árboles. No se identificaron fallas debido a una incorrecta elección de los materiales. El estado del hormigón es bueno, no se observaron reacciones deletéreas tipo RAS a pesar de que se identificaron materiales potencialmente reactivos en el agregado fino y en el canto rodado (cuando se utilizó como agregado grueso). Los pavimentos que mejor estado presentan son los de la peniplanicie y los más deteriorados son los del abanico aluvial y aluvio-coluvio. En esta última zona es donde se registró la mayor cantidad de placas de hormigón con fisuras en esquina (Figura 3b) y daños significativos, que hace necesario su reemplazo (Figura 3d).

Tabla 2: Distribución del tipo de pavimento por ambiente.

Área Geomorfológica	Tipo de pavimento (%)					Nº de cuadras relevadas	Área (Km ²)	Área (%)
	Hormigón	Flexible	Tierra	Articulado	Empedrado			
Peniplanicie	0,8	15,9	81,7	1,6	0,0	1596	35,2	36
Aluvio-coluvio	54,9	15,2	29,8	0,1	0,0	1012	12,3	13
Abanico aluvial	22,5	63,4	14,1	0,0	0,0	3271	41,9	43
Llanura de marea	27,6	15,2	55,6	0,5	1,1	1049	8,3	8

Tabla 3. Estado de conservación de los pavimentos de hormigón

Área Geomorfológica	Estado de los pavimentos de hormigón (%)						Nº de placas relevadas	
	Sano	Fisuras longitudinales y transversales	Fisuras en esquina	Fisuras longitudinales, transversales y en esquina	Fisuras en mapa	Necesita reemplazo		Corte por servicio
Peniplanicie	86,6	6,4	4,3	0,6	0,1	0	0,4	1583
Aluvio-coluvio	56,3	36,3	4,7	1,1	0,6	6,7	2,7	9776
Abanico aluvial	58,2	35,4	4,7	1,3	0,5	6,1	4,3	61681
Llanura de marea	73,5	22,8	2,1	1,0	0,6	2,5	1,1	11452
Total ponderado por ambiente	67,9	23,4	4,0	1,0	0,4	3,6	2,4	

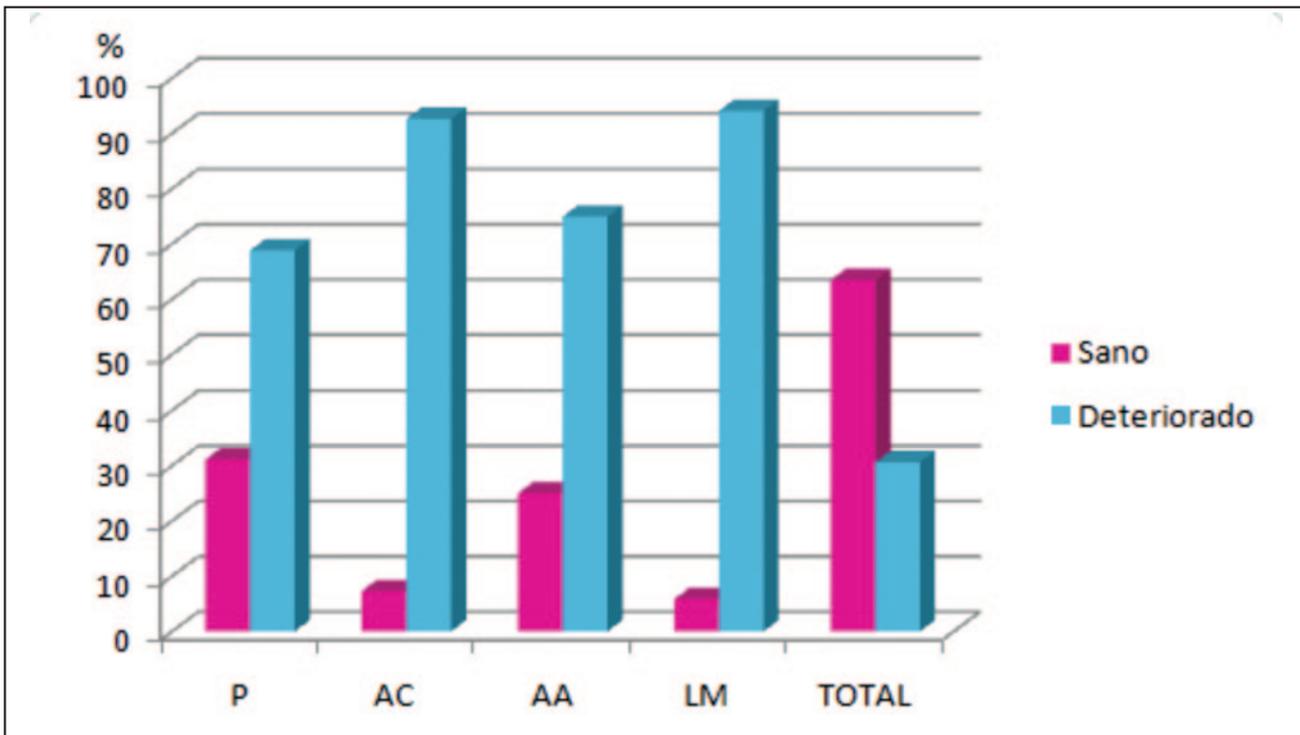


Figura 2. Estado de conservación de los pavimentos rígidos de Bahía Blanca ponderado respecto del porcentaje que ocupa cada ambiente. P: peniplanicie, AC: aluvio-coluvio, AA: abanico aluvial, LM: llanura de marea, Total: total ponderado.

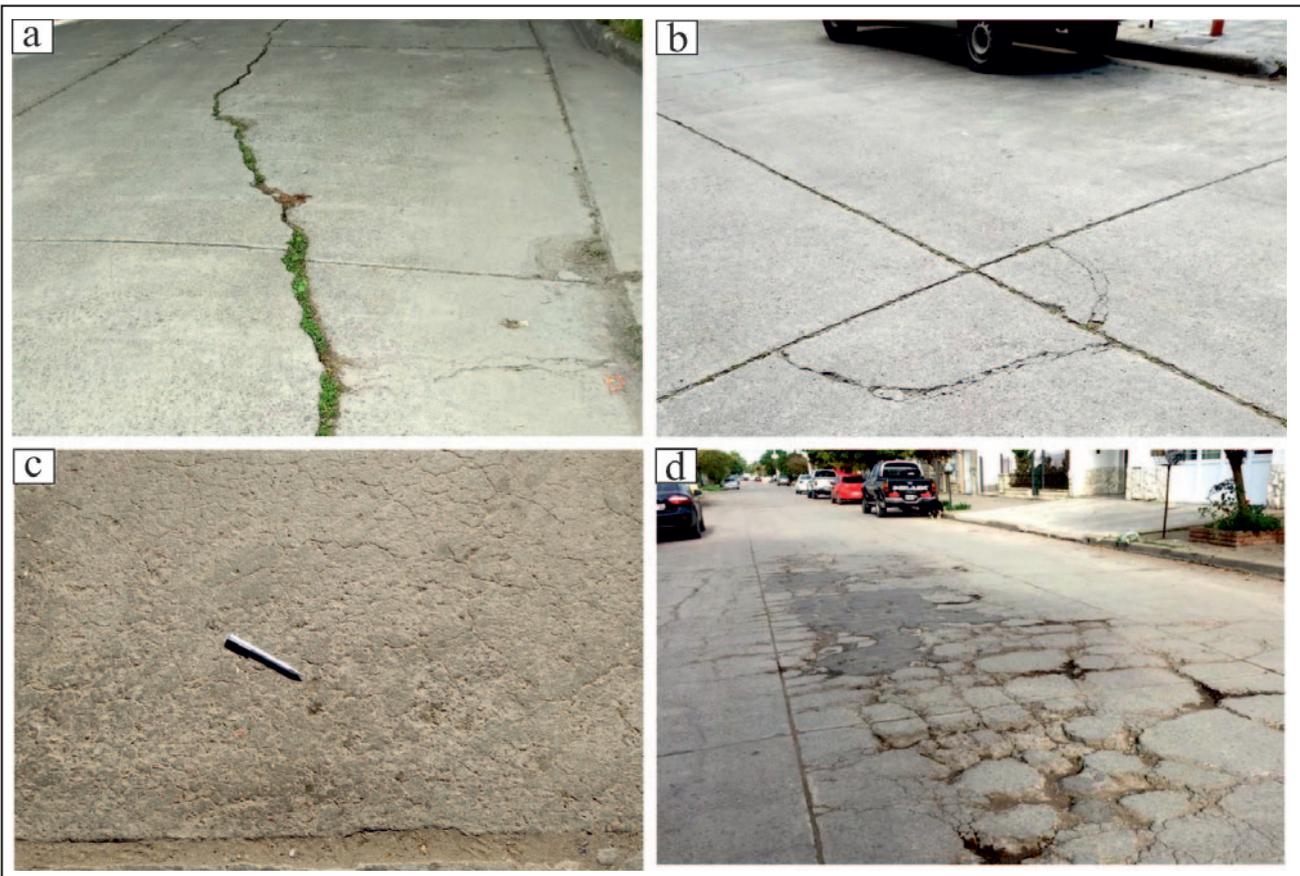


Figura 3. a) Falla estructural longitudinal, b) fisuras en esquina, c) fisuras por retracción y lavado superficial. En la parte inferior de la imagen se observa una junta sin material sellador, d) pavimento con avanzado estado de deterioro, que necesita reemplazo.

Es frecuente observar fisuras por retracción y lavado superficial (Figura 3c) en especial en las bocacalles y en las zonas de escorrentía de agua. Esto se debe al efecto abrasivo del tránsito y a un drenaje inadecuado o insuficiente del agua de lluvia que permite su acumulación sobre el pavimento.

Se observó la falta de material flexible en las juntas de contracción. La mayoría están vacías (Figura 3b, c y d) o rellenas con material granular incompresible. Los hormigones más recientes tienen las juntas aserradas, parcialmente rellenas y son los que mejor estado de conservación presentan.

Los materiales utilizados como agregados en los hormigones de los pavimentos relevados presentan una composición litológica semejante. El agregado grueso corresponde principalmente a piedra partida granítica. En muy pocos casos se identificó canto rodado polimíctico y/o mezcla de ambos. En la composición del canto rodado, predominan las rocas volcánicas (andesitas, riolitas y tobas), la mayoría con pastas vítreas en general alteradas (desvitrificadas). En menor proporción se identificó cuarzo, rocas graníticas y escasas metamorfitas. El agregado fino en todos los casos es una arena natural en cuya composición predominan ampliamente las rocas volcánicas con cantidades subordinadas de rocas graníticas, valvas carbonáticas y partículas individuales de cuarzo, feldespato, vidrio volcánico, minerales opacos, y escasos piroxenos y micas.

El canto rodado y las arenas contienen más del 50% de rocas volcánicas (la mayoría de ellas con pastas vítreas). Además, en la arena es frecuente observar trizas de vidrio volcánico (entre 3% y 10%). Estos materiales son potencialmente reactivos frente a la RAS. Si bien se observaron claras evidencias de deterioro por esta patología en la rotonda de acceso de la ciudad de Bahía Blanca, no se identificaron pavimentos urbanos afectados. Esto podría deberse a que para que se desarrolle este tipo de reacción se necesitan tres factores concurrentes: agregados deletéreos, elevado contenido de álcalis y humedad.

Los valores de densidad, absorción, y porosidad obtenidos en las distintas zonas relevadas son uniformes, con valores promedio de 2,4 g/cm³, 3,1 % y 7,8 %, con un desvío estándar de 0,05, 1,2 y 3,1 respectivamente.

Comportamiento Hidrodinámico de la Zona No Saturada

La ZNS puede ser dividida en tres secciones, de acuerdo con las características del flujo no saturado y al contenido volumétrico hídrico medio del terreno. Los niveles superiores del suelo se encuentran sujetos a los fenómenos meteorológicos externos, representados por eventos sucesivos de humedecimiento (efecto de la precipitación) y desecación (efecto de la evapotranspiración). Esta zona denominada zona de evapotranspiración (Z EVT), es donde se generan los cambios de contenido de humedad más significativos. Predominan los movimientos de agua verticales ascendentes, debido a la acción conjunta de la extracción por las raíces de las plantas y la evaporación del agua del suelo para cubrir la necesidad atmosférica de humedad. El agua que no es evapotranspirada, y percola hacia niveles inferiores llega a la zona intermedia (ZI) de la ZNS, donde se mantiene en los poros bajo tensión capilar. Aquí los movimientos hídricos verticales pueden ser ascendentes o descendentes, de acuerdo a las condiciones hidrodinámicas preponderantes, dominadas por gradientes matriciales o gravitacionales respectivamente. Las variaciones del contenido volumétrico en esta zona son menores que en la capa superior. El nivel inferior de la ZNS se constituye por la FC, en contacto inferior con el nivel freático.

Aquí los contenidos de humedad son iguales o próximos a saturación, y el agua se mantiene en los poros del terreno por succión capilar. Las simulaciones realizadas para cada perfil permiten distinguir el comportamiento del flujo hídrico no saturado bajo gradientes naturales. Resulta fundamental evaluar el comportamiento de la FC para cada ambiente geomorfológico en particular, dado que el contacto de dicha zona con las estructuras de hormigón y pavimentos, puede ser un disparador del deterioro prematuro.

En la Figura 4 se muestran los perfiles esquemáticos de suelo simulados en cada uno de los ambientes geomorfológicos, indicándose los contenidos de humedad típicos para una de las capas de la ZNS. La peniplanicie se desarrolla desde cotas mayores a 60 msnm. El subsuelo en esta área se compone de limos loésicos de gran espesor, que culminan en su parte superior con un espeso manto de tosca. En algunos sectores, la capa de tosca se encuentra erodada, estando el suelo enmarcado en los sedimentos limosos, o presenta fracturaciones y/o discontinuidades que permiten el flujo de humedad hacia las zonas profundas del perfil. El nivel freático en este ambiente se encuentra a profundidades variables de entre 15 a 30 m hacia el sector norte, por lo que, a modo de evaluar el escenario de mayor peligrosidad para las estructuras viales, se consideró el mínimo espesor saturado en el modelo de flujo. A partir de las condiciones hidrodinámicas simuladas se distingue que la influencia de la evapotranspiración se centra en los 40 cm superiores del suelo, ocupando la zona intermedia espesores de hasta 14 metros. La FC mantiene espesores entre 62 y 65 cm por encima del nivel freático, con contenidos de humedad comprendidos entre 0,38 cm³/cm³ a 0,46 cm³/cm³, humedad de saturación (Figura 4 b).

El área de aluvio-coluvio se ubica sobre el faldeo sur de la peniplanicie, como una banda de dirección noroeste-sudeste, de aproximadamente 2 km de ancho, entre las cotas de 30 y 60 msnm. La ZNS se compone en general, de arenas con matriz arcillosa, que en su parte superior puede presentar niveles de tosca discontinuos. La Z EVT puede alcanzar la base de los niveles cementados, ocupando los 60 cm iniciales del suelo. La ZI presenta contenidos volumétricos entre 0,22 cm³/cm³ y 0,32 cm³/cm³, con un espesor medio de 3,2 m. La FC ocupa un espesor mínimo de hasta 20 cm, con contenidos de humedad entre 0,32 cm³/cm³ a 0,39 cm³/cm³ (Figura 4a). La textura arenosa del suelo se vincula al coeficiente α , de 0,059, equivalente a un valor bajo de presión de entrada de aire, $h_a = -16,95$ cm.

El área del abanico aluvial se ubica en el sector central de la localidad, entre las cotas de 10 y 30 msnm. El perfil analizado se compone de 2 m de sedimentos franco-limosos que suprayacen a 80 cm de arenas arcillosas. La Z EVT, donde ocurren los cambios más extremos de humedad se aloja hasta los 40 cm de profundidad. Siendo arenas arcillosas, los sedimentos que contienen al acuífero freático en su porción superior, de manera similar que, en el caso anterior, la FC mantiene espesores mínimos entre 16 y 18 cm, con contenidos volumétricos entre 0,33 cm³/cm³ y 0,39 cm³/cm³ (Figura 4d).

La llanura de marea se ubica por debajo de la cota de 10 msnm, y se caracteriza por la presencia de sedimentos finos y un acuífero freático somero, con profundidades medias de 1,3 m. El perfil analizado se compone de limos arcillosos, que presentan un valor de α estimado de 0,01 y se corresponde a un valor de presión de entrada de aire relativamente alto, $h_a = -100$ cm. Los limos arcillosos que componen la ZNS favorecen el ascenso de humedad desde el acuífero por capilaridad. La FC presenta espesores medios de 70 cm en condiciones estáticas y

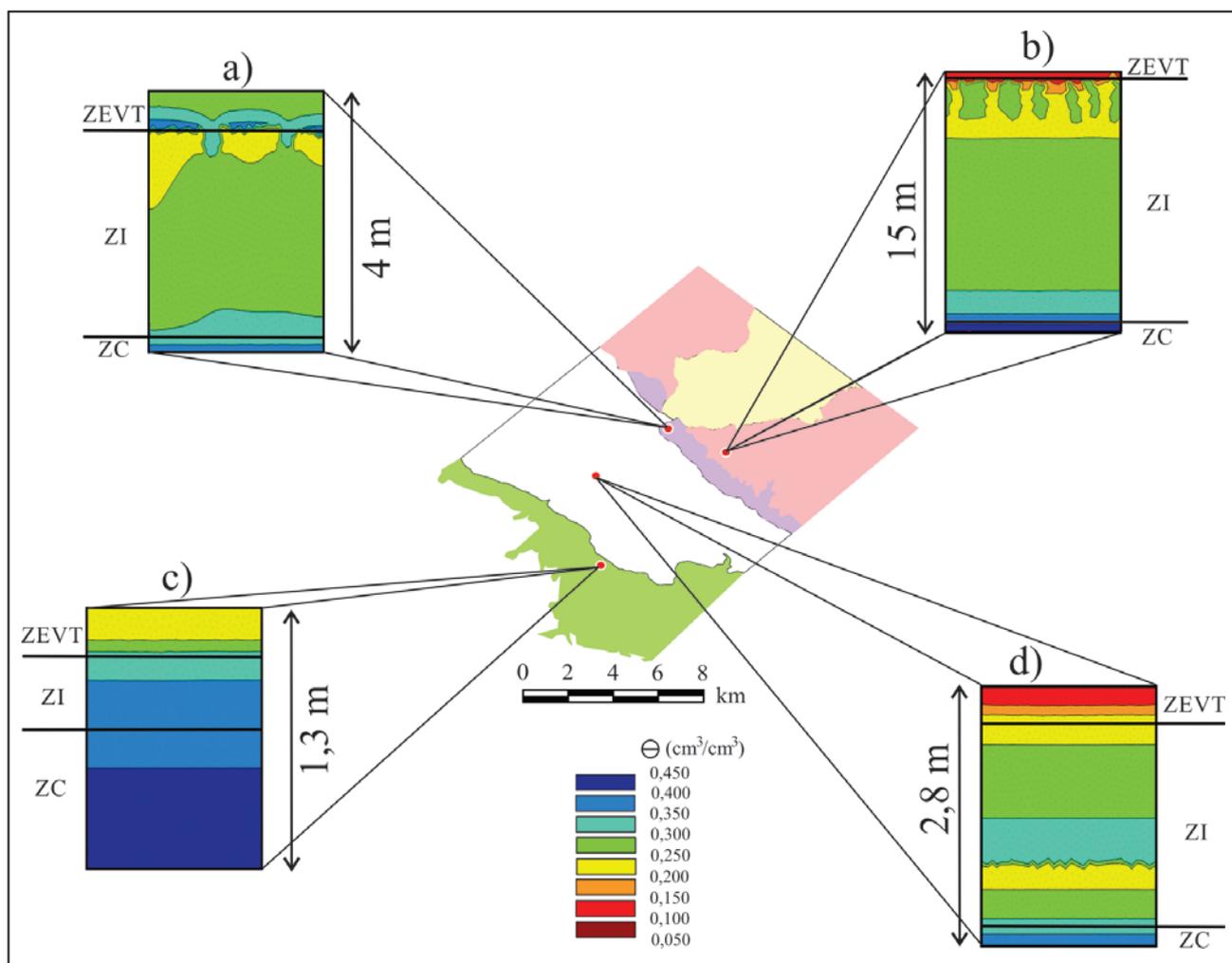


Figura 4. Perfil esquemático de la ZNS de cada ambiente geomorfológico. a) aluvio-coluvio, b) peniplanicie, c) llanura de marea, d) abanico aluvial. Donde θ : humedad volumétrica, ZEV: zona de evapotranspiración, ZI: zona intermedia y ZC: zona capilar.

de hasta 110 cm durante periodos húmedos, con contenidos volumétricos entre $0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y $0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. La FC mantiene una relación directa con la hidrodinámica, regulando los flujos hídricos en el perfil no saturado (Figura 4c). Los niveles superficiales del suelo presentan contenidos de humedad elevados durante todo el año, entre $0,28 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y $0,37 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y condiciones de saturación parcial en épocas de gran pluviometría, efecto vinculado a la baja permeabilidad vertical de este tipo de sedimentos.

DISCUSIÓN

La caracterización de la franja capilar cumple un rol fundamental en la planificación urbana. Este sector del sistema no saturado es capaz de ejercer influencia sobre los contenidos de humedad de los niveles superiores del suelo, afectando negativamente las construcciones en superficie (Scherger y Lexow, 2018). En base a las simulaciones realizadas mediante el software HYDRUS 2D/3D, se puede determinar que no existe relación en los contenidos volumétricos de humedad de los niveles superficiales del suelo y la posición de la FC, para los ambientes de peniplanicie, aluvio-coluvio y abanico aluvial. En el caso de la peniplanicie, aunque los sedimentos limosos presentan una

FC de hasta 65 cm, la profundidad del nivel freático ($> 15 \text{ m}$) implica una influencia nula, ocupando la ZI la mayor porción del perfil no saturado. Para las zonas de aluvio-coluvio y abanico aluvial, la ZNS presenta espesores promedio de 4 m y 2,8 m, respectivamente, siendo la porción del acuífero contenida en sedimentos arenosos. Estas texturas se caracterizan por presentar altos valores relativos del coeficiente α , generándose espesores mínimos para la FC por su baja capacidad de retención (Kutilek y Nielsen, 1994). El ambiente de llanura de marea se caracteriza por la presencia de sedimentos finos y un acuífero freático somero, características que favorecen los movimientos de agua verticales (evaporación, transpiración y recarga) sobre el flujo lateral, generando un mayor tiempo de contacto agua-sedimento-hormigón. En este contexto, se determinó que la FC ocupa espesores medios de hasta 70 cm en condiciones estáticas, permitiendo el ascenso capilar de humedad hasta los niveles superficiales del suelo. En esta zona, los posibles efectos de las condiciones hidrodinámicas son agravados por las características salinas del acuífero costero (Lexow et al., 2018). La acumulación de sales por ascenso capilar y evapotranspiración de la humedad genera un grave peligro para las estructuras de superficie, dada la alteración de las sales solubles sobre los agregados pétreos.

Las sales pueden movilizarse dentro de los poros del material, y si ocurre evaporación pueden precipitar generando deformidades estructurales (Graham, 2005). Las reacciones químicas se manifiestan a través de efectos físicos nocivos tales como el aumento de la porosidad y permeabilidad, disminución de la resistencia, fisuración y delaminación (Oshiro et al., 2008).

El 73,5% de los pavimentos de hormigón relevados en el ambiente de llanura de marea se encuentra sano. Éstos están ubicados en la zona del puerto de Ing. White, donde se encontraron pavimentos con muy avanzado estado de deterioro (para reemplazo) en las calles internas y un excelente estado en la avenida de acceso (recientemente repavimentada) que ocupa la mayor parte del área relevada, lo que hace que el porcentaje de sanos sea elevado. Considerando que el 56% de las calles dentro de este ambiente son de tierra, al momento de diseñar un pavimento rígido, debería tenerse en cuenta la influencia de la franja capilar determinada en este trabajo.

CONCLUSIONES

Del total del área relevada el 68% de las losas de hormigón se encuentran sanas. De las que presentan deterioro la mayoría (23%) se debe a fallas estructurales, con presencia de fisuras longitudinales y transversales. Del total de las losas con deterioro el 4% necesita reemplazo.

Los valores de densidad medidos en el hormigón son uniformes y los de porosidad y absorción bajos (menores a 10% y 5%, respectivamente). Existe una correlación entre estos últimos, sin embargo, no se observó relación entre estos parámetros y el grado de deterioro.

Las simulaciones en el software HYDRUS 2D/3D permiten establecer que únicamente en el área de llanura de marea, la FC ejerce una influencia directa sobre los flujos hídricos verticales

en la ZNS. La FC ocupa espesores de 70 cm en condiciones estáticas y de hasta 110 cm en periodos lluviosos, permitiendo que los niveles superficiales del suelo presenten contenidos de humedad elevados durante la mayor parte del año. En estos sectores será fundamental establecer los efectos de las condiciones hidrológicas del suelo sobre las estructuras de pavimentos de hormigón. En el resto de los ambientes geomorfológicos de la ciudad de Bahía Blanca, se establece que la influencia de la FC sobre el contenido volumétrico del suelo superficial es nula en las zonas de peniplanicie y aluvio-colvio y nula a mínima en el sector de abanico aluvial, descartándose de esta manera su influencia como causa del deterioro prematuro del pavimento.

La llanura de marea representa el 8% del total del área de la ciudad de Bahía Blanca, en la cual el 27,6% de los pavimentos son de hormigón lo que representa 2,3 km². Considerando que el 56% de las calles en este ambiente son de tierra los resultados obtenidos en el presente trabajo deberían ser considerados en la planificación del pavimentado.

La principal causa de deterioro de los pavimentos relevados de la ciudad de Bahía Blanca está vinculada con fallas estructurales y falta de mantenimiento de las juntas de contracción. La mayoría están vacías o rellenas con material granular incompresible. No se evidenció una relación entre el grado de deterioro y el comportamiento hidrodinámico de la franja capilar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CGAMA, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la prov. de Bs. As. y a la Universidad Nacional del Sur por el apoyo brindado. Este trabajo fue financiado por la CIC con un proyecto en el marco del programa de fortalecimiento de Centros.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BEREZOSKY, J., MARFIL, S. Y DI SCIULLO, N. (2018). Evaluación del deterioro de pavimentos de hormigón de rutas interurbanas de Bahía Blanca (provincia de Buenos Aires). *VIII Congreso Internacional, 22ª Reunión Técnica de la AATH, Olavarría, 449-456.*
- CALÓ, J., FERNÁNDEZ, E., MARCOS, A. Y ALDACOUR, H. (1999). Construcciones de mapas geológicos-ingenieriles a partir de conocimientos previos compilados en un sistema de información geográfica. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI), 13: 1-10.*
- EHE-08 (2008). Instrucción del hormigón estructural. *Suplemento del Boletín Oficial del Estado N° 203, España, 304 p.*
- EPERJESI, L., FERREIRA HIRSCHIY, E. Y VICENTE, A. (2010). Avances en la normalización de la resistencia a la carbonatación de estructuras de hormigón armado. *I Congreso Hormigón Premezclado de las Américas 2010, XII Congreso Iberoamericano del Hormigón Premezclado, IV Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón y 18ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Mar del Plata, 8 p.*
- CIRSOC 201 (2005). Reglamento argentino de estructuras de hormigón. *Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC), del Sistema INTI, 482p.*
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J.A. (1979). Groundwater. *Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 553p.*

- GRAHAM, T. (2005).
On the road to better management: An investigation into the benefits of managing the impacts of dryland salinity on roads.
Proceeding of the 49th Conference of Australian Agricultural and Resource Economics Society, 20p.
- GRIZINIK, M. Y HIRTZ, N. (2000).
Salinización en el ejido urbano de la ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. Evaluación y Propuesta de Saneamiento.
I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. São Paulo: ABAS, 17p.
- KLARIC, M.(2001).
Fisuración y ataques físicos al hormigón.
En Irassar, E.F. (Ed). Durabilidad del hormigón estructural. Argentina. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón: 47-95.
- KUTILEK, M. & NIELSEN, D. R. (1994).
Soilhydrology.
Catenaverlag, cremlingen-destedt, Alemania, 370p.
- LEXOW, C. Y BONORINO, A.G. (2003).
Definición de la franja capilar en un acuífero freático loésico somero.
III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea, vol.I, 179-187.
- LEXOW, C., PERA VALLEJOS, G. Y BAUER, E. (2017).
Comportamiento de la franja capilar en el sector oeste de la ciudad de Bahía Blanca.
XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán. Sección técnica 15, 65-66.
- LEXOW, C., SCHERGER, L. PERA VALLEJOS, G. Y BAUER, E. (2018).
Movilidad de sales por ascenso capilar a partir del acuífero freático en el sector sudoeste de la ciudad de Bahía Blanca.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI), 41:23-31.
- MEHTA, P.K. & MONTEIRO, P.J.(2006).
Concrete. Microstructure, Properties, and Materials
(3ªed.) New York, EEUU. McGraw-Hill, 659 p.
- MUALEM, Y. (1976).
A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media.
WaterResourcesResearch 12(3): 513-522.
- MUNICIPALIDAD DE BAHÍA BLANCA. (2016).
Subsecretaría de Gestión Ambiental, Área de Auditoría, Registros Ordenanza Municipal 10787.
- PÉREZ MARFIL P., BAUER, E., LESCANO, L., PERA VALLEJOS, G., PRIANO, C., BEREZOSKY, J. J., LEXOW C. Y MARFIL, S. (2017).
Causas del deterioro prematuro de pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca y rutas de acceso.
Su relación con la franja capilar. IV Cong. Internacional de la provincia de Bs. As. Quilmes, 1 p.
- PRIANO, C. (2011).
Evaluación del estado de conservación de los hormigones en ambientes urbanos, rurales y marinos de la ciudad de Bahía Blanca y su zona de influencia.
Tesis doctoral (inédita). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 289p.
- PRIANO, C., PÉREZ MARFIL, P., LESCANO, L. Y MARFIL, S. (2018).
Estudio estadístico del estado de conservación de pavimentos de hormigón del sector SE de Bahía Blanca (Buenos Aires).
VIII Congreso Internacional, 22ª Reunión Técnica de la AATH, Olavarría, 327-334.
- OSHIRO, A., BARONETTO, C., BELTRAMONE, C. Y POSITIERI, M. (2008).
Comportamiento de hormigones expuestos a condiciones naturales de alta agresividad química.
Exacta, 1: 93-108.
- SCHAAP, M. G., LEIJ, F. J. & VAN GENUCHTEN, M. TH. (2001).
Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions.
Journal of Hydrology, 251(3-4): 163-176.
- SCHERGER, L. E. Y LEXOW, C. (2018).
Impacto de la franja capilar en el área urbana de Bahía Blanca.
XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología y X Congreso Argentino de Hidrogeología. Vol.: Acuíferos Transfronterizos/El agua subterránea y las Ciudades/ Planificación y Gestión, 89-96.
- SCHERGER, L. E., LEXOW, C., ZANELLO, V. Y CARBAJO GASTOLDI, M. (2019).
Salinización de suelos de textura fina por ascenso capilar a partir del acuífero freático hipersalino somero (Bahía Blanca, Argentina).
Águas Subterráneas, 33(2): 159-170.

SIMUNEK J., SEJNA, M. & VAN GENUCHTEN, M. T. (2006).

The HYDRUS (2D/3D).

Software Package for Simulating the Two- and Three Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably Saturated Media. Version 1.0. Praga, República Checa: PC Progress.

VAN GENUCHTEN, M. T. (1980).

A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.

Soil Science Society of American Journal, 44(3): 892-898.



Soluciones estructurales de bajo impacto ambiental utilizando gaviones para la disminución del riesgo de inundaciones en una cuenca urbana. Aplicación en la cuenca del Ramal H, Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina

Low environmental impact developments using gabions for reducing flood risk in an urban basin. Application in the Ramal H basin, Tandil, Buenos Aires province, Argentina

Giaconi, Luis Mario¹ ✉ - Giaconi, Mario Nicolás² - Coelho Dos Santos, Gabriela³ - Tear, María Florencia⁴

Recibido: 03 de septiembre de 2018 • Aceptado: 30 de octubre de 2019

Resumen

Este trabajo reflexiona respecto a la conveniencia de la construcción de pequeñas presas semipermeables de gaviones sin embalses permanentes como complemento del sistema de regulación principal de las crecidas fluviales extraordinarias en las cuencas intraserranas en los alrededores de la ciudad de Tandil; utilizándose para ello materiales de construcción extraídos del macizo rocoso cristalino ígneo metamórfico que, por sus características geotécnicas optimizan las condiciones de estabilidad mineralógica y mecánica requeridas.

A los fines comparativos e ilustrativos, se tomó como ejemplo la cuenca hidrográfica que desemboca en el desagüe pluvial Ramal H, en Tandil, la cual posee 332,5 ha y una pendiente del 3,6 %. En la misma se ha realizado una única presa de regulación en hormigón de 19,8 metros de altura sin embalse permanente denominada Presa del Ramal H.

Ello permite una comparación efectiva de la complementariedad de ambas concepciones de obra civil. La realización de estas contenidas obras en las áreas cabecera de los valles afluentes provocará el retardo y aplastamiento del pico del hidrograma de crecida, lo cual posibilitará en el valle principal la construcción de obras de regulación tradicional (presas de hormigón, RCC, CFRD o de materiales sueltos, según sea el caso) de menor altura.

La adopción de este tipo de presas generaría marcados beneficios: a) relativo costo constructivo, b) atenuado impacto

1. Cátedra de Geología Aplicada, FCNyM, UNLP

✉ limgiaconi@gmail.com

2. Cátedra de Geotécnia. Facultad de Ingeniería, UNLP

3. Cátedra de Geología Aplicada, FCNyM, UNLP

4. Facultad de Ciencias Naturales, UNLP

ambiental y c) implicancia social: en su construcción y mantenimiento se requiere sólo de mano de obra local no especializada contándose con la disponibilidad de canteras de rocas cristalinas en las inmediaciones, poseyendo las mismas características geotécnicas adecuadas.

Palabras Clave: Tandil - cuencas intraserranas - crecidas - presas de gaviones - materiales - características geotécnicas.

Abstract

This work reflect on the convenience of the construction of small semipermeable gabion dams without permanent reservoirs as a complement of the main regulation system of the extraordinary fluvial floods in the intraserran basins around the city of Tandil; using construction materials extracted from the metamorphic igneous crystalline rock mass that, due to their characteristics, optimize the conditions of mineralogical and mechanical stability required.

For the comparative and illustrative purposes, the hydrographic basin that flows into the Ramal H storm drain, in Tandil, which has 332.5 ha and a slope of 3.6%, was taken as an example. In it, a single regulation dam was made in concrete, 19.8 meters high without a permanent reservoir called Presa del Ramal H.

This allows an effective comparison of the complementarity of both conceptions of civil works. The completion of these contained works in the headwaters of the tributary valleys will cause the delay and crushing of the peak of the flood hydrograph, which will make possible in the main valley the construction of traditional regulation works (concrete dams, RCC, CFRD or loose materials, as the case may be) of lower height.

The adoption of this type of dam would generate marked benefits: a) relative constructive cost b) attenuated environmental impact and c) social implications: in its construction and maintenance only local non-specialized labor is required, with the availability of crystalline rock quarries in the vicinity, possessing the same geotechnical characteristics suitable.

Keywords: Tandil - intraserran basins - floods - gabion dams - materials - geotechnical characteristics.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es consecuencia de la reinterpretación y ajustes del modelo hidráulico de un esquema oportunamente descrito (Giaconi et al, 2014) a lo que debe agregarse el estudio realizado sobre las rocas aquí propuestas como materiales de construcción.

En el año 2010 se ha finalizado la construcción de la denominada Presa del Ramal H en Tandil, Prov. de Buenos Aires, ciudad cuya ubicación geográfica se observa en la Figura 1. La presa de gravedad de hormigón se encuentra ubicada en el área sudeste de la mencionada ciudad, más precisamente en el sector comprendido entre las calles Larrea, Santos Vega, Tacuarí y López Osornio. Fue proyectada para laminar las recurrentes crecidas extraordinarias temporarias de una pequeña cuenca colectora de 332,5 ha, ubicada al pie de las sierras más altas del cordón de Tandilia, cuyas características particulares de alta impermeabilización del sustrato rocoso, creciente urbanización y pendientes elevadas del 3,6 % provocaba la concentración de los derrames precisamente en la entrada del conducto pluvial denominado ramal H.

Cuando el escurrimiento superficial de las precipitaciones sobre la mencionada cuenca, adquiriría una magnitud tal que el caudal de la lámina escurrida superaba la capacidad de conducción del pluvial denominado ramal H, se producía el derrame de dichos "excesos" pluviales inundando con frecuencia los barrios y zonas adyacentes ubicadas precisamente aguas abajo de la actual Presa del Ramal H. La Figura 2 ilustra sobre el sentido del escurrimiento fluvial de la cuenca, la ubicación de la presa y del ducto pluvial del ramal H en donde puede observarse, además, el alto grado de urbanización que la cuenca hidrográfica



Figura 1. Ubicación de la Ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires.



Figura 2. Vista general en planta de la cuenca y ubicación de la presa "urbana" Ramal H. Las flechas indican el sentido general del escurrimiento fluvial. La punta de la flecha superior izquierda señala además la entrada al ducto pluvial ramal H.

al momento posee por lo que la presa del ramal H podría ser considerada una presa urbana. La misma es una presa tradicional (Figura 3) que funciona por gravedad y sin embalse permanente. Posee 160 metros de longitud y una altura final sobre su nivel de fundación de 19,80 metros (Giacconi, et al. 2009 -*Flores y Giacconi. 2010 -Giacconi et al. 2012-2 y Giacconi et al. 2012-3*) y fue construida en hormigón de diferentes especificaciones según los requerimientos de la ingeniería.

Respecto al ducto ramal H (Figura 4), su caudal de diseño es de 4 m³/s, lo cual resultó insuficiente para conducir las crecidas que en dicha vía fluvial se producían recurrentemente, por lo general en períodos de cinco años aunque se han verificado últimamente recurrencias menores no periódicas.

Coadyuva en este sentido el continuo crecimiento de la urbanización de la pequeña cuenca lo cual aumenta el grado de impermeabilización de la misma provocando el incremento de la relación altura-caudal debido a los menores tiempos de escurrimiento para un mismo caudal dado. La presa, finalmente, regula el flujo de tal manera de ir permitiendo el desague de los excesos de manera controlada a los fines de optimizar el funcionamiento del conducto pluvial evitando la inundación.

La presa del ramal H es un claro ejemplo de presa urbana siendo que además, en la misma ciudad de Tandil, en la cuenca del A° Blanco sita al OSO de la cuenca que nos atañe, actualmente



Figura 3. Presa del Ramal H (Tandil) - Imagen aguas abajo tomada desde adyacencias al estribo de margen derecha. Sobre el estribo de margen izquierda pueden observarse las viviendas cercanas a la presa producto del desarrollo de la urbanización.



Figura 4. Vista de la entrada del ducto Ramal H.

no regulada pero realizados ya los estudios geológico-geotécnicos a nivel de prefactibilidad de la futura presa (Giaconi, et al. 2012-1 -Giaconi et al. 2014), el anteproyecto de ingeniería indicaría una presa de más de 350 metros de largo y una altura tal que obligaría a la posible construcción de una presa lateral a los fines de no inundar durante el desarrollo de la laminación de las crecidas las viviendas de los moradores y las cabañas de los numerosos emprendimientos turísticos sitios en el sector del embalse temporario.

A los fines de afirmar el criterio que nos inspira, es necesario comentar lo que también ocurre aguas arriba de la ciudad de Azul sobre el arroyo homónimo y el arroyo Videla. Es el caso de las presas La Isidora (sobre el A° Azul) y la presa Manantiales (sobre el A° Videla), cuyos estudios geológicos y geotécnicos fueron realizados anteriormente (Giaconi. 1993), pero en este caso los embalses temporarios se desarrollarían sobre un área de actividad agropecuaria.

OBJETIVO

Un objetivo del presente trabajo es proponer, desde el análisis hidráulico, la incorporación en los valles de las sierras de Tandilia pequeñas presas semipermeables de gaviones que actúen como complementarios disipadores permeables (Serra. 1980; Sainz Trápaga y Serra. 1983; Giaconi et al, 2016) del sistema de regulación principal de las crecidas extraordinarias lo cual permite proyectar y construir la presa principal de una menor altura redundando en beneficios tangibles dado el grado de urbanización alcanzado y/o desarrollo agropecuario en el área de implantación de las mismas, cuestiones éstas absolutamente necesarias de preservar.

Así, desde las nacientes o cabeceras de los pequeños valles afluentes al valle principal, se irán disponiendo las presas semipermeables en "cascada" (Giaconi et al. 2008) en intervalos que

se dimensionan en función de las condiciones hidráulicas de cada cierre y de la imprescindible condición de estabilidad de los gaviones por lo que la velocidad del flujo encauzado debe ser menor de 3,5 m/s a los fines de evitar efectos erosivos sobre los mismos.

Planteado lo antecedente, otra de las finalidades es la inserción de un aspecto de suma relevancia a los fines del desarrollo de la presente propuesta cual es la cercana existencia de actuales canteras de materiales graníticos del basamento que podrán ser utilizados como materiales de construcción en el llenado de los gaviones.

Los aspectos sociales inherentes en este caso no sólo se circunscriben al resguardo de las vidas y los bienes de las personas involucradas por la ocurrencia de las inundaciones, sino que también involucra a la generación de mano de obra local no calificada en la construcción y mantenimiento de los gaviones, cuestión no menor desde el análisis de la necesaria creación de nuevos empleos.

Finalmente, el desarrollo de la presente propuesta involucra muy firmemente los aspectos del ambiente, siendo que los impactos a generarse son de magnitud no significativa comparados con el impacto puntual de la existencia de una sola presa de regulación.

En síntesis, el objetivo del presente trabajo se encuentra centrado en:

- La evaluación del impacto de pequeñas presas de gaviones en la respuesta hidrológica de una cuenca urbana.
- La factibilidad del uso de material local para la construcción de dichas presas de gaviones.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Cuando se trata el problema de la ocurrencia o riesgo por inundaciones es conveniente definir espacio, frecuencia, la magnitud del fenómeno y los sectores o esferas socioeconómicas sujetas a afectaciones. Teniendo en cuenta que un mapa de riesgo por inundación puede tener varias facetas, es necesario disponer de una información razonablemente confiable, de manera que los resultados a obtener también puedan ser considerados seguros. En este caso, se obtienen teniendo en cuenta criterios de influencia integrada y la correlación de los principales factores físico-geográficos que provocan las inundaciones del terreno.

Para determinar y representar espacialmente el peligro que producen las inundaciones en la Cuenca del Ramal H, se han seleccionado varios indicadores físico-geográficos inherentes a esta cuenca, a partir de la superposición de mapas de litología, tipos de suelos, altura del terreno, pendiente y desarrollo urbanístico.

Una de las condicionantes principales para que una zona se inunde es la inexistencia en el sitio específico de suficiente gradiente como para que el agua escurra rápidamente, por lo que en dicho estancamiento de las aguas influye la topografía, siendo natural que los terrenos bajos se inunden más rápidamente que los altos. En el caso que abordamos, dicha ocurrencia se producía aguas abajo de la actual presa del ramal H, poseyendo el área de la cuenca sita aguas arriba de la mencionada presa, una pendiente del terreno de magnitud manifiestamente ponderable tal como ha sido mencionado anteriormente, cuestión ésta que se visualizará más adelante en la hipsometría relevada.

Teniendo estas condicionantes aceptadas se pasa a la siguiente en importancia: otro requisito para que ocurra la inundación en el territorio, es que ésta no se infiltre. Para ello la superficie sobre la que se acumule el agua debe ser impermeable, por lo tanto, es imprescindible ponderar las características de los suelos. Del análisis desarrollado en el presente ítem, éstos no poseen gran desarrollo tanto en el cómputo superficial como en los espesores detectados dadas las características mayormente rocosas de la cuenca.

Lo descripto anteriormente no constituyen todos los elementos que condicionan la formación de inundaciones, es necesario tener en cuenta también el perfil geológico inmediatamente subyacente a la superficie donde ocurre la inundación, por ello es necesario introducir otro indicador más: la litología. En este caso, ésta corresponde a las rocas cristalinas del Basamento Precámbrico (Giaconi et al. 2009) que no sólo constituyen el substrato, sino que afloran en superficie en alta proporcionalidad con una distribución prácticamente homogénea en toda la cuenca.

Después de analizados y definidos todos los elementos físico-geográficos que influyen en la amenaza, se escogió entonces la información contenida en los siguientes mapas:

1. Altura sobre el nivel del mar
2. Pendiente del terreno
3. Tipos de suelos
4. Litología
5. Desarrollo urbanístico

A lo antecedente debe agregarse el estudio de la cuenca en donde, entre otros elementos, se incorporan:

6. Precipitaciones de 2 años de recurrencia
7. Tiempo de concentración de las subcuencas
8. Método de transformación de precipitación-escorrentía (Hidrograma Unitario del U.S. Soil Conservation Service)
9. Perdidas (Número de curva del U.S. Soil Conservation Service)
10. Control sin regulación de las cuencas

A los fines específicos de la presente investigación y como corolario de la información mencionada y sintéticamente descripta, se dispuso de una serie de cierres hidráulicos sucesivos, tal como se ilustra en la Figura 10, a partir del relevamiento topográfico de detalle de cada uno de los cierres oportunamente ejecutado (Giaconi y Schang, 2014).

En los cierres, se proyectaron presas semipermeables de alturas no mayores a los 2 metros, lográndose desarrollos de hasta 90 metros de longitud y anchos de hasta 10 metros sin involucrar la necesaria existencia estructural e hidráulica de los reservorios o cuencos de disipación de la energía de la corriente con el objeto de mitigar la acción de la erosión retrocedente mediante flujos de salida de velocidades menores de 3,5 m/s.

Se propone disponer en la cuenca de aporte del Ramal H de 9 presas de gaviones semipermeables de las dimensiones descriptas dividiendo el área de aporte original en 10 subcuencas que varían su superficie entre 0,05 y 0,23 km². A continuación, en las Figuras 5 y 6 se puede observar la modelación empleada utilizando el software Slide de RocScience Inc. para el cálculo de la relación entre el volumen de almacenamiento y el caudal erogado por las presas de gaviones.

Dicho software permite calcular, para los distintos niveles líquidos del volumen retenido por las presas, el caudal unitario escurrido por la sección transversal del gavión. Con dichos valores y los datos topográficos se procede a calcular el caudal total escurrido para todo el desarrollo longitudinal del gavión y el volumen de agua retenido por el mismo. Se presentan a continuación en la Figura 7 las curvas volumen-caudal para las distintas presas de gaviones.

Para la evaluación de los escenarios propuestos se utilizó como herramienta computacional el programa HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) del US Army Corps of Engineers.

Se ha elegido el método del Hidrograma Unitario del U.S. Soil Conservation Service como Método de Transformación y el Método del Número de Curva como método para evaluar la escorrentía sobre la cuenca (Chow, 1983 - Chow et al. 1988), siendo los dos métodos de aplicabilidad en ambos casos: sin y con la complementariedad de las presas semipermeables.

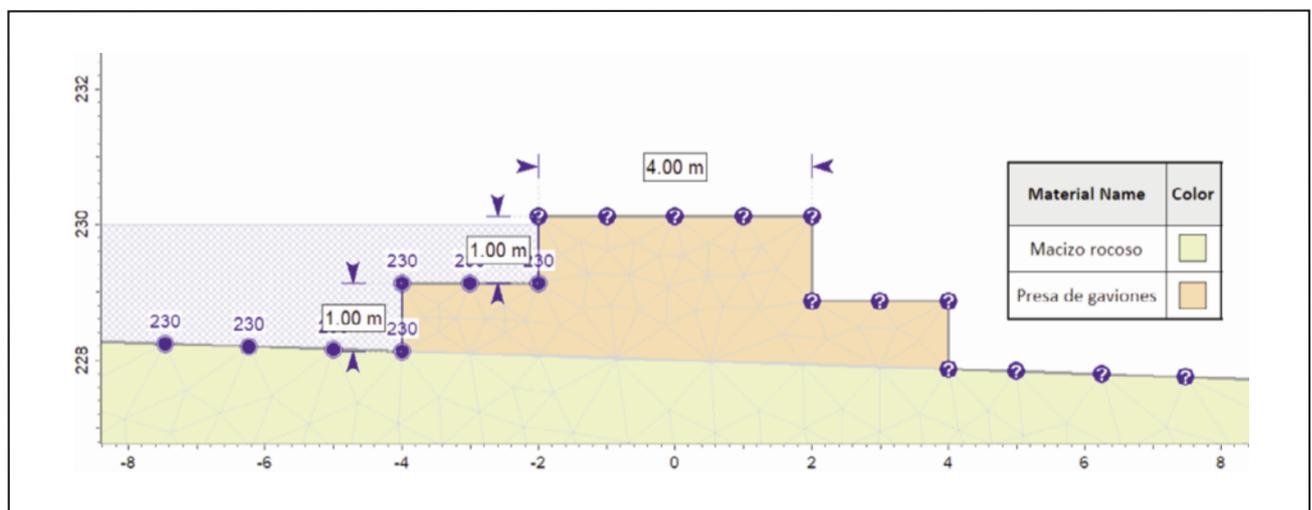


Figura 5. Modelo - presa de gaviones.

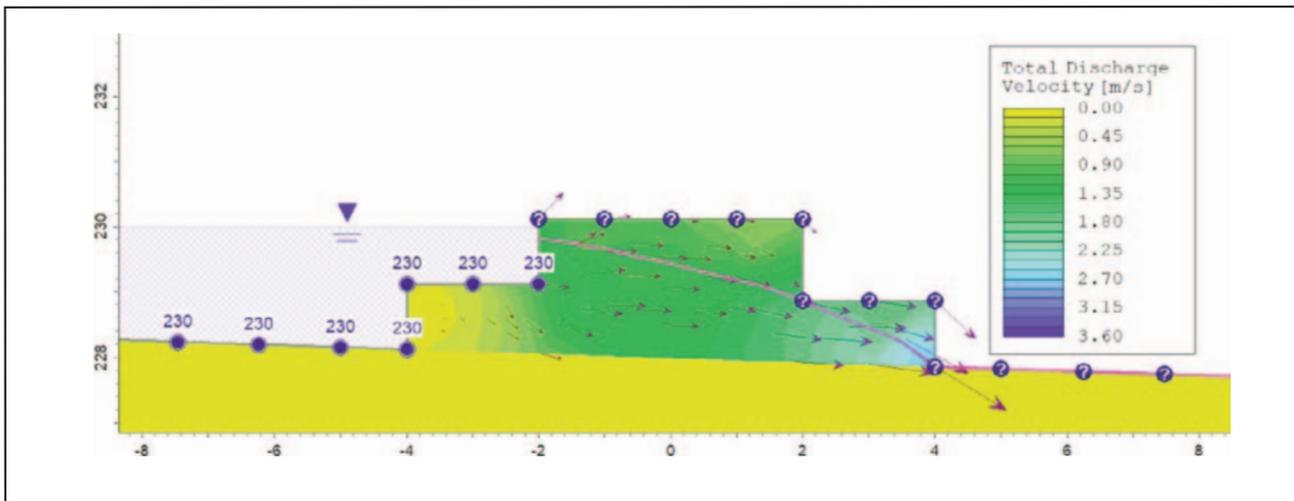


Figura 6. Resultado de la modelación - presa de gaviones.

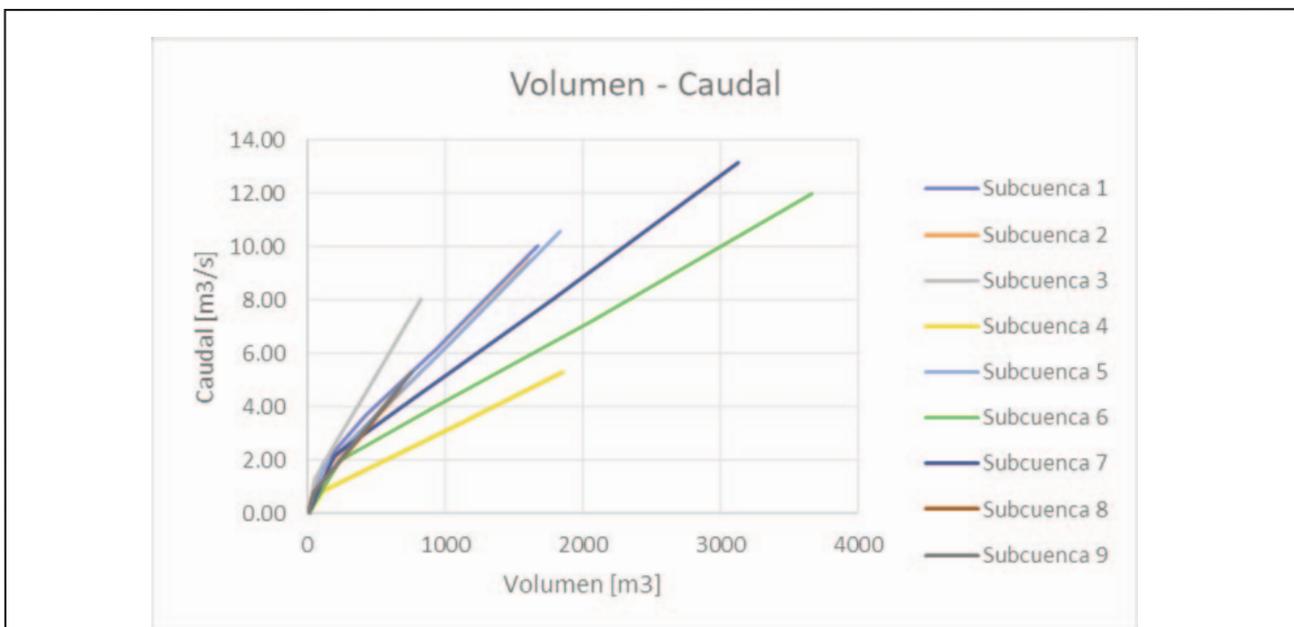


Figura 7. Curvas volumen [m³] -caudal [m³/s] (presas de gaviones).

El tiempo de concentración (t_c) es el tiempo que tarda una gota de la precipitación, desde el punto hidráulicamente más distante, en alcanzar la sección de pasaje que define a la cuenca. Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizó la fórmula de Kirpich (*SCS - 1940*), la cual estima el tiempo de concentración para pequeñas cuencas urbanas y con pendientes mayores al 1% mediante la fórmula:

donde:

$$t_c = \frac{0.02 * L^{0.77}}{S^{-0.385}}$$

t_c (min): tiempo de concentración, en minutos
 L (m): longitud del cauce principal, en metros
 S (m/m): pendiente media del cauce principal ($\Delta H/L$), en metros por metro

Para la lluvia de diseño se tomó una recurrencia de dos años y una duración de la tormenta de 8 horas, la distribución temporal del agua precipitada se presenta en la siguiente Figura 8.

Para el primer caso, la corrida de dicho modelo para una lluvia de recurrencia igual a 2 años se resume en las siguientes Tabla 1 y Figura 9.

La Figura 9 grafica el caudal vs tiempo que escurre como excedente superficial a través de la sección en donde se encuentra ubicada la presa del Ramal H. En abscisas se muestra el tiempo en horas y en ordenadas el caudal en m^3/s . En ella puede observarse el pico de la crecida ocurre a los 230 minutos del inicio de la lluvia de máxima precipitación para el periodo considerado y siendo su caudal de $11,8 m^3/s$

Posteriormente se pasa a componer la cuenca total en diez subcuencas (9 con presas gavionadas y la última (10) la remanente, que corresponde a la misma presa del ramal H). La configuración del modelo se resume en la siguiente Figura 10.

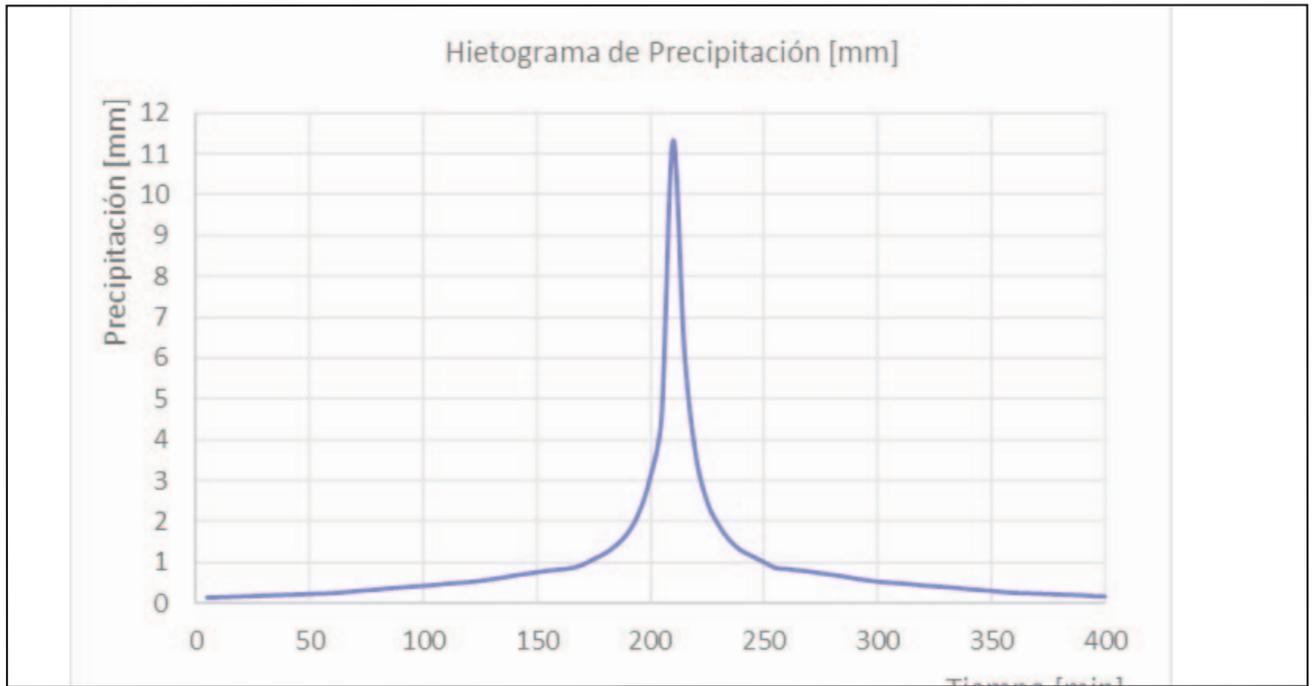


Figura 8. Hietograma de precipitación - Duración: 8 h - Recurrencia: 2 años.

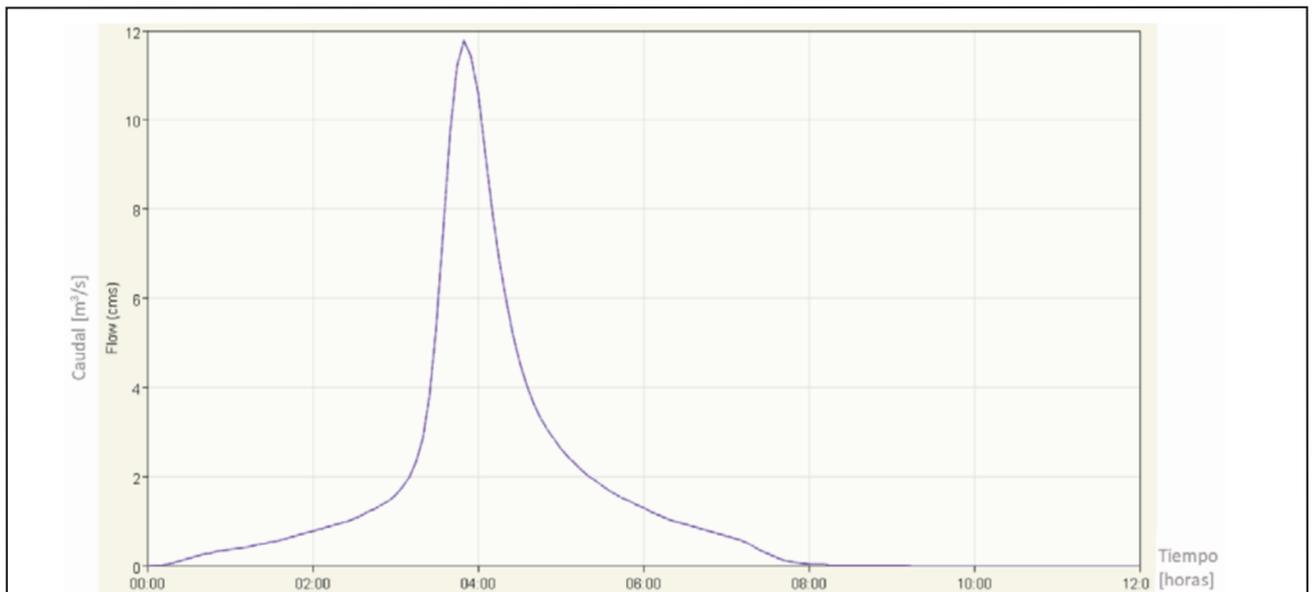


Figura 9. Cuenca del Ramal H. Diagrama caudal [m³/s] -Tiempo [horas] para el sistema sin presas de gaviones.

Tabla 1. Cuenca del Ramal H. Resultado del modelo sin cierres hidráulicos (presas de gaviones).

Sección: RAMAL H			
Inicio del modelo:	08Sep2019; 00:00	Modelo de cuenca:	SIN GAVIONES
Fin del modelo:	08Sep2019; 22:00	Modelo meteorológico:	Met 1
Fecha/Hora de la corrida:	08Sep2019; 20:08:22	Especificaciones de control:	Control 1
Resultados computados:			
Caudal pico:	11,80 m ³ /s	Fecha/Hora pico máximo:	08Sep2019; 03:50
Volumen:	53,05 mm		

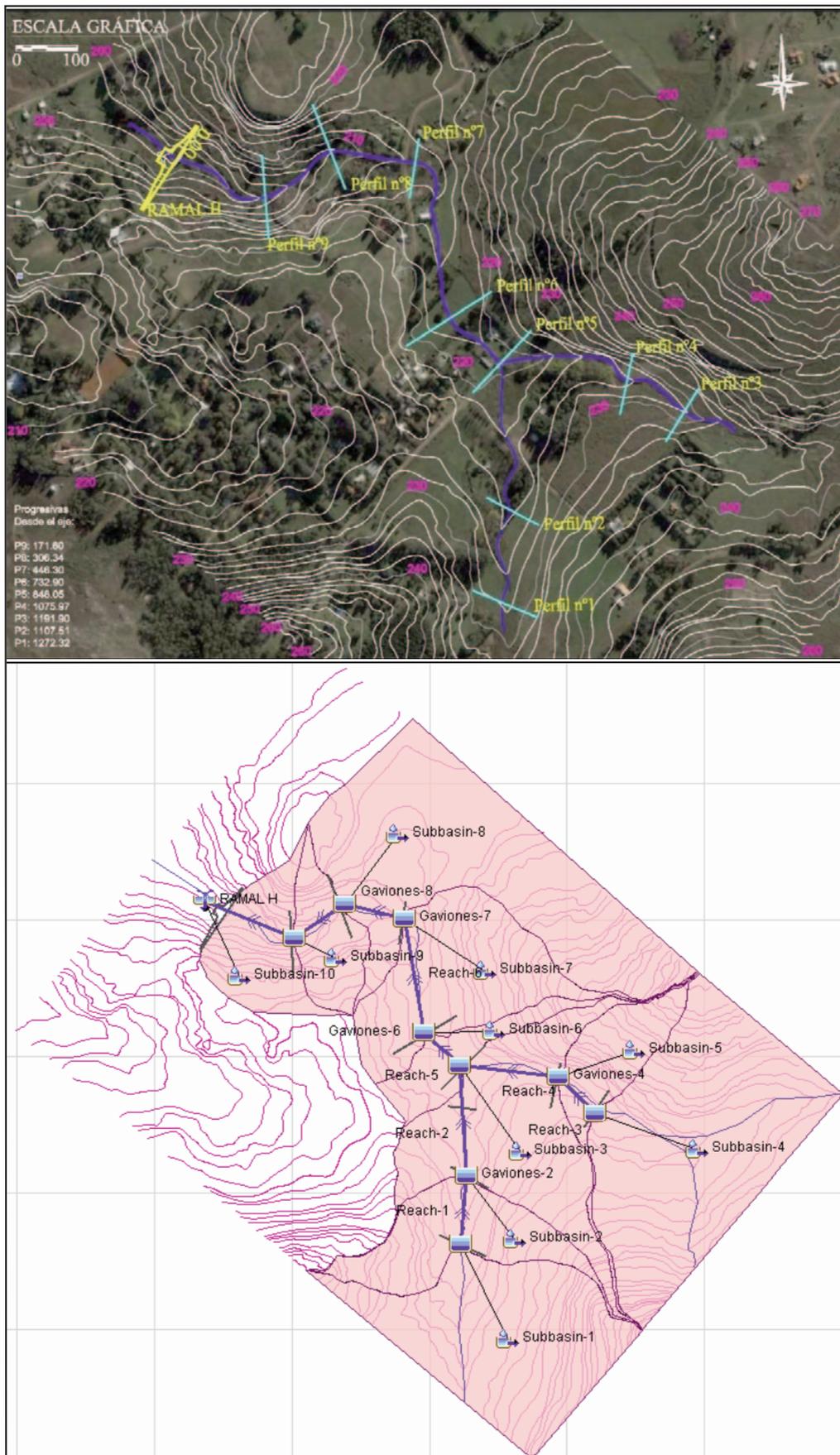


Figura 10. Cuenca del Ramal H. Escenario con complementarios cierres hidráulicos sucesivos mediante presas de gaviones

Cabe consignar que en la Figura 10, los cursos fluviales responden básicamente al rumbo de las estructuras del Tercer Dominio Tectónico: NW-SE (Teruggi, et al. 1980). El rumbo del eje de la presa del Ramal H es N40°E, siendo que la cota del terreno natural sobre el curso fluvial, en la progresiva 0,00, es 199,20 m. La equidistancia entre las curvas de nivel es de 2 m.

Las características geométricas y el tiempo de concentración (Tc) de las subcuencas delimitadas por las presas de gaviones se detallan en la Tabla 2 siguiente:

La salida de la modelación se resume en las siguientes Tabla 3 y Figura 11.

La Figura 11 grafica en línea llena el caudal vs tiempo que escurre como excedente superficial a través de la sección en donde se encuentra ubicada la presa del ramal H. En abscisas se muestra el tiempo en horas y en ordenadas el caudal en m³/s. La línea punteada representa el caudal que proviene de la subcuenca 9 inmediatamente aguas arriba de la sección en estudio y la línea inferior de puntos sucesivos al gasto proveniente de la lluvia de diseño que precipita sobre el área de la subcuenca 10, la que corresponde a la sección específica de la presa del ramal H.

Como puede observarse, la configuración de laminación de las crecidas de la cuenca con la integración complementaria de las nueve presas semipermeables de gaviones provoca una reducción del gasto en el pico de la crecida en la presa del ramal H de 11,8 m³/s de la situación original a 4,4 m³/s en el escenario modificado. Es decir, una reducción de alrededor de 63 %. También se observa que el pico de crecida ocurre a los 330 minutos iniciada la lluvia modelo, esto equivale a un retraso del pico en 50% dejando constancia que, para recurrencias mayores, se observaron achatamientos y tiempos de retardo similares.

La modelización desarrollada demuestra la efectividad del sistema de complementariedad propuesto por lo que la presa del ramal H, para el presente caso estudiado, sería igualmente funcional con una menor altura. Se advierte respecto a que la disminución de dicha altura no es lineal a la reducción del gasto del pico de crecida del 63 % ya que para ello son necesarios otros parámetros (p.ej. curva altura vs volumen de embalse, volumen de regulación, etc.) no considerados al momento por no ser el objetivo principal de la presente investigación. Sólo se ha tratado aquí de demostrar la eficacia teórica del sistema de complementariedad propuesto, tal como ha sido demostrado en el presente ítem.

Tabla 2. Características geométricas y tiempo de concentración de las subcuencas.

	Área [Km ²]	Long. L [m]	Desnivel ΔH [m]	Pendiente i [-]	Tc [min]
Subcuenca 1	0,160	500	22	0,044	8,0
Subcuenca 2	0,074	158	26	0,165	2,0
Subcuenca 3	0,137	461	36	0,078	6,0
Subcuenca 4	0,227	586	24	0,041	9,3
Subcuenca 5	0,048	335	32	0,096	4,3
Subcuenca 6	0,035	112	24	0,214	1,4
Subcuenca 7	0,115	280	37	0,132	3,3
Subcuenca 8	0,226	750	48	0,064	9,4
Subcuenca 9	0,041	132	24	0,182	1,7
Subcuenca 10	0,056	169	27	0,160	2,1

Tabla 3. Cuenca del Ramal H. Resultado del modelo con presas de gaviones.

Sección: RAMAL H			
Inicio del modelo:	08Sep2019; 00:00	Modelo de cuenca:	CON GAVIONES
Fin del modelo:	08Sep2019; 22:00	Modelo meteorológico:	Met 1
Fecha/Hora de la corrida:	08Sep2019; 20:25:19	Especificaciones de control:	Control 1
Resultados computados:			
Caudal pico:	4,40 m ³ /s	Fecha/Hora pico máximo:	08Sep2019; 05:30
Volumen:	53,05 mm		

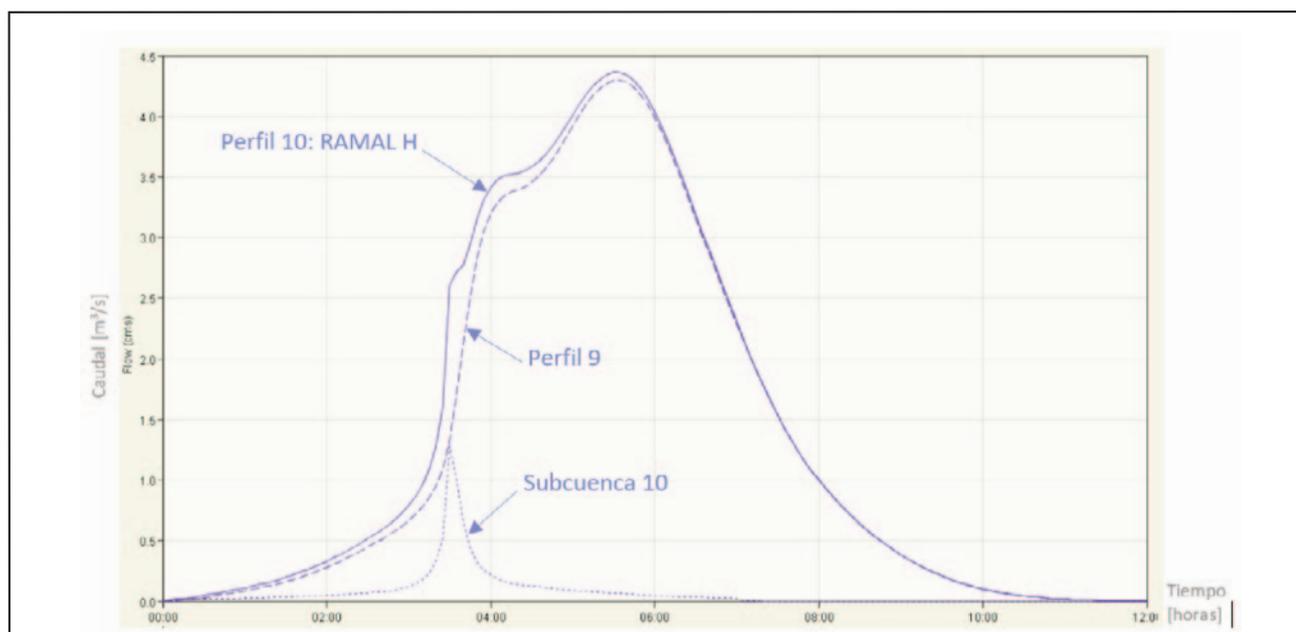


Figura 11. Cuenca del Ramal H. Diagrama caudal [m³/s] - Tiempo [horas] con el sistema de presas de gaviones incorporado.

Demostrada la viabilidad hidráulica del sistema de complementariedad propuesto, se desarrolla a continuación una descripción de los constituyentes estructurales de las presas semipermeables y las características intrínsecas y disponibilidad de los áridos constitutivos como relleno de dichas estructuras conformadas básicamente por gaviones.

ESTRUCTURA DE LAS PRESAS SEMIPERMEABLES - GAVIONES

La estructura de las presas semipermeables que se proponen se encuentra constituida por el entrelazado o combinación de gaviones. Estos pueden definirse como estructuras monolíticas producidas con malla de hilo de acero dulce galvanizado y cocido en doble torsión, amarrados en sus extremidades y vértices por hilos de diámetro mayor, rellenos con piedras (áridos), tornándolo permeable, flexible y de gran durabilidad y resistencia. Son muy utilizados en aplicaciones geotécnicas, hidráulicas y ambientales como lo que aquí se propone, en sustitución de los grandes bloques de piedra que son de difícil transporte y manejo. Los hay de diferentes tipos siendo los más importantes las denominadas colchonetas y cajas (*Officine Maccaferri S.P.A. 1981 y 1988*). Sus características principales son: a) Flexibilidad: pueden acompañar asentamientos o acomodamientos sin perder su eficiencia y función estructural. b) Monoliticidad: debido a la presencia de malla de acero, el peso propio y el carácter monolítico, las estructuras de gaviones son capaces de resistir esfuerzos de tracción y empujes generados por el terreno y cargas adyacentes. c) Durabilidad: el revestimiento zinc -aluminio asegura la durabilidad por muchos años y la protección adicional del alambre con material plástico garantiza la integridad de la estructura en ambientes agresivos o contaminados. d) Permeabilidad: los gaviones son permeables y drenantes permitiendo el flujo de aguas de escorrentía o de percolación, aliviando los empujes hidrostáticos y optimizando las secciones de dichas estructuras. e) Total integración al ambiente: se adaptan a cualquier ecosistema

ya que permiten el paso del agua y, al estar constituidos por materiales inertes, favorecen la recuperación rápida de la fauna y flora local. f) En su armado y construcción no requiere de mano de obra especializada por lo que ello puede realizarse sin mayores indicaciones específicas, lo cual constituye, como ya fue expresado una ventaja o beneficio desde el punto de vista social, toda vez que la construcción como así también el mantenimiento de los mismos puede realizarse con mano de obra local. g) Inmediatez de funcionamiento: inmediatamente después de haber sido montados, rellenos y cerrados, los gaviones están listos para desarrollar su función permitiendo la construcción de la obra en etapas y eventuales ampliaciones y/o modificaciones. h) Comparadas a otras técnicas constructivas, las estructuras en gaviones presentan costos directos e indirectos más bajos (*Giaconi y Sainz Trápaga. 1995*).

CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRIDOS PARA SU EMPLEO EN LOS GAVIONES

Los áridos a utilizarse proceden del laboreo mediante voladuras de las canteras de la región y han sido sometidos únicamente a procesos mecánicos de machaqueo por lo que presenta formas angulosas debido precisamente a la fracturación mecánica producida para su obtención.

Respecto a las características generales de los áridos es menester que las rocas que se colocarán en los gaviones sean resistentes, libre de grietas o fisuras, de textura uniforme, de baja absorción de agua debiendo presentar los bloques resultantes de la extracción en cantera una granulometría adecuada acorde a las condiciones de estabilidad del conjunto. Respecto a las características particulares se debe tener en cuenta:

Peso específico: debe ser igual o mayor de 26 kN/m³, los ensayos se realizan según Norma IRAM 10602. Mecánica de Rocas. Método de determinación de densidad.

Absorción: debe ser menor al 1,5%, los ensayos se realizan según Norma IRAM 10603. Mecánica de Rocas. Método de determinación del índice de vacíos por la técnica de absorción rápida. Durabilidad: la pérdida debe ser menor al 13%. Norma IRAM 10606. Mecánica de Rocas. Método de determinación de la durabilidad por humedecimiento y secado.

Resistencia a la compresión simple: debe ser > 50 MPa. Según la Norma IRAM 10536. Mecánica de Rocas. Método de ensayos de compresión.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Análisis y producción de áridos para el llenado de los gaviones

Respecto a los áridos, a estos fines aplicados es necesario conocer:

- 1) Aptitud geotécnica
- 2) Distancia a la obra a construir
- 3) Volumen necesario.

En la Provincia de Buenos Aires la actividad minera productora de los áridos necesarios para el llenado de los gaviones se desarrolla precisamente en el mismo ámbito de las Sierras Septentrionales o Sistema de Tandilia, con la extracción en canteras de rocas graníticas del basamento precámbrico, de origen ígneo y metamórfico, habiendo numerosos emprendimientos comerciales en las inmediaciones de las obras por lo que los volúmenes requeridos, las relativas cortas distancias desde el sitio de extracción y el devenir relativo bajo costo de transporte, favorecen la ecuación económica de costo de las obras.

En general, en el basamento cristalino se presenta una típica asociación de rocas ígneo-metamórficas compuestas por gneises graníticos a tonalíticos, migmatitas, anfibolitas, esquistos, mármoles y granitoides (*Dalla Salda et al. 2005*).

Respecto a la aptitud geotécnica, los estudios característicos son:

- Tipo de roca
- Estado de la fisuración
- Parámetros geotécnicos: peso específico, resistencia, durabilidad, absorción de agua, etc.

Los áridos obtenidos mediante trituración de las rocas del basamento, poseen cualidades de resistencia al pulimento que los hace idóneos para garantizar la textura superficial necesaria durante un largo periodo de tiempo por lo que son especialmente adecuados para su empleo como árido grueso, denominándose como tal al constituido genéricamente por las fracciones de tamaños superiores a 2,5 mm.

Para caracterizar estas fracciones es necesario en general conocer sus propiedades particulares como la forma de sus partículas, su resistencia, absorción, etc., siendo para el caso que nos ocupa la granulometría una de las características físicas fundamentales del árido pues influye significativamente en su resistencia mecánica.

En Olavarría, Azul, Tandil y Balcarce, existen canteras en explotación, produciendo no sólo triturados pétreos para elaboración de hormigones, pavimentos, balasto para vías férreas, etc. (los triturados más comunes se comercializan en granulometrías 0/6, 6/12, 6/20, 10/30 y 30/50), sino también como piedra bruta para escollera. Siendo que la granulometría de los bloques para escollera (superiores al metro cúbico) excede a la granulometría

de máximo medio metro cúbico (tamaños pedraplén-escollera) necesaria para el llenado de los gaviones, sólo es necesario acondicionar la operación de extracción en cantera a estos fines, siendo que por lo general el producto granulométrico resultante de la rompedora primaria posee condiciones acordes a las necesidades expuestas.

En la producción de piedras trituradas de Tandilia, la extracción del material se realiza mediante el procedimiento de perforación de la roca y su voladura controlada en función del tamaño del producto requerido. A partir de esta etapa el material para la producción de piedras trituradas, es cargado y trasladado a la planta de trituración mediante palas cargadoras y volquetes, lugar donde el material se tritura en equipos adecuados, se los clasifica mediante zarandas y se los apila según la granulometría requerida.

El tipo de extracción y la estructura del macizo rocoso, produce bloques de angulosidad y rugosidad requeridas y formas tipo prismático y/o equidimensional que se adaptan perfectamente a lo requerido para el llenado de gaviones.

La angulosidad de las partículas del árido grueso es tenida en cuenta para su caracterización ya que, junto a las características rugosas superficiales, influye en la resistencia del esqueleto mineral, por su contribución al rozamiento interno.

Otra de las características del árido grueso de bloques para pedraplén es el peso específico debido a que la estabilidad de las estructuras se encuentra dada fundamentalmente no sólo por su angulosidad y rugosidad sino también por su propio peso sobre la fundación. Ello es lo que soporta el empuje hidráulico mientras se produce el proceso de desembalse a través del paso del agua por los áridos de la presa gavionada misma. En este caso, sólo el peso específico de las rocas ígneo-metamórficas del basamento cristalino de Tandilia, alrededor de 26 kN/m³, resultan adecuadas a este propósito, habiéndose obtenido en muestras de cantera en las cercanías de Tandil valores que superan el mencionado peso específico, variando entre 28 kN/m³ a 31 kN/m³ (*Tear et al. 2017*)

La resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor también predominante en la evolución del comportamiento después de su puesta en servicio. La evaluación de dicha resistencia se realiza mediante ensayos basados en la determinación de la resistencia intrínseca de la matriz rocosa de las rocas medida sobre probetas a través de la ejecución de ensayos de resistencia uniaxial o también denominados ensayos de compresión simple. Los valores obtenidos a través de los mismos sobre rocas sanas, grado de alteración A1 (*Engineering Geology of Earth. Dearman et al. 1989*), de composición básicamente granítica arrojan valores que varían entre 50 y 120 MPa e incluso superiores llegando a mayores a 250 Mpa (*Giacconi. 2009*), valores estos que denotan la existencia de áridos resistentes, sin inconvenientes para su uso con el propósito expuesto. Respecto a la absorción de agua y durabilidad por humedecimiento y secado, las rocas de origen ígneo metamórfico inalteradas o con bajo grado de alteración, grados de alteración 1 y 2 respectivamente, (*Dearman et al. 1989*), tratadas cumplen sin objeciones lo estipulado en las normas IRAM 10603 y 10606 respectivamente. Valores obtenidos sobre muestras de cantera arrojan como resultado tenores muy bajos de absorción: 0,2 a 0,5 (*Tear et al. 2017*), siendo que el congelamiento dado el clima imperante a la latitud y cota de las Sierras de Tandilia es prácticamente no significativo a los fines de la desintegración físico-mecánica de los áridos a través del tiempo.

Respecto a la petrografía de los áridos y a los fines ilustrativos, se tomaron muestras de roca extraídas de canteras en las cercanías de Tandil, realizándose las respectivas descripciones microscópicas (Tear *et al.* 2017). La descripción de secciones delgadas de los distintos lito-tipos se realizó con un microscopio petrográfico Olympus, modelo BH2-UMA.

La clasificación de las distintas muestras de roca se brinda a continuación:

Muestra Tandil T1 (Figs. 12 y 13)

Roca metamórfica de tamaño de grano medio a grueso, textura inequigranular, porfiroblástica y fábrica isótropa. Mineralógicamente presenta alrededor de un 40% de porfiroblastos

inalterados de feldespato potásico, de tipo microclino perítico y ortosa, de tamaños entre 3 y 2 mm. Un 30%, aproximadamente de plagioclasas euhedrales a subhedrales de tamaño promedio 1 mm y con evidencias de microestructuras de deformación (maclas ahusadas) y presentan una conspicua alteración a sericita. Los cristales de cuarzo (Qz) anhedral, de aproximadamente 1 mm, se presentan con extinción ondulosa y migración de bordes de granos, inmersos en una matriz de cuarzo recrystalizado a subgranos poligonales de menos de 20 µm. Se observan además algunos minerales máficos como anfíboles muy cloritizados, menores a 1 mm, dispuestos entre los porfiroblastos félsicos, y titanita como mineral accesorio. La Roca se clasifica como migmatita.

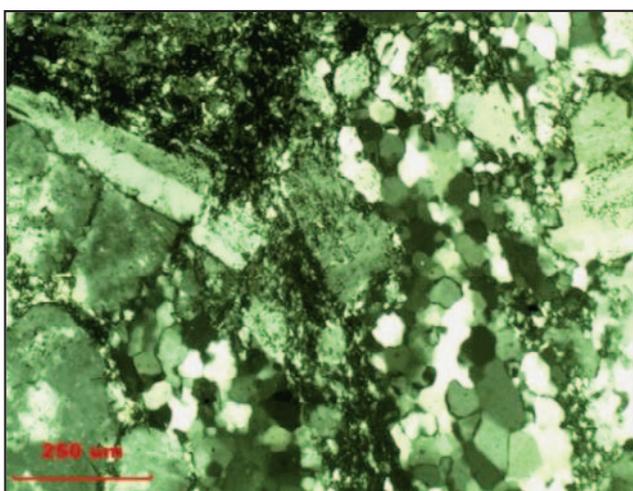


Figura 12. Se puede visualizar los granos de Qz de la matriz recrystalizados a subgranos y con desarrollo de bordes de grano y extinción ondulosa. A la izquierda: un cristal de feldespato con macla de Carlsbad.

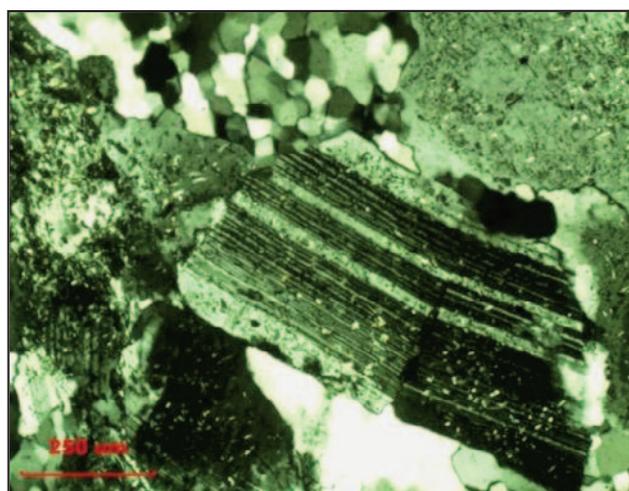


Figura 13. Cristal de Plagioclasa con alteración a sericita. Granos de Qz alrededor recrystalizados.

Muestra Tandil T2 (Fig. 14 y 15)

Roca metamórfica de textura granoblástica y estructura isótropa. Composicionalmente presenta un 40% de feldespatos y plagioclasa, con tamaños máximos de 2 mm a mínimos de 0,5 mm, de muy a completamente alterados y con evidencias de deformación, rodeados por trenes Qz y biotitas alteradas. El Qz constituye un 30% de la muestra, presenta tamaños máximos de 1,5 mm y mínimos de 400 µm, los granos mayores poseen extinción ondulosa en bandas, desarrollo de subgranos y reabsorciones de borde. Los granos de plagioclasas se hallan alterados a sericita, biotitas con bordes regulares y, en menor medida, a calcita y cloritas.

El 30% restante lo constituyen los mafitos, principalmente biotitas alterando a plagioclasas y biotitas relictuales altamente alteradas a cloritas, con signos de deformación en sus bordes y asociadas a titanita acicular. También se detectan abundantes apatitas y anfíboles de aproximadamente 1,5 mm, alterados a cloritas y biotitas con inclusiones de circones. La roca corresponde a una migmatita.

CONCLUSIONES

En función del objetivo en que se encontraba centrado en presente trabajo, lo expuesto a lo largo del mismo determina la factible implantación de un sistema integrado de contenidas presas de gaviones semipermeables en los valles afluentes con presas de gravedad de estructura tradicional, sean éstas de hormigón, CFRD, RCC o de materiales sueltos según sea la dimensión de los valles principales y las características determinadas de la geología y la geotécnica del subsuelo de fundación a los fines de su estabilidad y seguridad.

Así, el cálculo hidrológico y la modelización hidráulica determinan una ganancia apreciable respecto a la respuesta hidrológica de la cuenca a favor de la implantación del sistema de complementariedad expuesto vs. el sistema de regulación de crecidas extraordinarias mediante una única presa en el valle principal.

Las parametrizaciones realizadas han determinado un caudal 63 % menor en el pico máximo de crecida en un tiempo comparativo mayor del 50 % a favor del sistema propuesto en

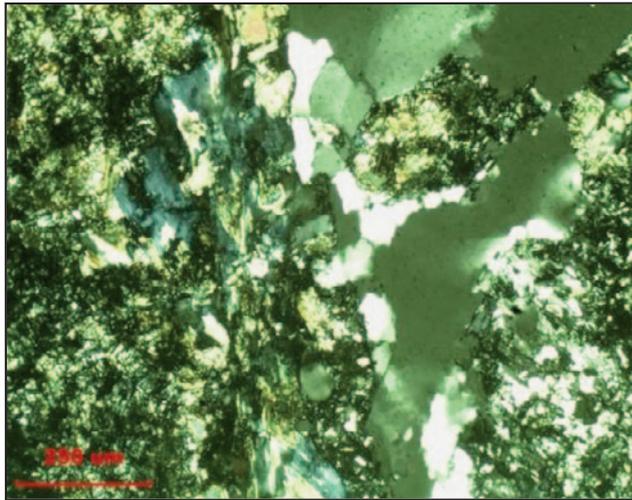


Figura 14. Centro-izquierda: Abundante alteración y presencia de cloritas. A la derecha: granos de cuarzo con deformación.

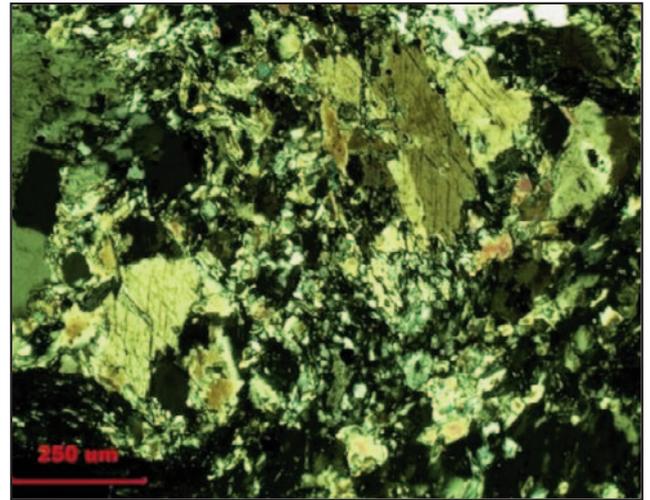


Figura 15. Secciones basales de anfíboles.

el presente trabajo. Ello produce como consecuencia el diseño de una menor altura en la presa principal y menor vulnerabilidad acuífera freática (Giaconi, 2008) con su consecuente ventaja desde el punto de vista no sólo económico y ambiental sino también respecto a la oportunidad de ejecución ya que, como se ha descrito en párrafos anteriores, en muchos lugares de Tandilia el avance de la urbanización complica en grado sumo el desarrollo de los sistemas de laminación a través de una única presa de regulación aún con embalses temporarios, como el caso expuesto en la cuenca del A° Blanco (Giaconi et al, 2014).

Por otra parte, las rocas ígneo-metamórficas del Basamento constituyen el presupuesto básico para la obtención de áridos gruesos de inmejorable condición geotécnica dado sus pesos específicos, resistencia a la compresión, baja absorción de agua, alta durabilidad y rugosidad posibilitándose mediante su explotación en cantera, la obtención de granulometrías acorde a las necesidades de uso para el llenado a mano, e incluso mecánica, de los gaviones constituyentes de los cuerpos de las presas semipermeables.

APRECIACIONES DE LOS AUTORES

Finalmente, respecto a la implantación de las presas semipermeables de gaviones como primarios elementos complementarios del sistema de regulación de crecidas principal, los beneficios tangibles se pueden enumerar de la siguiente manera:

- a) Contenidos estudios básicos debido al bajo compromiso de la fundación de las mismas.

- b) Excelente seguridad (pequeños volúmenes temporalmente embalsados en zonas no pobladas).
- c) Rápida y fácil reparación en caso de rotura.
- d) Posibilidad de pequeños emplazamientos “en cascada”.
- e) La actividad de varios “cuencos disipadores” que producirían como resultado una menor velocidad del flujo con la consecuente menor magnitud erosiva fluvial.
- f) Las presas propuestas toman al flujo de crecida en el primer sector del encauzamiento donde volumétricamente es factible controlar.
- g) Una sensible disminución de los procesos de erosión retrocedente,
- h) Ocupación de pequeñas áreas (implica un impacto social más equilibrado).
- i) Menor costo de las expropiaciones.
- j) Menor altura de la presa principal del sistema de regulación.
- k) Existencia cercana a las obras de volúmenes y calidades geotécnicas de áridos acordes a los requerimientos del tipo de obra propuesto.

Todo lo cual se resume en: 1) Atenuado impacto ambiental, 2) Bajo costo constructivo y 3) Implicancia social: en su construcción y mantenimiento se requiere sólo de mano de obra local no especializada contándose con la ventaja de la disponibilidad de canteras de áridos de rocas cristalinas en las inmediaciones. En definitiva: un menor costo económico y ambiental.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CHOW, V. T. 1983.
Hidráulica de los Canales Abiertos.
Editorial Diana, México.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. 1988.
Hidrología Aplicada,
McGraw-Hill International Editions.

- DALLA SALDA, L; DE BARRIO, R; ECHEVESTE, H. Y FERNÁNDEZ, R. 2005.
El Basamento de las Sierras de Tandilia. Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires.
Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata. Págs. 31 a 50.
- DEARMAN, W.R; SERGEEV, E. Y SHIBAKOVA, V. 1989.
Engineering Geology of the Earth.
1° Edition. Moscú.
- FLORES, R. M., GIACONI, L. M. 2010.
“Aspectos geotécnicos de la fundación del Ramal H”.
CAMSIG 2010. Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. Mendoza (Argentina).
- GIACONI, L. M. 1993.
Estudio geológico geotécnico de la fundación de obras de regulación de crecidas extraordinarias y de las áreas de embalse de los A° Azul y Videla. Sierras de Tandilia, Partido de Azul.
Gago Tonin Ingenieros Consultores. Ex Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires (actual Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas). Informe inédito
- GIACONI, L. M., 2008.
“Aspectos geoambientales de Tandil. Vulnerabilidad del acuífero freático y sus implicancias ambientales”.
Actas del XVII Congreso Geológico Argentino. Jujuy. ISBN 978-987-22403-1-8. Págs. 1135 -1136.
- GIACONI, L. M., CALVETTY, B., GIACONI, M. N. 2012-1.
“Aspectos geológico-geotécnicos preliminares de la presa del A° Blanco. Tandil, (Prov. de Buenos Aires)”.
Resumen. 10° Simposio ASAGAI. Villa Carlos Paz (Córdoba). 2 Págs.
- GIACONI, L. M., CALVETTY, B., GIACONI, M. N. 2014.
“Aspectos geológico-geotécnicos preliminares de la presa del A° Blanco. Tandil, (Prov. de Buenos Aires)”.
Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI)
- Catálogo Latindex - ISSN 1851 - 7838. Revista Nro. 32.
- GIACONI, L. M., FLORES, R. M., GIACONI, M. N. 2012-2.
“Tratamiento geotécnico de la fundación de la presa del Ramal H, Tandil, mediante inyecciones cementíceas”
. Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI)
- Catálogo Latindex - ISSN 1851 - 7838. Revista Nro. 29 (Diciembre 2012). Págs. 23 a 40.
- GIACONI, L. M., FLORES, R. M., GIORDANO, R., CUMBA, A., DE LUCA, E. GIACONI, M. N. 2012-3.
“Excavación fina y saneamiento dental de la fundación de la presa del Ramal H, Tandil (Prov. de Buenos Aires)”.
Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI)
- Catálogo Latindex - ISSN 1851 - 7838. Revista Nro. 29. Págs. 01 a 12.
- GIACONI, LUIS MARIO Y GIACONI, MARIO NICOLÁS. 2014.
“Complementariedad de la laminación de crecidas extraordinarias en las Sierras de Tandilia mediante pequeñas presas semipermeables de gaviones utilizando áridos de rocas cristalinas del Basamento Precámbrico”.
II Congreso Argentino de Áridos. Buenos Aires. 9 al 12 de noviembre de 2014. Tomo II - Págs. 795 a 806.
Con Referato.
- GIACONI, L. M., GIORDANO, R, CUMBA, A. 2008.
“Alternativa ambiental para la regulación de torrentes mediante presas de gaviones en la ciudad de Tandil”.
Actas del XVII Geológico Argentino. Jujuy. ISBN 978-987-22403-1-8. Págs. 1137 - 1138.
- GIACONI, L. M., GUICHÓN, M, GIORDANO, R., CUMBA, A. 2009.
“Criterios conceptuales del análisis geotécnico de macizos rocosos utilizados para la construcción de una presa de gravedad en hormigón en la cuenca del Ramal H (Tandil)”.
IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología -II Reunión del Cuaternario de América del Sur. La Plata.
ISBN 978-950-34-0597-0. Págs. 536 - 544.
- GIACONI L. M., SAINZ TRÁPAGA, J. 1995.
“Regulación de pequeñas cuencas intraserranas sin embalse permanente en las Sierras de Tandil. Conveniencia de presas semipermeables de gaviones. Adaptación al ambiente”.
Cuartas Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Tomo II, págs. 37 a 45. Junín. Provincia de Buenos Aires.
- GIACONI, L. M. Y SCHANG, P. 2014.
Relevamiento topográfico de detalle de posibles cierres hidráulicos sobre los arroyos Ramal H superior, Manantiales y Ramal H Inferior. Cuenca del Ramal H. Tandil.
Informe Inédito
- KIRPICH, Z.P. 1940.
Time of concentration of small agricultural watersheds.
Civil Engineering, 10, 6, pp. 362
- OFFICINE MACCAFERRI S.P.A. 1981.
Diques Flexibles para la Sistematización y Derivaciones Hidráulicas,
Bologna - Italia.

- OFFICINE MACCAFERRI S.P.A. 1988.
Obras de Sistematización y Defensa Hidráulica, Ghiacci y Papetti.
Bologna - Italia.
- SAINZ TRÁPAGA, J. Y SERRA, J. 1983.
Presa Permeable Arroyo Pedregoso Sur - Epuyén,
Publicación de la Dirección General de Estudios y Proyectos, Provincia del Chubut.
- SERRA, J. 1980.
Conceptos y Fundamentos Hidráulicos de los Disipadores Permeables,
Publicación de la Dirección General de Estudios y Proyectos, Provincia del Chubut.
- TEAR, MARÍA F; COELHO, GABRIELA; GIACONI, LUIS M. 2017.
Características petrográficas y geotécnicas de muestras de áridos de cantera de las Sierras Septentrionales de Tandilia:
Olavarría, Azul y Tandil.
Cátedra de Geología Aplicada, FCNyM. UNLP. Informe Inédito.
- TERUGGI, M. E. Y KILMURRAY, J. O. 1980.
Sistema Septentrional de la Provincia de Buenos Aires.
Geología Regional Argentina. Vol. II. Córdoba. Pg. 919 a 965.



La técnica del cociente espectral H/V como herramienta para la determinación de estructuras ciegas. Un caso de estudio en la ciudad de Mendoza, Argentina

H/V spectral ratio technique as a tool for detection of blind structures. A study case in Mendoza city, Argentina

Giolo, Emilce - Calderón, Francisco ✉ - Pagano, Sebastián - Vía Gatica, Sebastián - Frau, Carlos

Recibido: 13 de enero de 2019 • Aceptado: 01 de diciembre de 2019

Resumen

El mapeo de fallas, lineamientos y otras estructuras geológicas resulta de gran interés tanto en el campo de la geología como en la ingeniería. Es aceptado por la comunidad científica que la existencia de estructuras ciegas no siempre pueden ser identificadas mediante las técnicas usuales de análisis del terreno, y su análisis requiere del estudio a través de métodos de observación indirecta. En este trabajo se presenta la técnica del cociente espectral H/V aplicado a vibraciones ambientales (también llamados microtremores), las cuales son obtenidas con acelerómetros o sismómetros. Este método da como resultado la frecuencia (f) o periodo ($T= 1/f$) de vibración fundamental del sitio en que se realiza la medición de vibraciones. Con este parámetro es posible identificar o sospechar la presencia de estructuras sin expresión morfológica o indicios geológicos en superficie. Esta información de obtención expeditiva puede ayudar a direccionar estudios confirmatorios más específicos en superficie o en subsuelo. El trabajo describe la técnica y sus fundamentos a la vez que se presentan tres casos de estudio en las cercanías de la Ciudad de Mendoza. En los dos primeros casos se presentan mediciones en lineamientos perpendiculares a la traza de la falla de Divisadero y de la falla La Cal. El tercer caso reúne los resultados de mediciones realizadas en la ciudad de Mendoza y son presentados en forma de mapa. Los resultados muestran la variación de frecuencia o periodo a ambos lados de la traza de las fallas en los dos primeros casos y la existencia de una variación brusca de la frecuencia o periodo en la ciudad de Mendoza. Esta variación brusca indica una posible falla de rumbo NNE-SSO, que atraviesa la ciudad de Mendoza y que coincide en ambos extremos con reconocidas estructuras en el área, (el anticlinal Borbollón y la zona de fallas inferidas de la Puntilla). Se concluye que dada la sencillez y economía que presenta esta técnica puede ser de ayuda en investigaciones preliminares de campo.

Palabras Clave: Estructuras Ciegas, Cociente Espectral H/V, Auscultación del subsuelo.

CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza,
Universidad Tecnológica Nacional, Argentina
✉ francisco.calderon@frm.utn.edu.ar

Abstract

The mapping of faults, lineaments and other geological structures is of great interest both in the field of geology and engineering. It is accepted by the scientific community that the existence of blind structures cannot always be identified by the usual techniques of ground analysis, and their analysis requires study through indirect observation methods. This paper presents the technique of the spectral ratio H/V applied to environmental vibrations (also called microtremores), which are obtained with accelerometers or seismometers. This method results in the frequency (f) or period ($T = 1/f$) of fundamental vibration of the site where the vibration measurement is performed. With this parameter it is possible to identify or suspect the presence of structures without morphological expression or surface geological evidence. This expedited information can help direct more specific confirmatory studies on the surface or underground. The work describes the technique and its fundamentals, while presenting three case studies in the vicinity of the City of Mendoza. In the first two cases, measurements are presented perpendicular to the trace of the Divisadero fault and the La Cal fault. The third case brings together the results of measurements made in the city of Mendoza and are presented in the form of a map. The results show the variation of frequency or period on both sides of the trace of the faults in the first two cases and the existence of a sharp variation of the frequency or period in the city of Mendoza. This abrupt variation indicates a possible NNE-SSO fault, which crosses the city of Mendoza and coincides at both ends with recognized structures in the area, (the Borbollón anticline and the area of inferred faults of the Puntilla) and in some places it coincides with the Cacique Guaymallén channel. It is concluded that given the simplicity and economy of this technique, it can be helpful in preliminary field investigations.

Keywords: Blind Structures, H/V spectral ratio, Subsoil exploration.

INTRODUCCIÓN

La identificación de estructuras potenciales de actividad sísmica es una tarea primaria en la larga cadena de los estudios de riesgo sísmico. La auscultación a cielo abierto de estas estructuras es, sin duda, la técnica más segura y la que aporta datos más confiables.

La expresión estratigráfica de paleoterremotos puede variar desde el desplazamiento de estratos al desarrollo de evidencias secundarias como la presencia de diques clásticos y deformación de sedimentos poco consolidados. Tales evidencias pueden o no estar acompañadas de rasgos geomorfológicos o estructurales que permitan visualizar la zona de ruptura fácilmente. Las primeras investigaciones en la temática se concentraron en las evidencias geomorfológicas porque las exposiciones verticales del terreno en zonas de falla son poco comunes. En ausencia de tales exposiciones las investigaciones pueden realizarse desde distintos puntos de vista: 1) recolección de datos geomorfológicos que denoten deformaciones superficiales para el análisis paleosísmico, 2) perforaciones en zonas de deformación, 3) excavaciones artificiales o trincheras a través de las zonas de deformación y 4) recolección de datos geofísicos mediante el uso de diferentes técnicas que permitan analizar el subsuelo e identificar zonas de falla.

En muchos casos el desarrollo de los centros poblados o bien la presencia de accidentes geográficos o topográficos hacen difícil, cuando no imposibles, auscultaciones a cielo abierto.

Los métodos geofísicos han demostrado ser una poderosa y exitosa herramienta para los estudios en paleosismología y han sido utilizados de tres maneras distintas: 1) como una técnica de reconocimiento para dilucidar la estratigrafía del subsuelo y la estructura de una zona de falla, en orden de optimizar y localizar los sitios para el desarrollo de trincheras o perforaciones; 2) para definir fallas que se expresan a profundidades mayores de las que pueden alcanzar una trinchera o perforación, y 3)

para detectar fallas ocultas que no tengan ningún tipo de expresión superficial (McCalping, 2009). Entre los métodos geofísicos más utilizados se reconocen las técnicas de sísmica de reflexión y refracción, georradar (GPR), métodos 2D de resistividad eléctrica y tomografía eléctrica vertical, magnetismo (aeromagnetismo) y gravimetría.

Los métodos sísmicos de reflexión y refracción han sido utilizados con gran éxito para detectar fallas y para caracterizar la estratigrafía del área de estudio, y si la misma es afectada o deformada por fallamientos. Sin embargo, la sísmica de reflexión es comparativamente más apropiada que el método de sísmica por refracción porque permite detectar de una manera más adecuada separaciones verticales asociadas con fallas (Crone and Harding, 1984).

El georradar (GPR) produce imágenes del subsuelo que se asemejan a las de sísmica de reflexión. Las similitudes surgen del uso común de ondas que se reflejan y luego son detectadas por un receptor en la superficie. En contraste con las ondas elásticas compresionales utilizadas en la reflexión sísmica (con frecuencias de hasta 100 Hz), el radar utiliza radiación electromagnética con frecuencias de 80 a 300 MHz. Esto produce que materiales con alta conductividad eléctrica como arcilla o fluidos con los sólidos disueltos altos disminuirán rápidamente la profundidad de penetración. Algunos estudios que han probado esta técnica de exploración superficial con fines ingenieriles incluyen a Hammond et al. (1986) y Kuo and Stangland (1989).

En los últimos años se ha notado un marcado incremento en el uso de métodos geoelectrónicos (perfiles geoelectrónicos 2D y tomografías eléctricas verticales) para la detección de fallas ocultas o como herramienta para localizar la estructura antes de llevar a cabo una trinchera (Caputo et al. 2003). Las tomografías eléctricas, por ejemplo, tienen varias ventajas en relación a otros métodos ya que no existe un límite en la profundidad de penetración. La presencia de salinidad o arcillas no interfieren en la profundidad de penetración como en el caso de GPR. Sin

embargo, una de las desventajas más importantes es la existencia de objetos metálicos en el suelo y el cableado eléctrico que puede inducir a falsas señales, algo frecuente en áreas urbanas.

Los métodos de geomagnetismo y gravimetría han provisto de un particular uso para entender la estructura del subsuelo, entre los métodos de prospección, los relevamientos electromagnéticos han sido utilizados para detectar fallamientos a gran escala, y en particular fallas de rumbo. Sin embargo, *Grauch (2001, 2002)* analizan una falla normal en el *Basin and Range province*, USA y demuestran que las anomalías magnéticas lineales son resultado del abrupto engrosamiento de los sedimentos sintectónicos (más grueso, más magnético) en el lado descendente de la falla. Muy escasos estudios han utilizado mediciones en terreno para la detección de fallas a pequeña escala (metros o decena de metros). *Bailey (1974)* detecta una zona de fallas con un magnetómetro en el área de California. Por otra parte, el relieve estructural resultante del desplazamiento de fallas de rumbo puede ser expresado como diferencias en la atracción gravitacional a través de una falla. No obstante, las fallas cercanas a la superficie, que afectan materiales pocos consolidados, pueden ser únicamente detectadas por datos de gravedad de estaciones muy cercanas. Esta aplicación muestra buenos resultados en un entorno óptimo con importantes contrastes de gravedad que involucren materiales de baja y alta densidad.

La técnica del cociente espectral H/V aplicado a vibraciones ambientales puede permitir identificar o sospechar la presencia de estructuras sin expresión morfológica o indicios geológicos en superficie. Esta información de obtención expeditiva puede ayudar a direccionar estudios confirmatorios más específicos en superficie o en subsuelo. La misma se basa en el concepto de función de transferencia entre componentes vibratorias horizontales y verticales. Esta técnica es ampliamente utilizada como método para la determinación de efectos de sitio en la ingeniería sísmica (*Calderón, et al. 2017*). La aplicación de este método se ha utilizado con éxito en la ciudad de Boumerdes en Argelia (*Hellel et al. 2012*) para la detección de una falla ciega, donde los resultados han sido corroborados con perforaciones y mediciones de velocidad de onda de corte. *Du et al. (2019)* utilizó este método en el área urbana de la ciudad China de Jinan, donde encontraron una zona de fractura ciega. *Gosar y Lenart (2010)* utilizaron las vibraciones ambientales para estimar el espesor de sedimentos en Ljubljana, Eslovenia y compararon los resultados con un perfil realizado con refracción sísmica, obteniendo una buena correlación.

En el presente trabajo se describe la técnica del cociente espectral H/V y sus fundamentos y se presentan dos casos de estudio de fallas sísmicas conocidas (la falla de La Cal y la falla de Divisadero Largo), en la provincia de Mendoza, Argentina, con fin de conocer las capacidades del método H/V en cuanto a capturar la presencia de fallas o estructuras sísmogénicas. El tercer caso, ubicado en la Ciudad de Mendoza, fue realizado por *Giolo et al. 2018*, donde se sugirió la posibilidad de la existencia de una falla ciega que atravesaría el área del Gran Mendoza. Esta técnica de rápida aplicación y muy bajo costo puede ser de ayuda en investigaciones preliminares de campo para identificar la posible presencia de estructuras ciegas.

MARCO GEOLÓGICO Y UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Mendoza se encuentra ubicada entorno a los 32° 53' 58'' de latitud S y 68° 51' 08'' de longitud O, a 770 m.s.n.m. en el frente orogénico activo de los Andes y sobre el

límite sur del actual segmento de subducción subhorizontal entre los 28° y 33° de latitud sur. El margen este de los Andes entre los 30° y 33°S, al sur del segmento de subducción subhorizontal de la placa de Nazca (Figura 1) es una de las zonas sísmicas más activas del mundo (*Costa et al. 2006, Moreiras et al. 2014*). El actual frente orogénico en las latitudes del área de estudio, donde se concentran la mayor cantidad de fuentes sísmogénicas del área, está confinado en el frente oriental de los Andes, al este de la Precordillera (*Bastías 1985, Cortés et al. 1999, Costa et al. 2000*). Esta área muestra una intensa actividad neotectónica evidenciada por fallas cuaternarias y actividad sísmica (*Costa et al. 2000*) asociada a terremotos intraplaca con menos de 30 km de profundidad. En el sentido estructural, el frente orogénico está compuesto por un sistema de fallas inversas paralelas con vergencia tanto al este como al oeste, que presentan evidencias geomorfológicas de desplazamientos cuaternarios (*Moreiras et al. 2014*). En el área de Mendoza, las fallas La Cal y Las Peñas son las estructuras tectónicamente con mayor importancia. Sin embargo, en las proximidades de Mendoza existen otras estructuras como las de El Cerro de la Gloria, El Cristo, Divisadero Largo, Melocotón y Agua de Las Avispas (Figura 1); hacia el sur este aparece el anticlinal Cruz de Piedra-Barrancas (*Nafá y Zamarbide 1989, Regairaz y Zambrano 1991, Perucca et al. 2009*).

METODOLOGÍA. MÉTODO DE COCIENTE ESPECTRAL H/V

El método del cociente espectral H/V consiste en la utilización de vibraciones ambientales de baja amplitud para la determinación de efectos de sitio a través del periodo fundamental T (o su inversa, la frecuencia fundamental $f = 1/T$) de la columna de suelo presente por encima del lecho rocoso. Se realiza mediante un cociente entre los Espectros Amplitudes de Fourier de las componentes horizontales y verticales de un registro de vibraciones ambientales en el sitio de estudio. El método se basa en las siguientes hipótesis. El efecto de la fuente se minimiza al realizar la división entre las amplitudes del espectro de vibraciones ambientales horizontales sobre las verticales. Se estima que las vibraciones ambientales contienen predominantemente ondas S, por lo que la relación espectral H/V es igual a la función de transferencia de dichas ondas entre la superficie y la base de la capa sedimentaria; así, el pico del espectro resultante es el correspondiente al periodo fundamental del sitio.

De esta manera, la excitación de la capa superficial provoca la amplificación del efecto de sitio producto de las ondas S. Por otro lado, las ondas Rayleigh que se propagan en las capas sedimentarias sobre lechos rocosos provocan el mismo efecto en las componentes horizontales y verticales del movimiento en la superficie. La metodología fue propuesta por *Nakamura (1989, 2000 y 2008)* y trata de eliminar el efecto que producen las ondas Rayleigh, de esa manera la función de transferencia queda determinada por ondas de cuerpo S.

Simplificadamente se plantea un modelo donde un suelo sedimentario está apoyado sobre un estrato rocoso donde la principal diferencia entre estos estratos es la velocidad de propagación de la onda S, lo cual implica que los movimientos se amplifican por el principio de conservación de la energía. Para el desarrollo del procedimiento, Nakamura plantea una serie de relaciones entre las amplitudes de los espectros de Fourier de las distintas componentes del movimiento tanto en superficie como en el lecho rocoso. Siendo H_b y V_b , las amplitudes espectrales

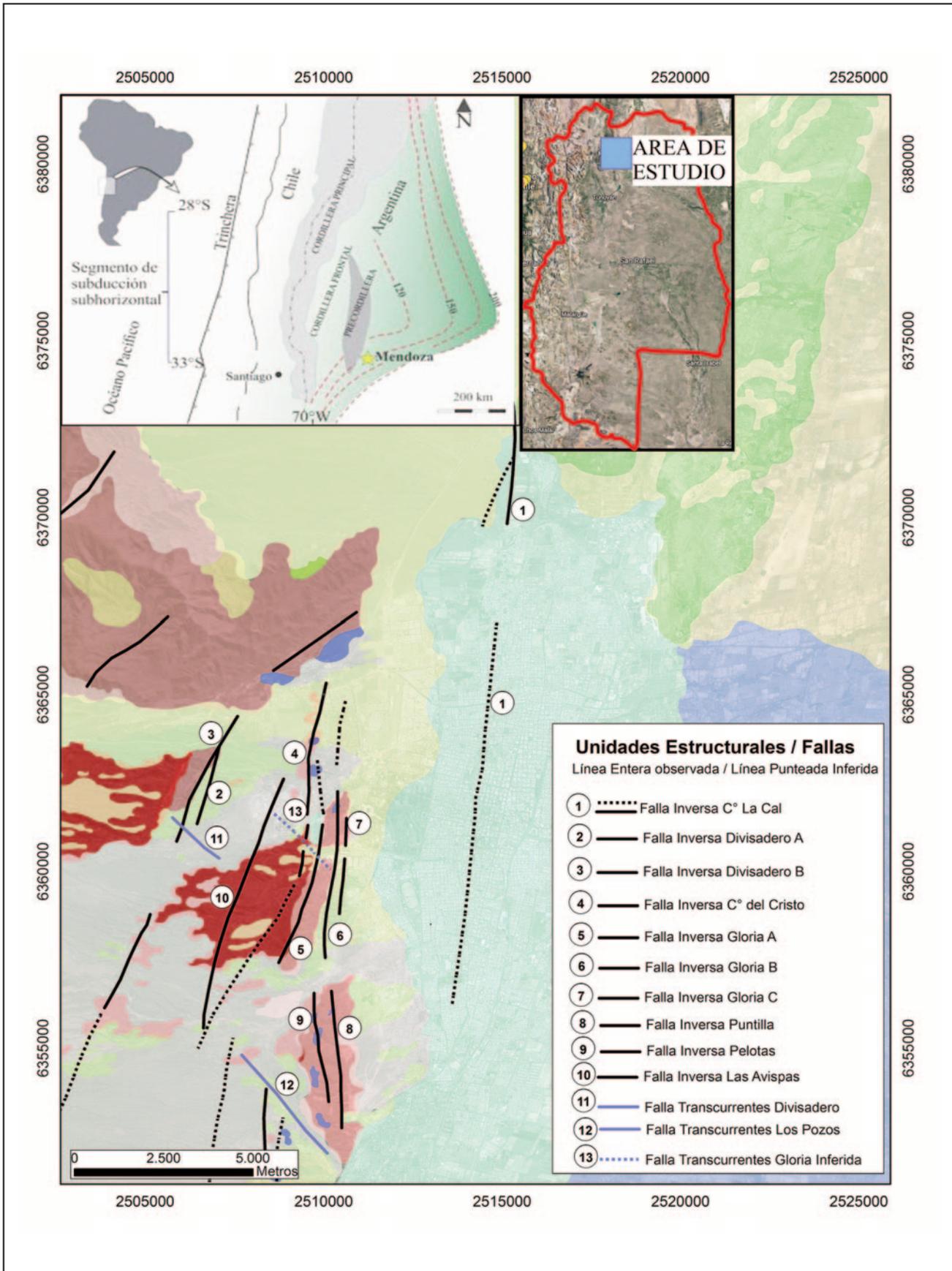


Figura 1. Mapa geológico estructural simplificado del área próxima a la ciudad de Mendoza, Piedemonte mendocino y Precordillera Austral.

del movimiento horizontal y vertical en el lecho rocoso respectivamente, y H_s y V_s las amplitudes espectrales de las componentes horizontal y vertical del movimiento en superficie.

La primera relación $A_s(\omega)$ es el efecto de las ondas Rayleigh, el cual se obtiene mediante:

$$A_s(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{V_b(\omega)} \quad (1)$$

Cuando la relación $A_s(\omega)$ tiende a 1 (uno), es decir, que en todas sus ordenadas el espectro resultante es cercano a uno, el efecto de las ondas Rayleigh es nulo. Otra relación que plantea Nakamura es que la estimación del efecto de sitio, Se , se puede realizar mediante:

$$Se(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{H_b(\omega)} \quad (2)$$

En este caso, si las $H_s(\omega)$ se ven afectadas por las ondas superficiales, se hace necesario remover el efecto de dichas ondas, por lo que se plantea la siguiente relación:

$$S_M(\omega) = \frac{Se(\omega)}{A_s(\omega)} = \frac{H_s(\omega)}{H_b(\omega)} \times \frac{V_b(\omega)}{V_s(\omega)} \quad (3)$$

Debido a que en el lecho rocoso se asume que la propagación de las ondas es la misma en todas las direcciones $H_b(\omega) = V_b(\omega)$ por lo que:

$$S_M(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{V_s(\omega)} \quad (4)$$

De esta forma se puede estimar el efecto de sitio mediante $SM(\omega)$ conocida como Espectro de Cuasi Transferencia (QTS

en inglés). La Figura 2 muestra una función de transferencia teórica y el espectro resultante del método propuesto por Nakamura en la que puede observarse la buena correlación existente entre ambas.

Para el procesamiento y análisis de los datos se puede utilizar el software Geopsy, originado en el proyecto europeo SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations). Esta herramienta "open source" (código abierto) permite visualizar, manipular y procesar señales geofísicas. Está diseñado principalmente para la sismología y prospección sísmica, pero también posee varios módulos para otras aplicaciones.

El primer paso en el procesamiento de los registros con esta herramienta es la selección de ventanas de tiempo. El objetivo de esta selección es remover las partes más transitorias de las vibraciones ambientales asociadas con fuentes específicas (transeúntes, tráfico, etc.). Se utiliza para este proceso un algoritmo anti-triggering o disparador, el cual detecta los transitorios y los elimina del procesamiento. Para ello se realiza una comparación entre el promedio de período corto (STA, Short Term Average) con valores típicos de 0,5 a 2 segundos y el promedio de período largo (LTA, Long Term Average).

El tiempo de cada ventana está en función de la frecuencia fundamental esperada en cada estudio y se debe satisfacer que la frecuencia fundamental del sitio f sea mayor que $10/lw$, donde lw es la longitud de ventana seleccionada. Para estimar el número de ventanas totales del registro necesario, asociado al número de ciclos completos requeridos para una correcta adquisición de la frecuencia fundamental, se utiliza la siguiente ecuación, donde nc es el número de ciclos y nw el número de ventanas. En base a las ecuaciones presentadas, la Tabla 1 contiene las longitudes de ventanas, número de ciclos significativos, número mínimo de ventanas y duración mínima del registro para diferentes frecuencias fundamentales.

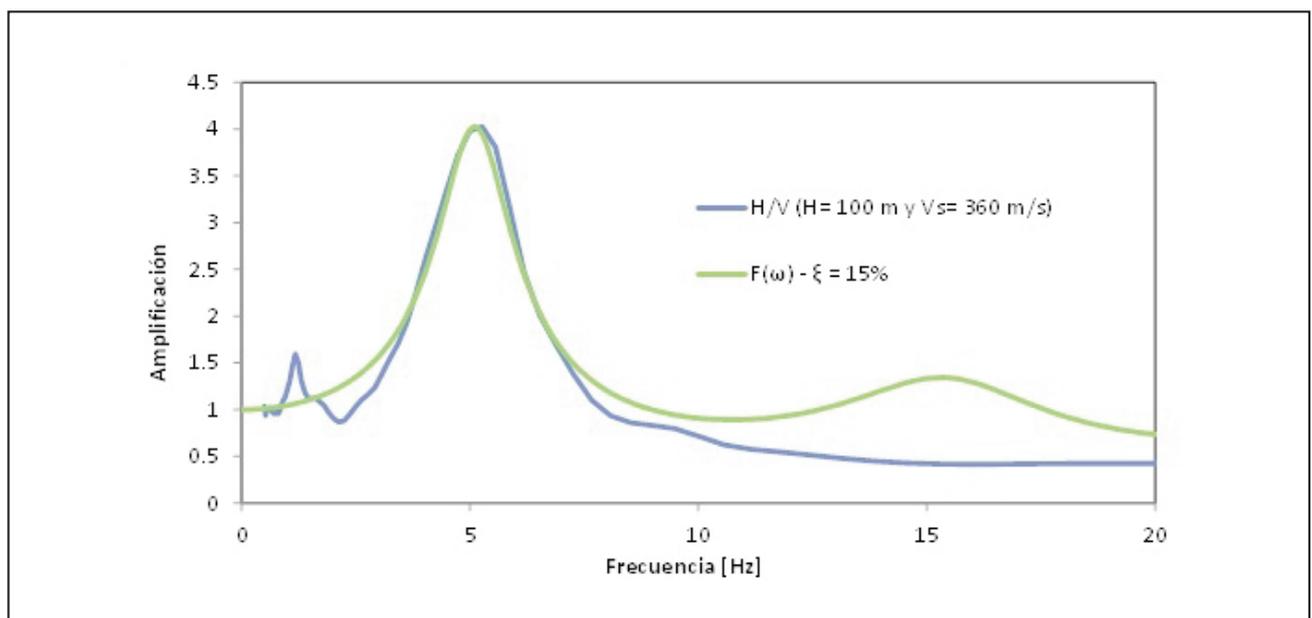


Figura 2. Función de transferencia teórica y el espectro resultante propuesto por Nakamura.

$$n_c = l_w \cdot n_w \cdot f > 200 \quad (5)$$

Para el presente estudio se configuró una longitud de ventana de 50s, un solape de ventanas de 50%, STA de 1.0s, LTA de 30s, una relación mínima de STL/LTA DE 0.20, una relación máxima de STA/LTA de 2.5, una constante de suavizado de 40 y un tapering de coseno del 5%. La Figura 3 muestra un registro típico de vibraciones ambientales. Una vez procesados los registros y obtenidos los resultados correspondientes se realiza una clasificación de acuerdo a cada pico aplicando los criterios de validación que especifica la guía del proyecto SESAME y se obtiene la frecuencia fundamental del sitio f o bien su período fundamental $T = 1/f$.

APLICACIÓN DEL MÉTODO

Como se mencionó, el método del cociente espectral H/V es utilizado para la determinación de periodo del suelo T . Dicho periodo está relacionado a dos parámetros fundamentales del

suelo, uno que representa su rigidez y está dado por la velocidad de la onda de corte V_s ; y el otro, la profundidad del estrato sedimentario hasta el lecho rocoso o gravas cementadas, que representa la potencia de la masa de suelo (ecuación 6). Por lo tanto, las variaciones de periodo en el suelo son indicativas de variación de alguno de estos dos parámetros, la profundidad de los estratos o la velocidad de onda de corte. Esta variación sugiere la presencia de ciertas anomalías o discontinuidades en el sub-suelo.

$$T = \frac{4H}{V_s} \quad (6)$$

Investigaciones recientes (Hellel *et. al.* 2012; Tebbouche *et. al.* 2017; Du *et al.* 2019; Gosar y Lenart 2010) han utilizado el método H/V como complemento en la investigación de fallamientos y profundidad de estratos hasta el lecho rocoso.

Tabla 1. Parámetros para mediciones y procesamiento de las señales.

f [Hz]	l_w [s]	n_c	Mínimo número de ventanas	Mínima duración útil del registro [s]	Tiempo de muestreo recomendado [min]
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

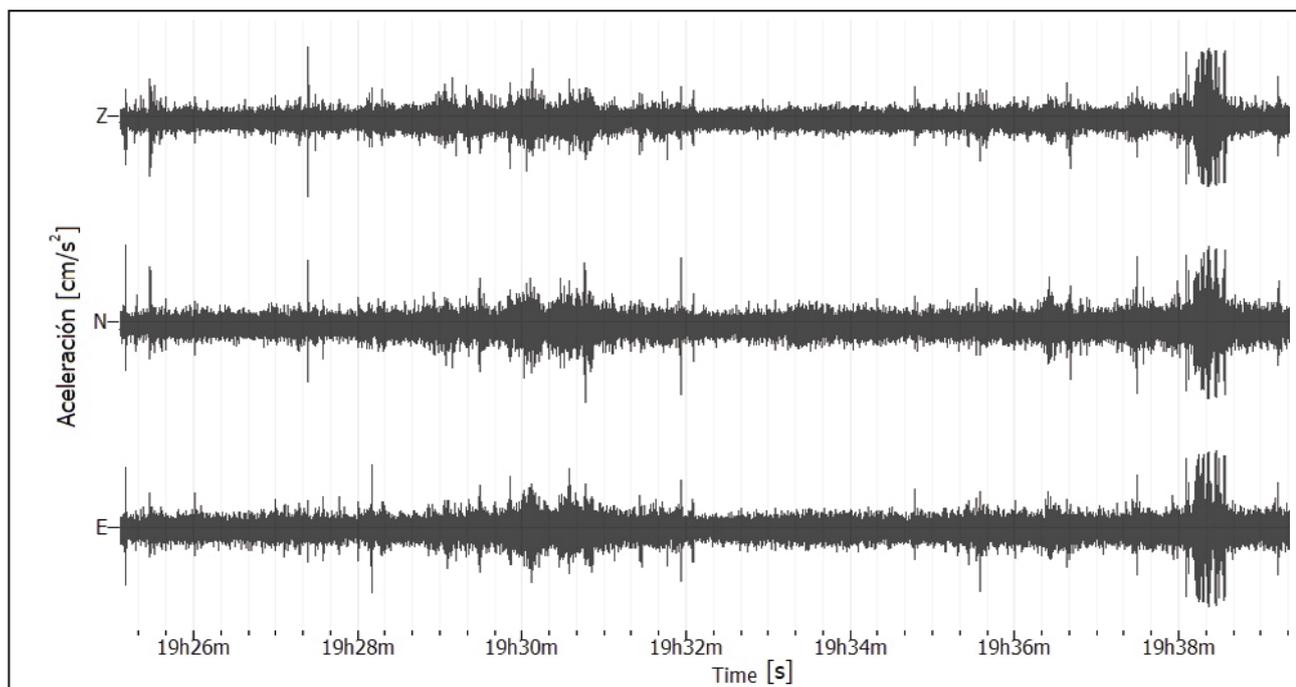


Figura 3. Registro típico de vibración ambiental con corrección de línea de base según sus tres componentes: vertical (Z) y los canales horizontales Norte-Sur (N) y Este-Oeste (E).

Hellel et al. (2012) realizaron estudios en la ciudad de Boumerdes, Argelia, donde se mapeó con la técnica del cociente espectral H/V los periodos fundamentales del suelo y se compararon resultados con otros estudios geofísicos a fin de conocer la profundidad del lecho de roca. Como resultado, los autores identificaron la presencia de una falla ciega debajo de la ciudad.

De aquí surgen dos características de este método con respecto a la identificación de fallas:

1. A lo largo de los perfiles, los cambios bruscos en los periodos del suelo se pueden usar para delinear características tectónicas como fallas.
2. La distribución espacial del periodo del suelo sobre un área es un buen indicador de la variación espacial relativa de la profundidad hasta la parte superior del basamento.

CASOS DE ESTUDIO

El primer sitio donde se aplicó la técnica H/V es la falla Divisadero Largo (Figura 5) al oeste de la ciudad de Mendoza, en la reserva natural del mismo nombre, el segundo sitio fue en la escarpa de la falla La Cal (Figura 4) al norte de la ciudad de Mendoza y el tercer sitio estudiado (Figura 6), no es una estructura conocida sino una zona de la ciudad de Mendoza donde se encontraron anomalías o marcadas variaciones en los periodos del suelo en el marco de estudios de zonificación sísmica (Giolo et al. 2018). En los dos primeros sitios se realizaron perfiles transversales a la traza de la falla y en el tercer caso se realizó una grilla a fin de poder confeccionar un mapa del parámetro estudiado en la ciudad de Mendoza.

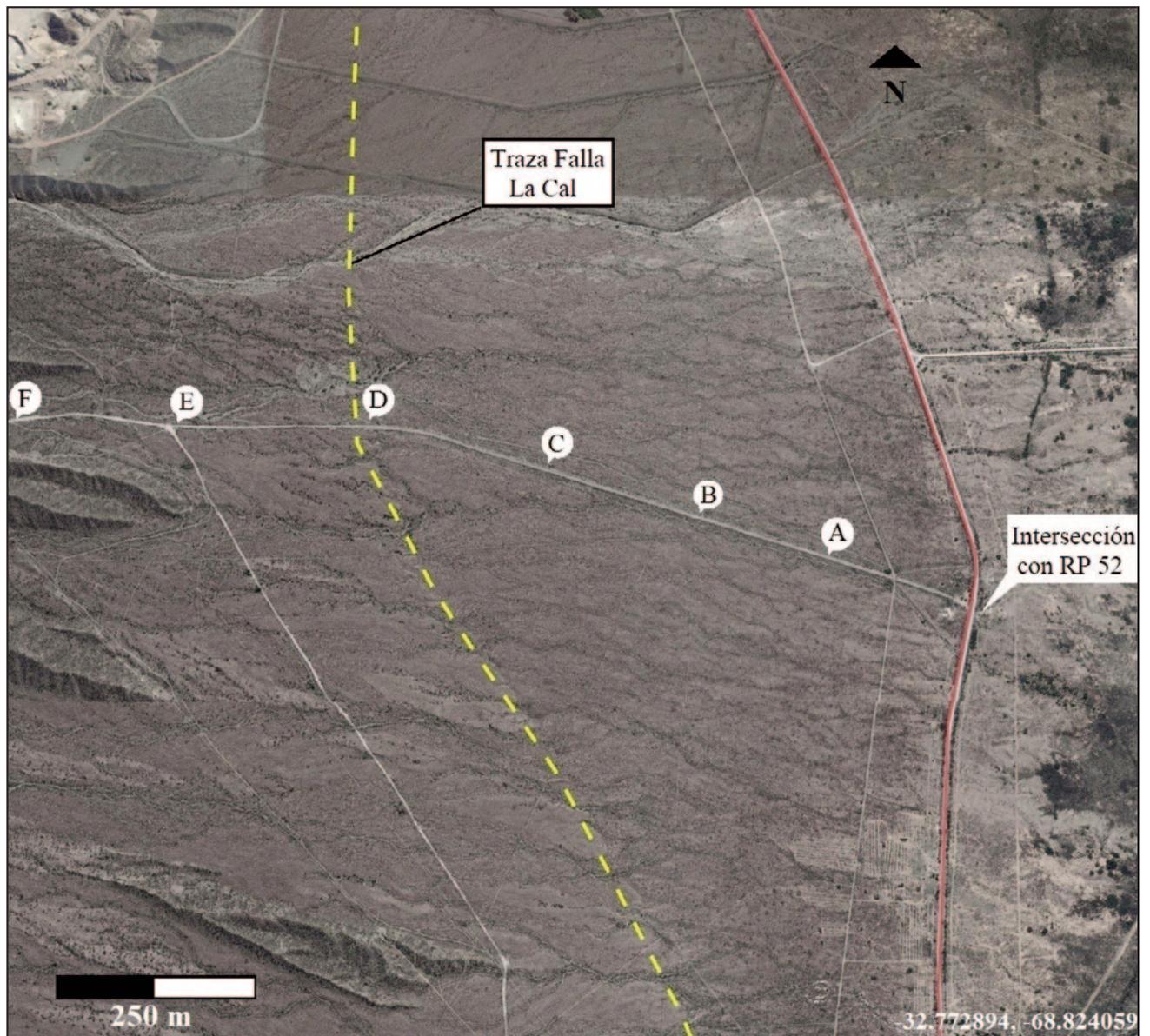


Figura 4. Posición de los puntos de medición de vibraciones ambientales. Los puntos se eligieron a fin de obtener un perfil aproximadamente perpendicular a la traza (línea amarilla) de la falla La Cal.



Figura 5. Posición de los puntos de medición de vibraciones ambientales (a lo largo de la línea roja). Los puntos se eligieron a fin de obtener un perfil aproximadamente perpendicular a la traza (línea amarilla) de la falla Divisadero Largo.

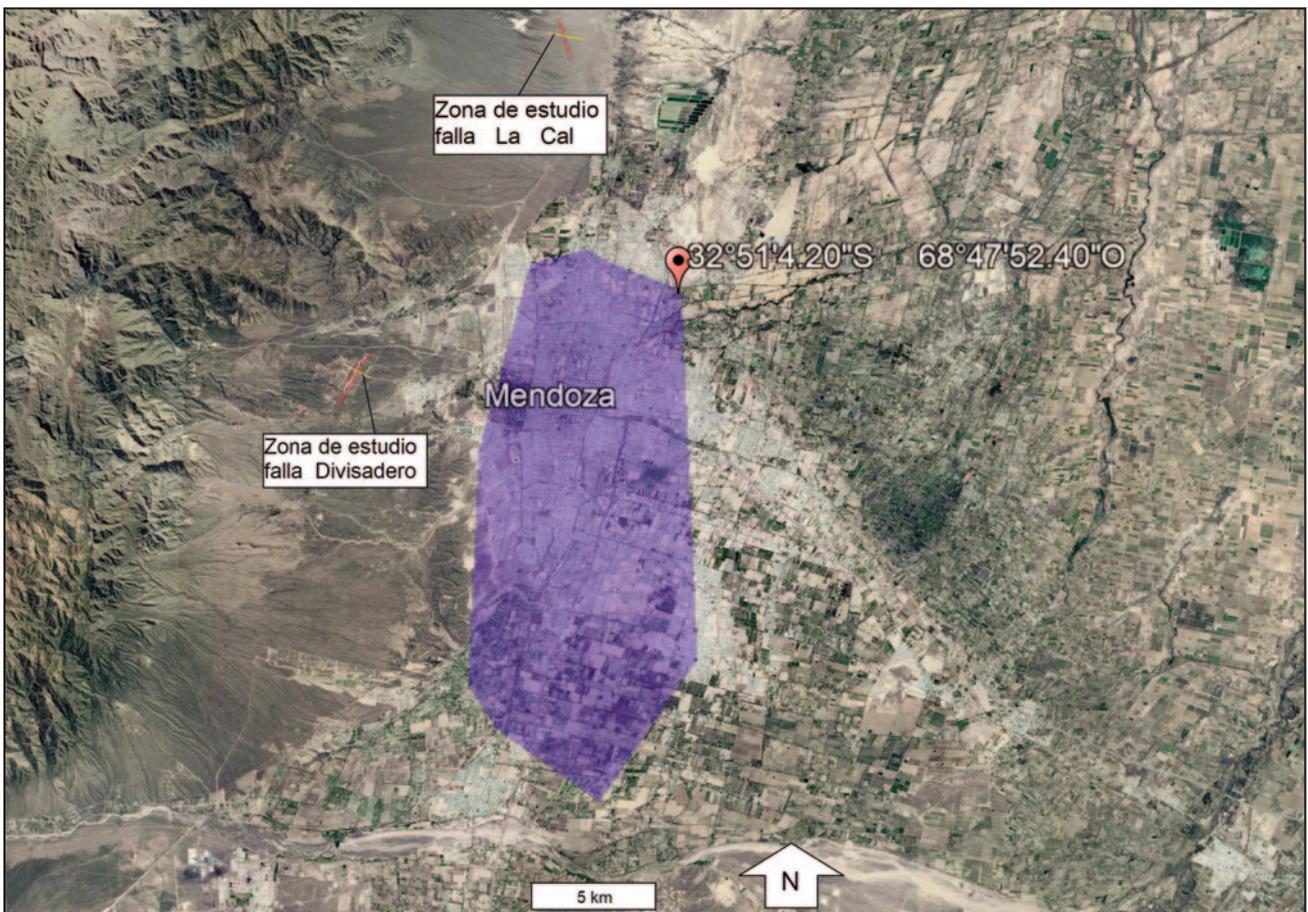


Figura 6. Zona de Mendoza bajo estudio en azul (Giolo et al. 2018) y zonas de las fallas estudiadas.

RESULTADOS

Falla La Cal

La falla Cerro La Cal se ha caracterizado al norte de la ciudad de Mendoza y al parecer su traza continuaría hacia el sur ingresando por la calle Perú. La falla La Cal está localizada a pocos kilómetros al este del frente montañoso y corta depósitos de abanico aluvial Pleistoceno-tardío y Holocenos. Hacia el norte la traza de la falla es variable, con dirección principal N-S, y una longitud de 30,7 km (Mignonance, 2006). Es una falla inversa y en superficie se manifiesta como una escarpa con frente hacia el este con inclinación entre 40 a 50° al oeste. Las escarpas alcanzan 16 m en niveles aluviales pleistocenos y 2 a 3 m en depósitos modernos.

Luego de realizadas las mediciones y procesado los datos como se indicó anteriormente, se determinaron las frecuencias y periodos del suelo en cada estación de medición. Se realizaron mediciones de 15 minutos con una frecuencia de muestreo de 200 Hz y para el procesamiento se tomaron ventanas de 50 segundos a fin de abarcar un rango entre 0.1 Hz y 100 Hz, valores adecuados para las frecuencias de suelo estudiadas. Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas sobre la Falla La Cal, se presentan numéricamente en la Tabla 2 y gráficamente en la Figura 7.

Tabla 2. Resumen del periodo y frecuencia de cada punto de medición.

Punto	T [s]	f [Hz]	Coordenadas	
A	0.049	20.3	-32.758612	-68.834686
B	0.033	30.1	-32.758357	-68.839660
C	0.015	65.9	-32.755683	-68.844464
D	0.015	65.9	-32.754284	-68.851607
E	0.011	92	-32.754060	-68.857292
F	0.016	62	-32.753717	-68.862585

Se aprecia una variación en las frecuencias de suelos entre los puntos medidos, mostrando valores desde 20 Hz, zona más alejada a la traza de la falla, hasta 92 Hz sobre la traza de la falla para luego volver a descender una vez pasada la traza. El gráfico de la Figura 8 presenta la variación de la frecuencia y el periodo fundamental del suelo en la distancia entre los puntos medidos. Si se tiene en cuenta que la falla inversa presenta el bloque levantado al oeste los resultados obtenidos dan cuenta de la presencia de menor potencia de sedimentos sobre esa margen, alcanzando un pico sobre la traza. A medida que nos alejamos al este las frecuencias bajan lo que permite inferir un estrato sedimentario de mayor potencia.

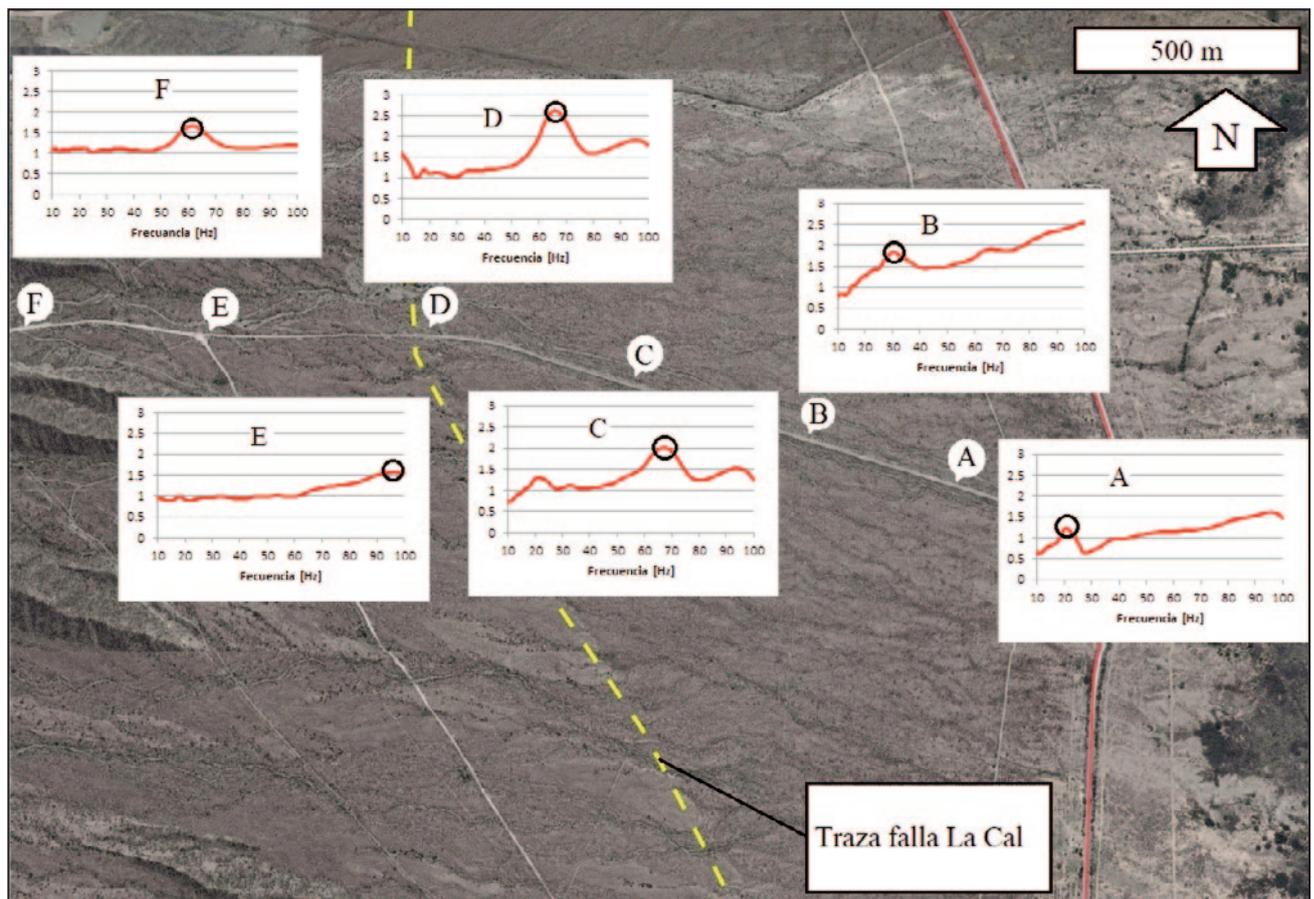


Figura 7. Espectros H/V de los 6 puntos medidos en un perfil transversal a la traza de la falla La Cal. En amarillo la traza de la falla, en gris el perfil de mediciones, sobre un camino.

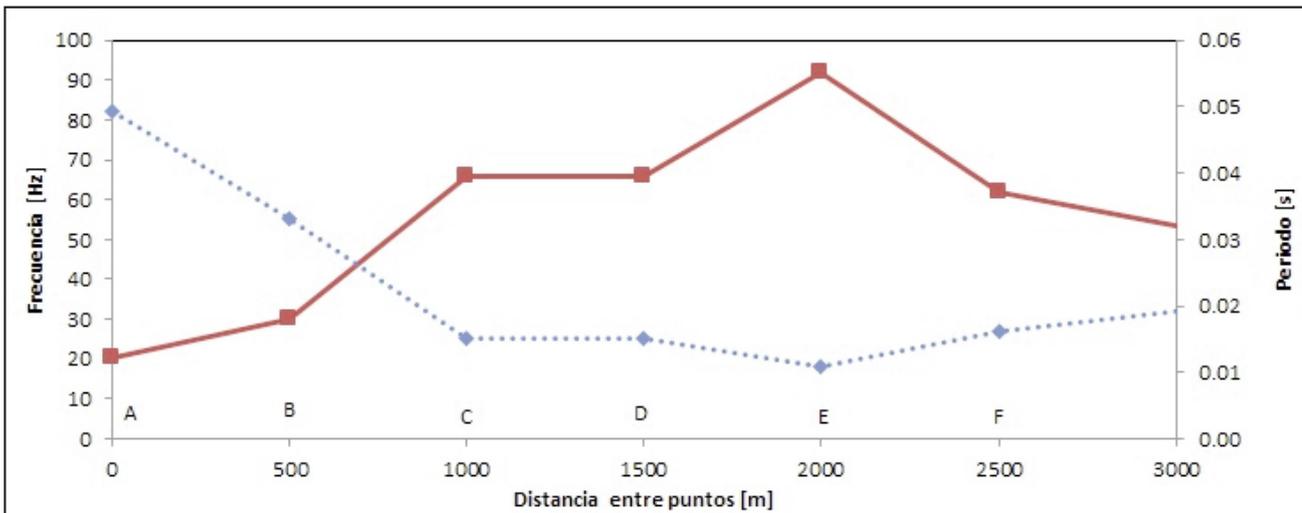


Figura 8. Variación del periodo del suelo (línea de puntos azul) y la frecuencia del suelo (línea roja continua) entre punto y punto.

Falla Divisadero Largo

La falla Divisadero Largo posee un rumbo aproximado norte-sur y atraviesa toda la zona de estudio; es una falla inversa con inclinación al oeste de aproximadamente 30°. Sobre su traza se alinean los puestos de Las Higuieritas, la Cieneguita y Agua de la Batea, alcanzando una longitud total aproximada de unos 13 km. La falla Divisadero Largo pierde rechazo hacia el sur. En la reserva Divisadero Largo, dicha estructura levanta rocas triásicas de la Formación Potrerillos por encima de sedimentos cuaternarios (Rodríguez y Barton, 1990), mientras que un poco más al sur pone en contacto rocas de la Formación Río Blanco sobre el mismo cuaternario. En este caso las mediciones se realizaron menos espaciadas y debido a las irregularidades topográficas la medición fue más compleja. La Figura 9 muestra dos espectros H/V con una separación de sólo 15 m una de otra. En la misma puede verse la diferencia en las frecuencias, para el primer espectro donde el estrato de suelo es de mayor profundidad (roca más profunda), la frecuencia del suelo es aproximadamente 3 Hz, y en la zona donde la roca es más superficial la frecuencia es de 63 Hz.

Zona Metropolitana de Mendoza

Una síntesis de los resultados de los estudios realizados por Giolo et al. (2018) se presentan en forma de mapa en la Figura 10. El principal objetivo era realizar una microzonificación de la ciudad de Mendoza a fin de delimitar áreas expuestas a efectos de sitio (zonas de gran amplificación del movimiento durante un terremoto). La Figura 10 muestra un mapa de isoperiodos del suelo. En dicho mapa puede observarse una zona de bajos periodos hacia el sudoeste. Se identifica claramente visible una línea donde los periodos cambian abruptamente contrastando con las variaciones más graduales del resto del área. Esta anomalía puede entenderse como la existencia de cambios en las condiciones del subsuelo. Este cambio puede originarse como fruto de la variación de alguno de los dos parámetros mencionados anteriormente (o de ambos): la velocidad de onda de corte y el espesor del sedimento. Si se correlaciona la Figura 10 con un mapa de fallas puede apreciarse que la variación de frecuencias encontrada queda alineada con la traza del anticlinal El Borbollón (Figura 11).

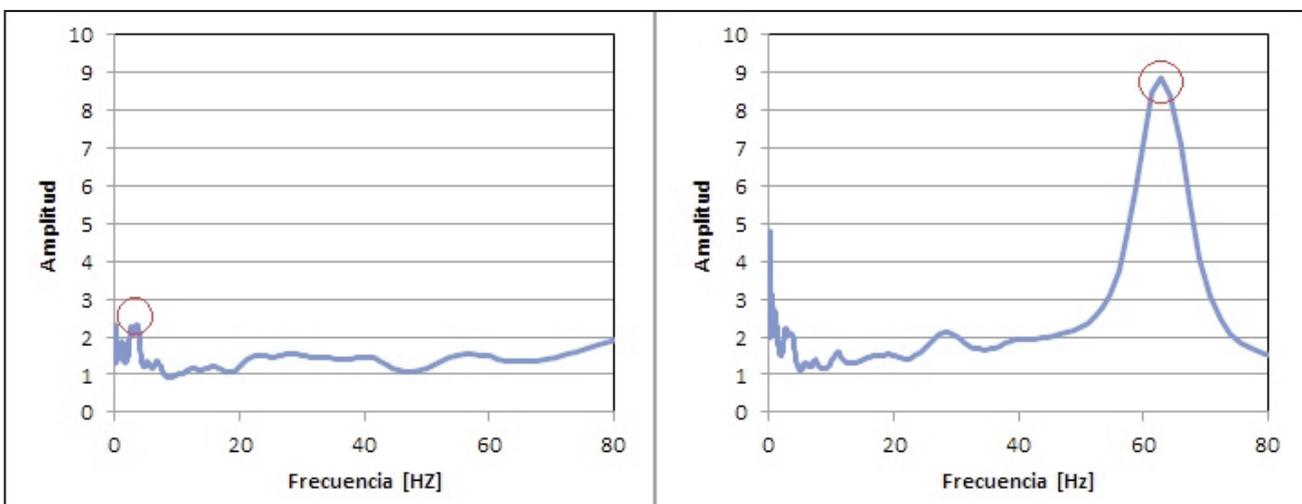


Figura 9. Espectro de Fourier de dos sitios cercanos en la zona de la falla Divisadero Largo.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha descrito la técnica del cociente espectral obtenido a partir del registro de vibración ambiental. La técnica permite determinar la frecuencia (o periodo) de la columna de suelo presente entre la superficie y el lecho rocoso. A partir de resultados de investigaciones previas, se detecta que la técnica puede capturar variaciones del sustrato por lo que puede ser aplicada para identificar estructuras ciegas, en particular fallas o estructuras potencialmente sismogénicas.

Con tal fin se muestran los resultados de tres campañas de medición de vibraciones ambientales con acelerómetros a fin de obtener la frecuencia (o el periodo) del sitio mediante la técnica H/V. En las dos primeras campañas de medición se realizaron perfiles transversales a la traza de las fallas conocidas y con manifestación superficial, ellas son: Divisadero Largo y La Cal. Allí se encontraron variaciones de la frecuencia del suelo a ambos lados de la traza revelando las distintas potencias de los estratos de suelo hasta la roca. Estas mediciones permitieron constatar la capacidad de la técnica para identificar estructuras a fin de poderla aplicar para detectar la presencia de estructuras sin manifestación superficial.

La tercera campaña realizada con anterioridad en la ciudad de Mendoza fue representada en un mapa, donde se aprecian marcadas variaciones de frecuencia de suelo alineadas. Dicha alineación coincide, en algunos sectores, con el cauce del canal Caci que Guaymallén, el cual ha sido identificado en la microzonificación de Mendoza con una posible falla (*Nafá y Zamarbide, 1989*). Adicionalmente, el lineamiento encontrado se muestra como una continuidad en uno de sus extremos con el anticlinal Borbollón y en el otro extremo con la zona de fallas inferida en la Puntilla (*Frau et al. 2010; Moreira et al. 2014*). En función de estos resultados se plantea la hipótesis de la existencia de una falla inversa, con vergencia al oeste atravesando el área del gran Mendoza.

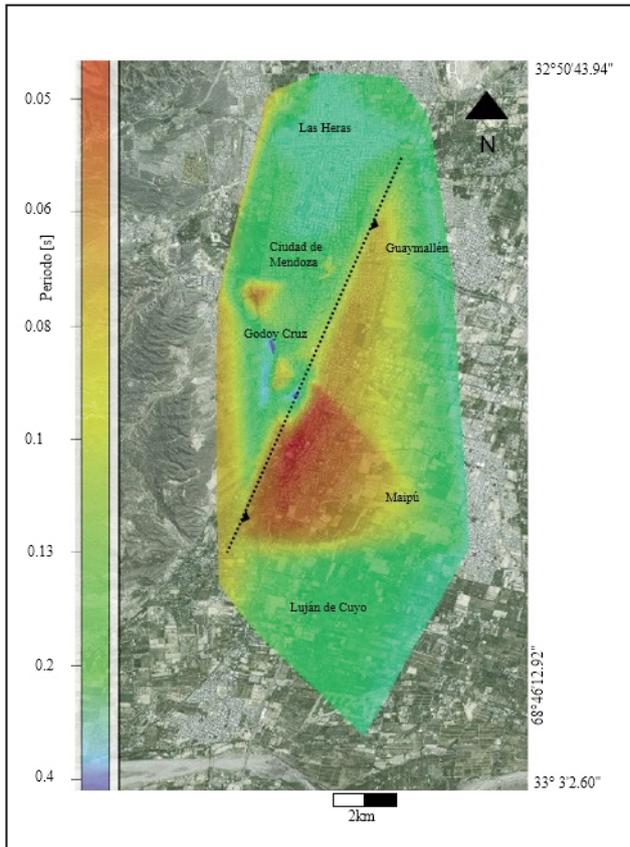


Figura 10. Mapa de periodos del suelo de la zona estudiada por Giolo et al. (2018).

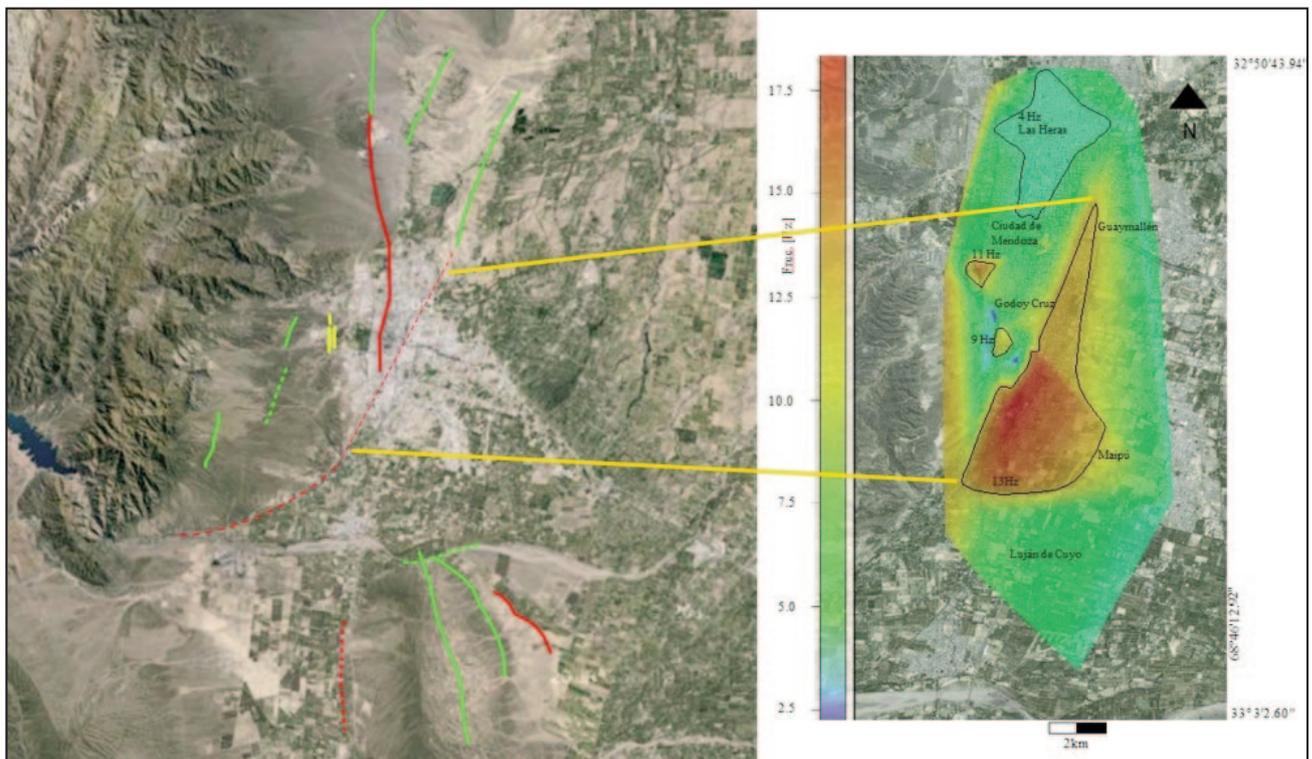


Figura 11. Falla inferida en la ciudad de Mendoza en correspondencia con el anticlinal El Borbollón y otras fallas cercanas.

Se concluye que el método utilizado en este trabajo es una herramienta de utilidad para la identificación de estructuras ciegas, aunque debido a que el periodo fundamental es dependiente de dos variables, la profundidad del estrato y la velocidad de onda de corte, es adecuado complementar los resultados de esta técnica con de otros métodos de auscultación de estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los Ingenieros Hernán Rodríguez, Marcelo Guevara y Natalia Roth, por la colaboración en este proyecto; al Dr. Bertrand Guiller, a la Dra. Elise Beck y al Ingeniero Armand Mariscal por sus aportes y ayuda. También se agradece a la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento del presente proyecto (*ECUTNME 4343*).

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BAILEY, A. D. (1974).
Near-surface fault detection by magnetometer.
Calif. Geol. 27, 274.
- BASTÍAS, H. 1985.
Fallamiento Cuaternario en la Región Sismotectónica de Precordillera.
San Juan, Argentina: Universidad Nacional de San Juan, 147.
- CALDERÓN, F. A., GIOLO, E. G., FRAU, C. D., GUEVARA, M. G. J., RODRIGUEZ, H. TORNELLO, M., LUJAN, F. AND GALLUCCI, R. 2017.
Seismic Microzonation and Site Effects Detection Through Microtremors Measures: A Review.
Chapter 9 in Handbook of Research on Trends and Digital Advances in Engineering Geology Edited by Nurcihan Ceryan.
pp 326 - 349. DOI: 10.4018/978-1-5225-2709-1.ch009.
- CAPUTO, R., PISCITELLI, S., OLIVETO, A., RIZZO, E., AND LAPENNA, V. (2003).
The use of electrical resistivity tomographies in active tectonics: Examples from the Tyrnavos Basin, Greece.
J. Geodyn. 36(1-2), 19-35.
- COSTA, C. H., AUDEMARD F. A., BEZERRA F. H., LAVENU R. A., MACHETTE M. N. Y PARÍS G. 2006.
An overview of the main quaternary deformation of South America.
61, nº 4: 461-479.
- COSTA, C. Y OTROS 2000.
Map and database of quaternary faults and folds in Argentina.
Open-File Report 00-0108. USGS, International Lithosphere Program, Task Group II-2, Major Active Faults of the World.
- CORTÉS, J. M., VNICIGUERRA P., YAMÍN M. Y PASINI M. M. 1999.
Tectónica cuaternaria de la Región Andina del Nuevo Cuyo (288-388 LS).
Geología Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Subsecretaría de Minería 29: 760-778.
- CRONE, A.J., AND HARDING S.T., 1984,
Relationship of late Quaternary fault scarps to subjacent faults, eastern Great Basin,
Utah: Geology, v. 12, no.5, p.292-295.
- DU, Y., XU, P., LING, S., TIAN, B., YOU, Z. AND ZHANG, R. 2019.
Determining the soil-bedrock interface and fracture-zone scope in the central urban area of the Jinan city, China, by using microtremor signals.
Journal of Geophysics and Engineering 0, 1-10, doi:10.1093/jge/gxz040
- FRAU, C. D., GALLUCCI, A. R., MOREIRAS, S. M. Y GIAMBIAGI, L. B. 2010.
Estudio de Peligrosidad Sísmica para el Proyecto Urbano Palmares Valley.
Informe Técnico Nº 16 / 010 (inédito) CEREDETEC, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza.
- GIOLO, E., FRAU, C., CALDERON, F., PAGANO, S. Y TORNELLO, M. (2018).
Frecuencias naturales de suelos en el núcleo urbano de la ciudad de Mendoza.
Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras Vol. 23,2, 157 - 188 (2018), doi: 10.24133/riie.v23i2.967
- GRAUCH, V. J. S. (2001).
High-resolution aeromagnetic data, a new tool for mapping intrabasinal faults: Example from the Albuquerque basin, New Mexico.
Geology 29(4), 367-370.
- GRAUCH, V. J. S. (2002).
High-resolution aeromagnetic survey to image shallow faults, Dixie Valley geothermal field, Nevada.
U.S. Geol. Surv. Open File Rep. 02-384, p. 13.
- GOSAR, A. AND LENART, A. 2010.
Mapping the thickness of sediments in the Ljubljana Moor basin (Slovenia) using microtremors.
Bulletin of Earthquake Engineering 8:501-518. DOI 10.1007/s10518-009-9115-8.

- HAMMOND, C. J., SPRENKE, K. F., AND HAMMOND, W. R. (1986).
Ground-penetrating radar field tests in northern Idaho.
In Proceedings of the 22nd Symposium on Engineering Geology and Soils Engineering, pp. 53-68. Boise State University, Boise, ID.
- HELLEL, M., OUBAICHE, E. H., CHATELAIN, J. L., MACHANE, D., BENSALÉM, R., GUILLIER, B. AND CHEIKHLOUNIS, G. 2012.
Basement Mapping with Single-Station and Array Ambient Vibration Data: Delineating Faults under Boumerdes City, Algeria.
Seismological Research Letters Volume 83, Number 5 September/October 2012. doi: 10.1785/0220110142.
- KUO, S. S., AND STANGLAND, H. G. (1989).
Use of ground-penetrating radar techniques to aid in the design of on-site disposal systems.
In Engineering Geology and Geotechnical Engineering (R. J. Watters, Ed.), Proceedings of the 25th Symposium on Engineering, pp. 11-18. A. A. Balkema, Rotterdam.
- MCCALPING, 2009.
Paleoseismology,
International Geophysics, 2009 - Elsevier.
- MINGORANCE, F. (2006).
Morfometría de la escarpa de falla histórica identificada al norte del cerro La Cal, zona de falla La Cal, Mendoza.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 61 (4): 620-638.
- MOREIRAS, S. M., GIAMBIAGI, L. B., SPAGNOTTO, S., NACIF S., MESCUA J., Y TOURAL, R. 2014.
El frente orogénico activo de Los Andes centrales a la latitud de la ciudad de Mendoza (32°50'-33°S).
Andean geology 41, n° 2: 342-361.
- NAFÁ Y ZAMARBIDE, 1989.
Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, República Argentina.
Resumen Ejecutivo, Volume I y II. San Juan, Argentina: Instituto Nacional de Prevención Sísmica
- NAKAMAURA, Y. 1989.
A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremors on the ground surface.
Quarterly Report of Railway Technical Research Institute 30: 25-33.
- NAKAMURA, Y. 2000.
Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications.
Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand. Paper 2656.
- NAKAMURA, Y. 2008.
On the H/V spectrum. Proceedings of the 14th World Conferencia on Earthquake Engineering.
Beijing, China.
- PERUCCA, L., MEHL A. E. Y ZÁRATE M. A. 2009.
Neotectónica y sismicidad en el sector norte de la depresión de Tunuyán, provincia de Mendoza.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 64: 262-273.
- REGAIRAZ, A., Y ZAMBRANO, J. 1991.
Unidades morfoestructurales y fenómenos neotectónicos en el norte de la provincia de Mendoza (Andes Centrales Argentinos entre 32° y 34° latitud sur).
Bamberger Geographische Schriften 11: 1-21.
- RODRÍGUEZ, E.J. Y BARTON, M. 1990.
Geología del pie de monte del oeste de la ciudad de Mendoza.
10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 460-463.
- TEBBOUCHE, M. Y., MACHANE, D., CHABANE, S., OUBAICHE, E., MEZIANI, A. A., BENAMAR, D. A., MOULOUEL, H., LOUNIS, G.C., BENSALÉM, R., BENDAOU, A. (2017).
"Imagery of the metamorphic bedrock roof of the Sahel active fault in the Sablettes (Algiers) reclaimed area by ambient vibration HVSr.
Arab J Geosci 10:292. DOI 10.1007/s12517-017-3074-1

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

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 aplicar 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 con anterioridad, total o parcialmente.
- 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 admitirán trabajos escritos en español, portugués o inglés.
- El Comité Editorial y el Editor de la Revista se reservan la posibilidad de invitar a especialistas reconocidos a enviar artículos sobre temas de interés específico.
- Todos los trabajos serán evaluados preliminarmente por el Editor y serán enviados a revisión por pares en carácter doble ciego según los pasos indicados en ítem e) de las instrucciones para autores.
- La presentación de un nuevo trabajo debe ser acompañada de una carta al editor de la Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente en la cual debe constar el título del trabajo y los autores, expresando que el mismo es original, que no ha sido enviado ni se enviará a ninguna otra revista durante el trámite editorial en la Revista. La misma encabezará el PDF generado por el sistema OJS, antes de llenar los archivos complementarios en formato original. Debe mencionar los posibles revisores con los que existan conflictos de intereses.
- Los artículos que no cumplan las normas serán devueltos sin arbitrar.
- En el caso que el número de autores no socios de ASAGAI supere el 50% de la totalidad de los mismos, se deberá proceder al pago, en concepto de derecho de publicación, de un monto equivalente al 40% del monto de la cuota anual de la Asociación.

b) Sobre el formato y la extensión del texto, tipos de letra, páginas, párrafos y leyendas:

- Los artículos originales deberán tener una extensión que no supere las 20 (veinte) páginas y deberá ajustarse a las normas indicadas a continuación.
- En las notas técnicas la extensión total del manuscrito no debe superar las 3 (tres) páginas, debe incluir Resumen, Abstract, Palabras clave, Keywords, hasta 2 (dos) figuras y una tabla.
- En el caso de Artículos Invitados y Artículos Especiales la extensión podrá ser superior a 20 páginas, siempre que el interés del contenido lo justifique y previo acuerdo con el Editor de la Revista y el Comité Editorial.
- El resto de las situaciones mencionadas (Discusiones Técnicas y Reseñas de Libros) deberán tener hasta una página de extensión. En todos los casos la fuente y los márgenes se conservan.

- El texto debe prepararse en el procesador de texto de uso corriente 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.
- Si el trabajo está escrito en español 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, en texto centrado, en letra Times New Roman tamaño 10, se incluyen los datos de los autores 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 de 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 de 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 de 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 tamaño 12, ainterlineado 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 297mm). El área de trabajo será de 170mm de ancho y 247mm de altura. Es decir, 20mm de márgenes derecho e izquierdo y márgenes superior e inferior de 25mm. Se debe usar justificación completa.
- 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 legibles.
- 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 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 calidad. 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 debajo de la misma, que no se debe incluir en el cuerpo de la figura. Se usará letra Times New Roman tamaño 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 preparar 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). El tamaño se deberá limitar, como máximo, a una caja de 15 x23 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 Microsoft 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 contrastadas, claras y con una luz adecuada, ni demasiado clara ni oscura. Deben ser enviadas como archivos .tif, .jpg o pdf. 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.
- Se debe utilizar la misma tipografía en todas las ilustraciones.

- Las fotografías o figuras podrán ser enviadas a color (preferentemente).
- 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 se deben remitir como archivo de texto (formato Word) 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 tamaño 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 de 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 de que dicho permiso ha sido concedido al presentar sus artículos. Todo ello sin perjuicio de 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. La Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente se adhiere a las normas internacionales de citación bibliográfica de la **American Psychological Association (APA)**, siendo ésta uno de los estándares más reconocidos para la transmisión del conocimiento científico y académico desde su primera edición en 1929. Las normas se encuentran disponibles en <http://normasapa.net/2017-edicion-6/>.
- La cita de trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: (Caminos, 1975). En caso de ser más de dos autores se usará et al. (en itálica, 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.
- 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).

- La lista de referencias deberá estar ordenada alfabéticamente, con las citas bibliográficas justificadas a la izquierda y la segunda línea tendrá una sangría especial francesa de 15 puntos ó 0,75 cm. 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.
- 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:
 - Publicaciones periódicas formato impreso: Apellido, A.A., Apellido, B.B, y Apellido, C.C. (Año). Título del artículo. *Nombre de la revista*, volumen (número):pp-pp.
 - Publicaciones periódicas con DOI: Apellido, A.A., Apellido, B.B. y Apellido, C.C. (Año). Título del artículo. *Nombre de la revista*, volumen(número), pp-pp. doi: xx
 - Publicaciones en actas de congresos: Apellido, A.A., Apellido, B.B, y Apellido, C.C. (Año). Título del artículo. *Nombre del congreso o reunión científica*, volumen, pp-pp.
 - Libro: Apellido, A.A. (Año). *Título*. Ciudad, País: Editorial.
 - Libro con editor: Apellido, A.A. (Ed.). (Año). *Título*. Ciudad, País: Editorial.
 - Capítulo de libro: únicamente en los casos de libros donde cada capítulo tenga un autor dife-rente y un editor: Apellido, A.A., y Apellido, B.B. (Año). Título del capítulo. En A.A. Apellido. (Ed.), *Título del libro* (pp. xx-xx). Ciudad, País: Editorial.

Ejemplos:

- Palenzuela, J.A., Marsella, M., Nardinocchi, C., Pérez, J.L., Fernández, T., Chacón, J. & Irigaray, C. (2015). *Landslide detection and inventory by integrating LiDAR data in a GIS environment*. *Landslides*, 12(6):1035-1050.
- 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.
- Dearman, W.R. (1991). *Engineering geological mapping*. Oxford, Inglaterra: Butterworth-Heinemann Ltd.
- 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 & Á.P. Cunha (Eds.), *7th International Congress International Association of Engineering Geology*, (vol III: 2059-2064). Rotterdam, Holanda: Balkema.
- Las citas correspondientes de páginas Web se efectuarán de acuerdo al siguiente modelo: Barker, A. and Jones, C.(2007). Reassessing the direction of postgraduate environmental assessment education: the Manchester experience 1996-present. En T. B. Fischer et al. (Eds.) *Environmental Assessment Lecturer's Handbook* (pp.29-38). Disponible en <http://www.penta-eu.net>, último acceso 28 de Junio de 2010.

e) Arbitraje

Los artículos son inicialmente revisados por el Comité Editorial y/o Editor en Jefe, el cual revisa que satisfaga los requisitos formales y la presente política editorial.

De considerarse pertinente su publicación, la evaluación por pares es efectuada mediante el envío del manuscrito original a dos evaluadores 100% externos a la entidad editora y en modalidad doble ciego.

En el caso de disparidad de opiniones, se remite a un tercer evaluador externo.

La decisión final relativa a la publicación de los artículos y reseñas se toma en función de los dictámenes de los evaluadores externos, para lo cual se requieren dos recomendaciones favorables para la publicación.

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.

Los posibles dictámenes son: aceptado, aceptado con cambios menores, aceptado con cambios mayores, y rechazado. El proceso de evaluación, entre el momento en que es recibido y posee un dictamen de revisión, tiene un tiempo estimado de hasta 3 (tres) meses.

f) Envíos

El único medio de presentación de manuscritos es a través de la página web

<http://www.editoriasagai.org.ar/ojs/index.php/rgaia>

Para proceder al envío de su MS el autor deberá registrarse en el mencionado sitio siguiendo las instrucciones que allí se detallan. Al finalizar el envío Ud. recibirá una confirmación, por medio de un correo electrónico, con un número de referencia. Le solicitamos tenga a bien guardar dicho número, así como el nombre de usuario y contraseña por Ud. elegidos al momento de la registración. A aquellos autores que ya cuenten con un usuario, obtenido durante una presentación o arbitraje previo, se les solicita no iniciar un nuevo registro, sino utilizar la función de recuperación de contraseña disponible en el portal.

Al momento de preparar el MS se solicita cumplimentar las normas que son indispensables para proceder a la evaluación del mismo. Es motivo de devolución el incumplimiento de las normas editoriales.

La versión del manuscrito a ser enviada debe consistir de un único archivo PDF (Portable Document Format). El texto, las figuras y los epígrafes (realizados según las instrucciones) deberán ser subidas como "archivos complementarios". Tanto durante la etapa de la evaluación como de la edición se irán solicitando modificaciones al archivo principal como a las figuras que acompañan el envío. Cargarlas "reemplazando" las originales y no como nuevos archivos, pero con las modificaciones requeridas.

Vea un instructivo para autores que lo ayudará en esta etapa Aquí.

Las figuras pueden ser enviadas en color. En la versión impresa serán publicadas en blanco y negro, mientras que en la plataforma electrónica irán en color (gratuitamente). El costo de impresión de ilustraciones en color correrá por cuenta de los autores.

Los trabajos enviados a los autores para corrección y devueltos después de cuatro meses, serán tratados como artículos nuevos.

ORIGINALIDAD Y PLAGIO

Los autores deberán asegurar que el trabajo presentado es un manuscrito completamente **original e inédito**, que no se encuentra **ni publicado ni presentado previamente en cualquier otro soporte**, y si los autores han utilizado el trabajo y/o palabras de otros, que éstos han sido apropiadamente citados o acotados. Únicamente se aceptará material publicado parcialmente con anterioridad (por ejemplo, en Actas de Congresos) si se hace constar la causa de tal duplicación y

se explicita la fuente original del artículo en el nuevo manuscrito.

Los autores firmantes del trabajo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión.

Si sospecha de que un artículo es sustancialmente copia de otro trabajo, por favor indíquelo al Editor de la Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, citando el trabajo previo con el mayor detalle posible.

La Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente utilizará un sistema de detección de plagio denominado *Plagium* (www.plagium.com) para la verificación de textos breves de hasta 5000 caracteres de forma rápida y libre. Además, los manuscritos podrán ser verificados manualmente y contrastados con otras publicaciones si se sospecha de su originalidad. Cuando se detecte un plagio o autoplagio total o parcialmente (sin la citación correspondiente), el texto no se incorporará al proceso editorial y se le notificará al autor.

**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 1º - C1006ACG
Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

(Una vez completado el formulario envíelo a asagai@asagai.org.ar)

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:

_____ []

FORMA DE PAGO

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 01-12-2019):

Para Argentina:

- Compra de número vigente: **1050** Pesos
- Compra de número atrasado: **1575** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **400** Pesos por artículo

Para el exterior:

- Compra de número vigente: **17** Dólares
- Compra de número atrasado: **25** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **5** Dólares por artículo

PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 01-12-2019):

Para Argentina:

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **2100** Pesos
- Suscripción Instituciones: **8400** Pesos
- Compra de número atrasado: **1400** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **350** Pesos por artículo

Para el exterior:

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **34** Dólares
- Suscripción Instituciones: **136** Dólares
- Compra de número atrasado: **25** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **5** Dólares por artículo

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.



INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR
ENGINEERING GEOLOGY
AND THE **ENVIRONMENT**



ASAGAI
ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

1º Conferencia Regional Sudamericana de IAEG y

**2º Congreso Argentino de Geología
Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**

1st IAEG South American Regional Conference and

**2nd Argentine Congress of Geology
Applied to Engineering and the Environment**

Geología aplicada al desarrollo de la sociedad
Geology applied to society development

Córdoba, 7 al 10 de septiembre de 2021

Córdoba, September 7-10, 2021

Contacto académico / Academic contact: congreso@asagai.org.ar
Contacto comercial / Commercial contact: aw@tradeshaw.com.ar

Comité Organizador / *Organizing Committee*

Presidente / <i>President</i>	MSc Geólogo Norberto Jorge Bejerman
Secretaria / <i>Secretary</i>	Dra. María Paula Bunicontro
Tesorero / <i>Treasurer</i>	Lic. Alejandro E. Celli
Miembros / <i>Members</i>	Dr. Ing. Gonzalo M. Aiassa Martinez
	Dra. María Victoria Altinier
	Dr. Ing. Pedro A. Arrúa
	Dra. Ana Cecilia Dufilho
	Mgter. Mirian Viqueira
	Dr. Ing. Marcelo E. Zeballos

Objetivos / *Objectives*

El objetivo principal de la conferencia es compartir el conocimiento y la experiencia práctica en el tratamiento de cuestiones vinculadas con la Geología aplicada al desarrollo de la sociedad.

Esperamos darles la bienvenida a todos ustedes en Córdoba.

The conference's main goal is to share knowledge and practical experience in dealing with issues on Geology applied to society development.

We look forward to welcoming all of you in Cordoba.

Temas / *Themes*

- Aspectos geológico-ingenieriles en la construcción de obras y patologías de terrenos / *Geological-engineering aspects in the construction of works and land pathologies*
- Cartografía temática / *Thematic cartography*
- Geología ambiental / *Environmental geology*
- Geología Urbana y el Ordenamiento Territorial / *Urban Geology and Territorial Planning*
- Geología costera / *Coastal geology*
- Geología médica / *Medical geology*
- Geomecánica / *Geomechanics*
- Gestión integrada de recursos hídricos / *Integrated management of water resources*
- Parques Geológicos y Geoturismo / *Geological Parks and Geotourism*
- Riesgo geológico / *Geological risk*
- Rocas ornamentales / *Ornamental rocks*
- Rocas de aplicación y otros materiales de uso ingenieril / *Industrial rocks and other materials for engineering use*

Copyright
© Editorial ASAGAI. 2019
Editada en Argentina

Se terminó de editar en Diciembre de 2019



ASAGAI
ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

Calidad química de los recursos hídricos subterráneos en las cuencas de la falda oriental y norte de la sierra de Ancasti, Catamarca, Argentina

Segura, Luis - Saracho, Marta - Lobo, Patricia - Leguizamón, Mario

Erosión hídrica costera en el balneario Monte Hermoso, Buenos Aires, Argentina

Albouy, René - Di Martino, Claudina - Berezosky, Juan José - Ruffo, Andrés Gabriel - Marcos, Angel

Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca. Relación del grado de deterioro con el comportamiento hidrodinámico de la zona no saturada

Pérez Marfil, Paula - Scherger, Leonardo - Priano, Carla - Lescano, Leticia - Pera Vallejos, Guillermo - Lafont, Daniela - Lexow, Claudio - Marfil, Silvina

Soluciones estructurales de bajo impacto ambiental utilizando gaviones para la disminución del riesgo de inundaciones en una cuenca urbana

Aplicación en la cuenca del Ramal H, Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina

Giaconi, Luis Mario - Giaconi, Mario Nicolás - Coelho Dos Santos, Gabriela - Tear, María Florencia

La técnica del cociente espectral H/V como herramienta para la determinación de estructuras ciegas.

Un caso de estudio en la ciudad de Mendoza, Argentina

Giolo, Emilce - Calderón, Francisco - Pagano, Sebastián - Via Gatica, Sebastián - Frau, Carlos

Portada: instalación de un sistema de anclajes y drenajes en el proceso de estabilización del Cerro Chenque. *Fotografía: Sandra Graciela Orlandi.*

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

