

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 45 • 2020

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
Estudio hidrogeológico integral del yacimiento de hidrocarburos no convencionales La Calera, cuenca neuquina. Procedimientos y resultados	<i>Reynaldi, J. M. - Rodriguez, L. G. - Angel Alvarez, J. B. - Herrera, J. M. - María, S.</i>	1
Estado actual del conocimiento de los acuíferos en el partido de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Estudio Preliminar	<i>Carrica, Lucía - Carrica, Jorge - Albouy E. René</i>	19
Línea base para riesgo de caída de rocas en un camino de montaña en Sierra Chica, provincia de Córdoba, Argentina	<i>Quintana Crespo, Enrique F. - Navarro, María Alejandra</i>	33
Reseña de Libros. Manual para el diseño de una red de monitoreo de alerta de inundaciones y sequías	<i>Rivas, Raúl - Mancino, Christian</i>	49
Directrices para autores		51
Formulario de suscripción o compra		55

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 55 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 55 an application form to be fulfilled and sent to the Editor is available.



Estudio hidrogeológico integral del yacimiento de hidrocarburos no convencionales La Calera, cuenca neuquina. Procedimientos y resultados.

Integrated hydrogeological study of La Calera block, an unconventional oil and gas field in neuquina basin. Procedures and results.

Reynaldi, J. M. ✉ - Rodriguez, L. G. - Angel Alvarez, J. B. - Herrera, J. M. - María, S.

Recibido: 23 de julio de 2020 • Aceptado: 7 de agosto de 2020

Resumen

La caracterización de acuíferos en zonas con actividad petrolera cobra importancia al momento de proteger sus condiciones naturales de yacencia, y de evitar cambios que puedan condicionar su futuro uso. Este conocimiento depende tanto de la responsabilidad de las empresas privadas y de las autoridades estatales. Las primeras porque tienen interés en explotar los hidrocarburos en subsuelo, y las segundas por la necesidad de generar un marco legal claro y coherente que permita la obtención de la información necesaria para hacer las evaluaciones. En la cuenca Neuquina, el grupo Neuquén y la formación Rayoso son las principales unidades presentes en superficie. A su vez, gran parte de los pozos perforados atraviesan estas formaciones, consideradas a priori, como las que albergan los acuíferos de mayor vulnerabilidad. Presentan aguas con salinidades menores a los 3.000 ppm de sólidos totales disueltos (STD), condición que obliga a extremar las acciones para su conservación. Este estudio propone una secuencia de trabajo en tres etapas que ha sido aplicada en el bloque La Calera. La primera comprende la caracterización ambiental del área, incluyendo el análisis de información indirecta proveniente de la actividad de la industria petrolera (perfiles eléctricos, información sísmica); una segunda etapa de integración regional, con información obtenida del repositorio virtual generado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SsRH) de la provincia de Neuquén; y una tercera fase de evaluación de resultados de muestreos directos realizados en pozo. La integración final permite conocer y enmarcar regionalmente las características hidrogeológicas del bloque, pudiendo evaluarse medidas de protección y preservación acordes al impacto que la actividad genera.

Palabras clave: Caracterización, Hidrogeología, Acuífero, Integración, No Convencional.

Abstract

Aquifer characterization and protection in areas with oil and gas activity becomes a challenge, when it comes to avoid

changes in natural reservoir conditions that may impact in their future use. This knowledge depends both on the responsibility of private companies and state authorities. The former because it is interested in exploiting the oil and gas, and the latter because of the need to generate a clear and coherent legal framework that allows obtaining the information to carry out evaluations. In the Neuquina basin, Neuquén group and Rayoso formation are the main units on surface. In addition, almost all of the drilled wells pass through these formations, which are considered to harbor the shallower and most vulnerable aquifers. The salinity of its waters are generally lower than 3.000 ppm of Total Dissolved Solids (STD in spanish), a condition that requires to extreme the actions for their preservation. A three-stage workflow sequence applied in La Calera block is proposed. The first stage includes the environmental characterization of the area, including the analysis of indirect information from the oil and gas activity (electrical logs, seismic information); a second stage of regional integration, adding information from the virtual storage supported by the Subsecretaria de Recursos Hidricos (SsRH) of Neuquén province; and a third stage of direct well samplings results evaluation. The final integration allows to build a hydrogeological framework of the block that leads to define accurate evaluation and protection measures according to the impact of the unconventional oil and gas activity.

Keywords: Characterization, Hydrogeology, Aquifer, Integration, Unconventional.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y MARCO HIDROGEOLÓGICO

El bloque La Calera se encuentra ubicado en el sector central de la provincia de Neuquén, en la margen izquierda (norte) del Rio Neuquén, unos 7 km al NNO del Embalse Cerros Colorados. Es una concesión de desarrollo no convencional, operada por Pluspetrol, en sociedad con YPF. (Figura 1).

Si bien el bloque se encuentra ubicado entre dos de los campos gasíferos convencionales más productivos de la cuenca Neuquina (Loma la Lata, al Este y Aguada Pichana, al Oeste), la producción acumulada es baja (905.000 BBLs de condensado y 5,7 BCF de gas).

Desde el punto de vista hidrogeológico, *Colombino y Luengo (2011)*, dividen a la provincia de Neuquén en 7 regiones,

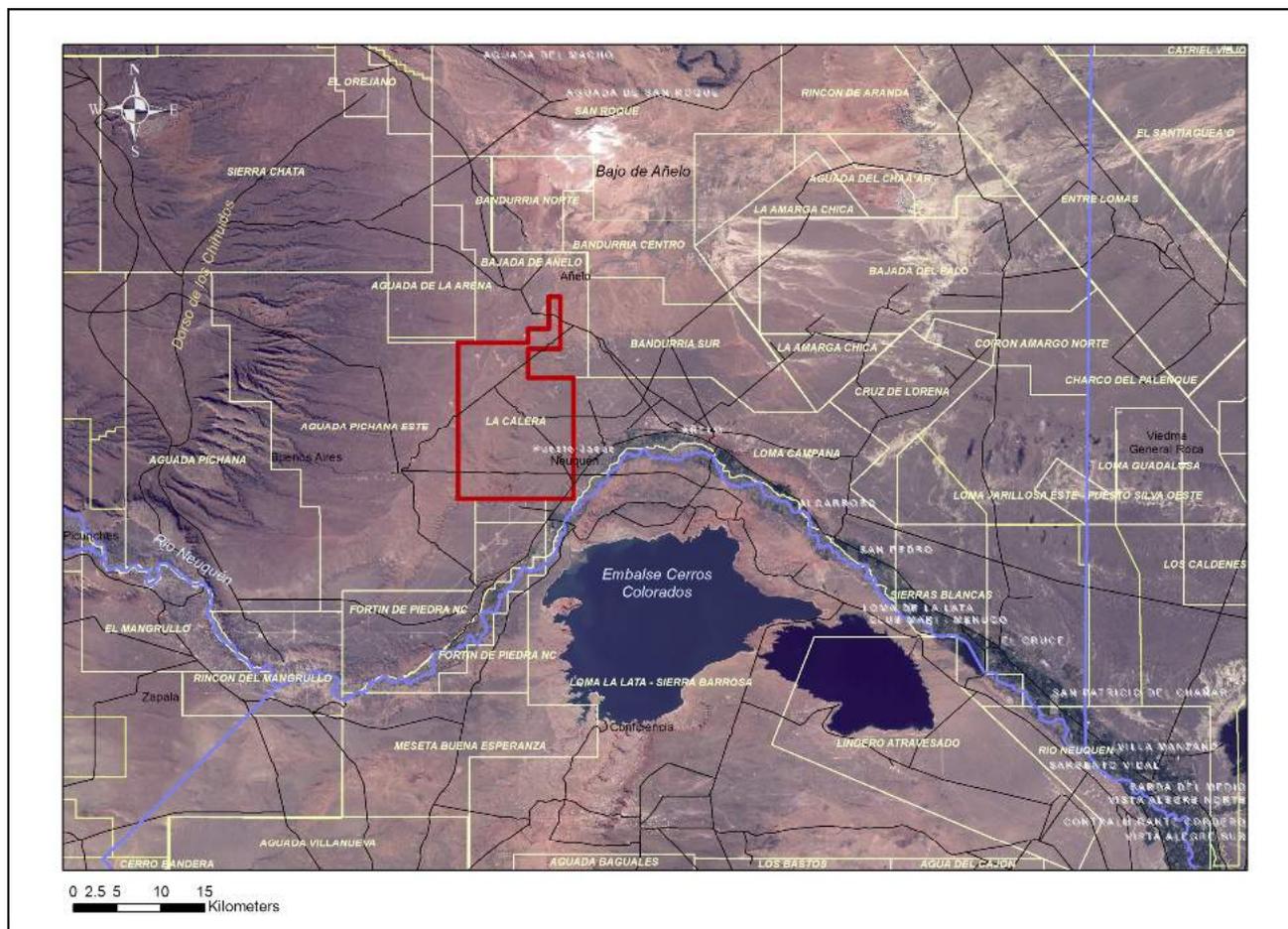


Figura 1. Ubicación regional del bloque La Calera y su relación respecto a los principales rasgos geomorfológicas de la región.

condicionadas por el diseño de las cuencas hídricas superficiales (Figura 2). El bloque La Calera se encuentra en la **Región Noreste** (2). Si bien la zona fue poco estudiada en el pasado, el desarrollo de los yacimientos no convencionales y el consecuente incremento de la actividad hidrocarburífera han permitido aumentar el conocimiento técnico de la región. En los últimos años se iniciaron diferentes trabajos de correlación estratigráfica donde muchas de sus unidades corresponden a niveles acuíferos y acuitados de carácter regional. Identificar estos niveles, permitió su caracterización hidroquímica e hidráulica, a partir de la realización de mediciones y muestreos in situ. Dado el creciente interés por el desarrollo de recursos no convencionales, y los grandes volúmenes requeridos para esta actividad, se generó la necesidad de establecer un marco de referencia para la protección de los acuíferos. El cual se describe a continuación.

La SsRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos) de la provincia de Neuquén, dentro del marco de las reuniones bimensuales de correlación, donde participan todas las empresas operadoras de la cuenca, estableció los criterios que deben considerarse con el fin de proteger los acuíferos, siendo los mismos:

- I Asegurar un espesor mínimo de protección de 100 metros de arenas saturadas en agua, pudiendo considerarse múltiples intervalos acuíferos.
- II Ubicar el zapato de la cañería guía en un intervalo definido como sello hidráulico (local o regional).
- III Caracterizar hidroquímicamente las aguas presentes en el subsuelo y determinar su aptitud para consumo humano y/o irrigación.

OBJETIVOS

Presentar la secuencia de trabajo utilizada para la realización de un Estudio Hidrogeológico Integral en zonas con actividad hidrocarburífera.

Integrar el bloque La Calera dentro de un marco hidrogeológico regional y conocer las características de los diferentes niveles acuíferos del área.

Enmarcar el recurso hídrico en los requerimientos de la SsRH de la provincia de Neuquén y las legislaciones vigentes.

Optimizar el diseño de cañerías de superficie en la perforación de pozos hidrocarburíferos, con el fin de asegurar la aislación de los niveles acuíferos que requieran protección.

METODOLOGÍA

La secuencia de trabajo fue completada siguiendo 3 tres etapas definidas por el grado de conocimiento del bloque.

Etapas 1. Estudio hidrogeológico regional: Se trata de una recopilación y análisis de antecedentes regionales del medio físico (Clima, Hidrología, Geomorfología, Geología). Esta etapa contempla una caracterización de subsuelo en base a datos pre-existentes de perfiles, legajos de pozo e informes regionales. Se busca además realizar una primera estimación de las salinidades presentes en el subsuelo a partir de la interpretación de perfiles eléctricos.

Etapas 2. Integración de datos y antecedentes regionales: Se incorporó la información del repositorio virtual generado por la SsRH de la provincia de Neuquén. Esta información incluye ubicación de pozos, perfiles, correlaciones estratigráficas (algunas con respaldo sísmico), identificación de niveles acuífero, niveles sello, análisis químicos de agua, puntos de presión, etc.

Etapas 3. Ajuste del modelo hidrogeológico e hidroquímico con la información obtenida de nuevos pozos del bloque: En esta etapa se incorporan los datos hidroquímicos e hidráulicos obtenidos mediante el muestreo de diferentes niveles acuíferos. Se realiza una clasificación de familias hidroquímicas de agua y aptitud para consumo y/o riego, siguiendo el protocolo de análisis descripto en *Rodriguez et al (2020)*, el cual cumple los requerimientos de la autoridad provincial.

Etapas 1: Estudio Hidrogeológico Regional

Durante 2017, se perforó en el área La Calera, el primer pozo exploratorio a la Formación Vaca Muerta, cuyos resultados productivos dieron lugar a solicitar una concesión de explotación no convencional para toda el área. A fines del mismo año, con el objeto de llevar adelante la perforación de un plan piloto de 9 pozos e incrementar el conocimiento del bloque, se decidió realizar un trabajo de caracterización hidrogeológica preliminar que estudie las características del medio físico (clima, hidrología, geología, geomorfología e hidrogeología) y su entorno, buscando además incrementar el conocimiento de los acuíferos presentes en la zona. Para ello se trabajó con información de perfiles de pozos del bloque, buscando reconocer aquellos niveles cuya respuesta eléctrica indicaba probable presencia de agua dulce.

Dentro del marco medio ambiental que presentó este estudio se puede mencionar que el clima de la provincia de Neuquén se caracteriza por un alto grado de continentalidad. Según la calificación de Köppen corresponde a un clima seco, desértico y frío (BWk), influenciado por la cordillera de los Andes. El gradiente de precipitaciones disminuye de Oeste a Este entre valores promedios de 1500 a 150 mm/a (*Hidroar SA, 2017*).

El análisis de hidrología superficial permite definir que la mayor parte de la escorrentía superficial de la provincia de Neuquén drena hacia el océano Atlántico por medio de los ríos Neuquén, Limay y Colorado; mientras que una superficie menor, en el sector suroeste, drena al Pacífico. En la zona central de la provincia, procesos de inversión de relieve han generado una subcuenca de tipo endorreica que cubre una superficie aproximada de 9350 km², la subcuenca Bajo de Añelo. (Figura 3)

El Río Neuquén representa el principal curso de agua de la región. Nace en el sector cordillerano, (1470msnm), y recorre poco más de 400 Km donde confluye con el Río Limay para formar el Río Negro (250msnm). Desde el punto de vista de su relación con el subsuelo, es un río influente.

El bloque La Calera presenta un clima árido de escasas precipitaciones. La temperatura media anual es de 15°C, con marcado patrón estacional. Las precipitaciones medias anuales son 150mm/a, y el viento es uno de los factores climáticos más importantes. Se ubica casi en su totalidad dentro de la subcuenca del Bajo de Añelo, aunque su sector sureste está vinculado a la cuenca del Río Neuquén. La divisoria de aguas la constituye la Planicie de Añelo, de orientación este-oeste. Geomorfológicamente la zona se encuentra en el sector sur del Bajo de Añelo y está limitado al oeste por el Dorso de los Chihuidos, rasgo morfoestructural positivo terciario que afecta a toda la columna sedimentaria. Este alto conforma una importante zona de erosión donde aflora la formación Rayoso, definiendo así una zona de recarga local del acuífero. El área de estudio se caracteriza por presentar un paisaje de tipo mesetiforme, interrumpido por valles fluviales y delimitado por escarpas erosivas o "Bardas". El modelado del relieve alude a procesos fluviales y, en menor medida, eólicos y de remoción en masa. Las unidades geomorfológicas que se reconocen corresponden principalmente a

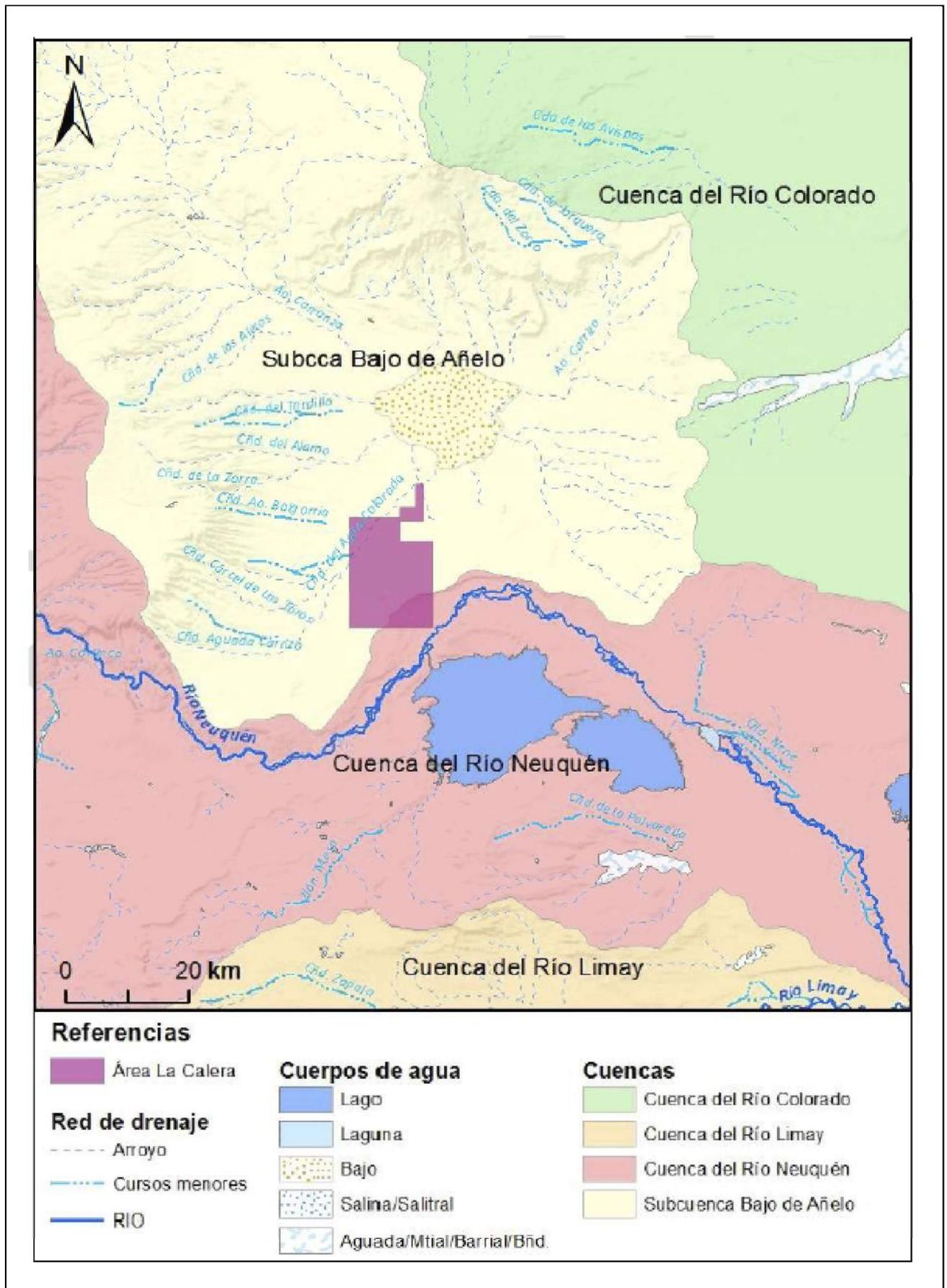


Figura 3. Hidrología de la provincia de Neuquén en las inmediaciones de la zona de estudio.

terrazas fluviales, planicies y abanicos aluviales, y geoformas eólicas cuaternarias.

Con el fin de tener una primera aproximación de las características litológicas de los potenciales niveles acuíferos, se describen las características de la Formación Rayoso y del Grupo Neuquén

La Formación Rayoso se compone de sedimentitas clásticas de origen fluvial. Este conjunto es cubierto en discordancia angular por depósitos continentales del Grupo Neuquén. Estas unidades alcanzan en conjunto un espesor máximo de 1000 m al Este del bloque La Calera, donde aflora la Formación Cerro Lisandro.

Hacia el oeste, el espesor disminuye progresivamente producto de la influencia del Dorso de los Chihuidos. Todos estos

depósitos están parcialmente cubiertos en parte por sedimentos cuaternarios.

Se analizaron e interpretaron los perfiles de los pozos del yacimiento La Calera y se confeccionaron secciones y mapas estructurales.

Las correlaciones realizadas permiten evaluar la disposición de las formaciones en subsuelo que, sumado a la litología identificada, permite tener una interpretación inicial de las diferentes unidades hidrogeológicas presentes (acuíferos, acuitardos, acuícidos).

La caracterización hidrogeológica inicial (Etapa I), permitió identificar distintos niveles acuíferos en posiciones someras y profundas. El trabajo estuvo basado en la interpretación de perfiles eléctricos, ya que durante esta etapa no se contaba con muestreos de agua ni análisis químicos que validaran las estimaciones petrofísicas (Figura 4).

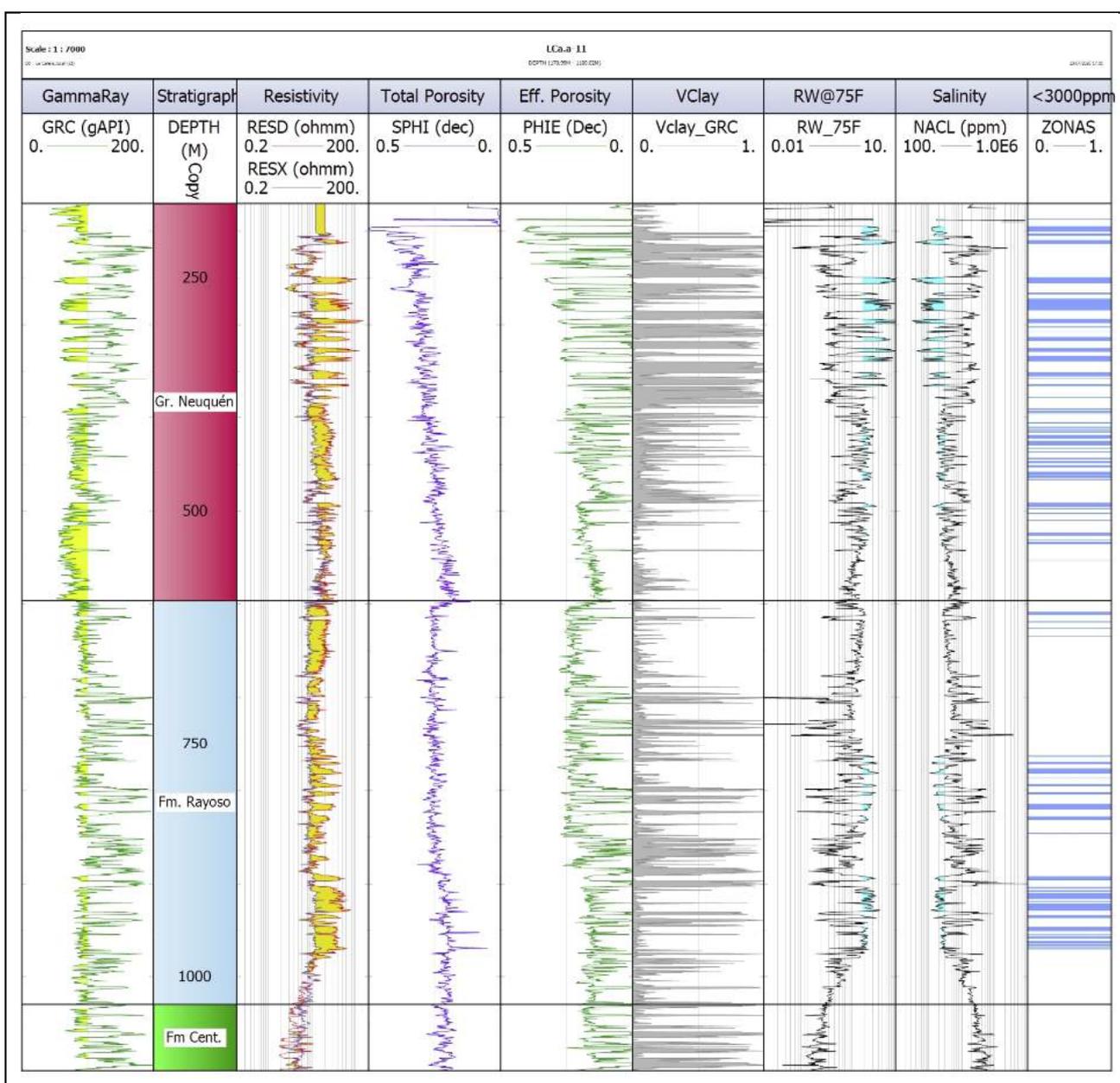


Figura 4. Análisis petrofísico del pozo LCa.a-11. Cálculo de porosidad, salinidad y volumen de arcillas. Identificación de niveles con agua menor a 3000 ppm.

Los resultados principales de la Etapa I fueron los siguientes:

- El clima del área es seco, desértico y frío, con una temperatura media anual de 15°C, precipitaciones de 150 mm/año, y viento intenso del oeste y sudoeste.
- El bloque se ubica casi en su totalidad dentro de la subcuenca del Bajo de Añelo. Su sector sureste está vinculado a la cuenca del Río Neuquén.
- La presencia del río Neuquén y el embalse Cerros Colorados, hacia el sur del bloque, podrían conformar zonas de aporte al medio subterráneo.
- Los potenciales intervalos acuíferos se encuentran asociados a los depósitos del Grupo Neuquén y la Formación Rayoso.
- Mediante el análisis petrofísico se determinaron de manera indirecta los intervalos acuíferos con salinidad menor a 3000 ppm de STD.

Las técnicas de caracterización petrofísica implementadas en este trabajo tienen las siguientes características. (Alonso, 2016 y Patten & Bennett, 1963).

- Son cálculos surgidos del estudio petrolero, generalmente asociado a reservorios profundos con altas salinidades (>30000 ppm). Su extrapolación a los acuíferos más

someros (y de menor salinidad) requiere disponer de muestras para su comparación y calibración.

La transformación de la resistividad del agua (R_w) calculada por perfiles, a valores de salinidad, se obtiene a partir de ábacos y fórmulas que consideran al NaCl equivalente como sal constituyente de la solución. Sin embargo, en los sistemas acuíferos con presencia de agua dulce, participan en su composición otros iones (SO_4 , HCO_3 , Ca, Na, Mg, etc), que incluso pueden ser más abundantes que el NaCl, y pueden convertir el agua dulce en no potable, o no apta para riego.

Etapa 2: Integración con Información Regional (Repositorio digital SsRH)

Con el Estudio Hidrogeológico Regional de base (Etapa I) y con el fin de ajustar la caracterización de los acuíferos presentes en el Grupo Neuquén y la Formación Rayoso, se incorporó la información pública compartida por otras operadoras de la cuenca, disponible en el repositorio digital generado por la SsRH de la provincia de Neuquén, de acceso libre para las empresas participantes. Esta información permitió contar con registros eléctricos e información de muestras de laboratorio de pozos aledaños al área La Calera, lo que permitió incluirla en un contexto regional (Figura 5).

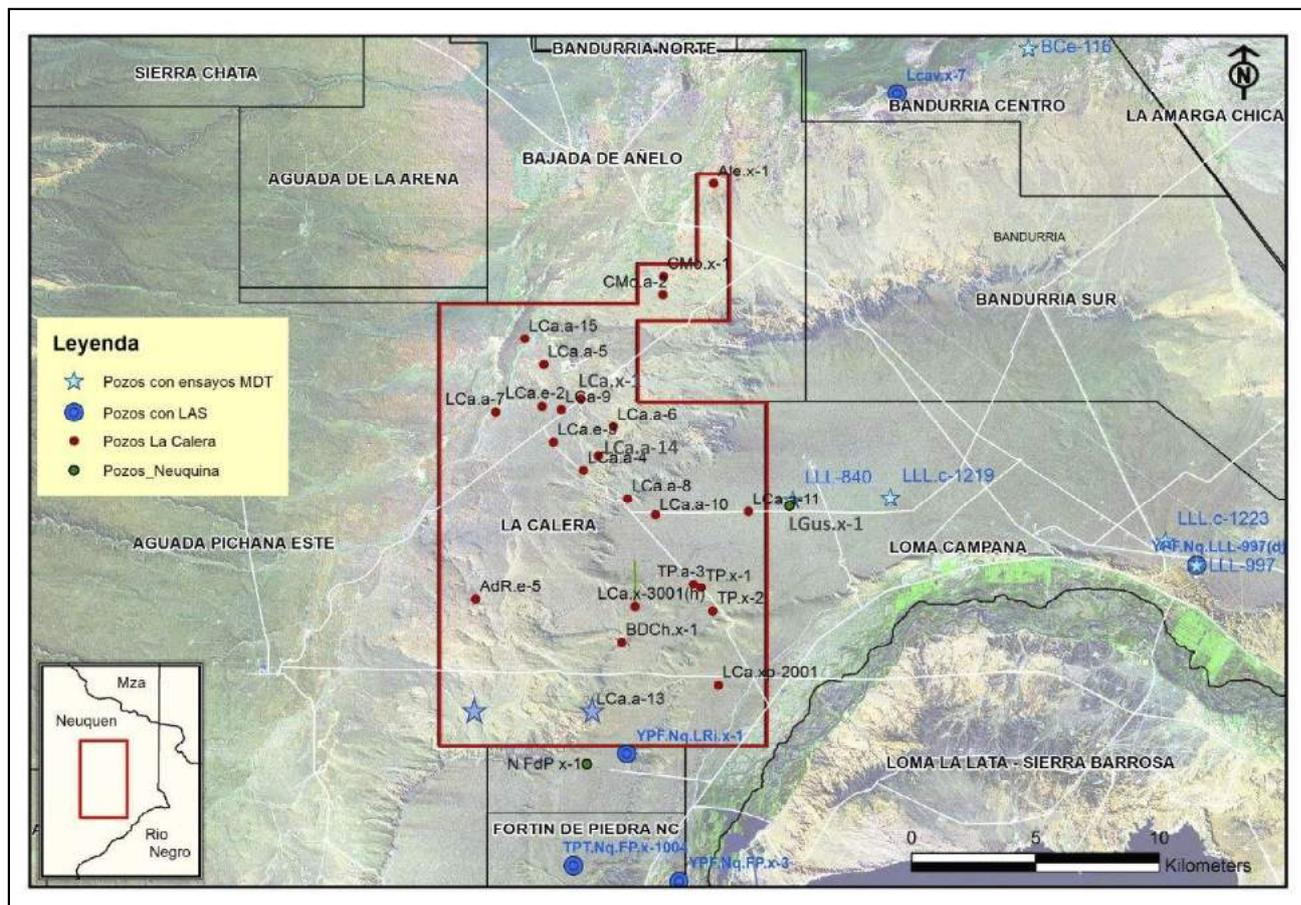


Figura 5. Mapa de Ubicación del Bloque La Calera. Se detalla la información disponible a nivel local y regional.

INTEGRACIÓN REGIONAL DE SUBSUELO

Se realizó una integración geológica regional con las áreas vecinas, verificando la presencia y continuidad de las unidades geológicas, sus características petrofísicas, definición de niveles sello y características de sus aguas. Se generaron dos secciones estratigráficas que incluyen pozos de las áreas de Loma Campana, La Calera y La Ribera, donde se comprueba la continuidad lateral de las unidades (Figura 6). Estas correlaciones estuvieron sustentadas con secciones sísmicas (Figura 7).

Con el fin de profundizar el estudio, se definieron 4 unidades dentro de la formación. Rayoso (Nivel 1,2,3 y 4), las cuales pueden corresponder a niveles acuíferos de distintas características. Además, su continuidad sísmica permitió extrapolarlos a las áreas vecinas e integrar estos niveles regionalmente.

Respecto al Grupo Neuquén, se logró reconocer en su base un intervalo estratigráfico de espesor constante ($\pm 140m$), de bajo GR y resistividades con invasión nula, que corresponden a la formación Candeleros. Estudios sobre cutting y en afloramiento denotan un alto grado de cementación de estos depósitos que le confieren características de sello regional. Desde una visión hidrogeológica constituye un *Acuícludo*, mostrando como evidencia ensayos sin entrada (dry tests) en pruebas realizadas en el área de Loma Campana.

Se replicó para los pozos de las áreas vecinas la construcción de una curva de salinidad, tal como se había realizado para los pozos del bloque La Calera en la Etapa I. Con ello se determinó que el Grupo Neuquén y la Formación Rayoso, presentan salinidades entre 1000 y 5000 ppm de NaCl, mientras que en la Formación Centenario poseen salinidades que superan los 30000 ppm. Mediciones realizadas sobre muestras de agua obtenidas en pozos de Loma Campana indican que las estimaciones

de salinidad realizadas con perfiles son coherentes con los resultados obtenidos en laboratorio. Este trabajo identificó y definió una zona “de transición” (nivel 4) en un intervalo de poco espesor ($\pm 35m$) donde la salinidad se eleva en forma abrupta, desde los 3500 a los 30000ppm, interpretándose como un sello hidráulico regional (Acuitardo) que separa los niveles acuíferos de la Formación Rayoso, de los correspondientes a la Formación Centenario. (Figura 8).

Con los datos de muestras de áreas vecinas y el análisis de datos indirectos de La Calera, se pudo realizar un gráfico resumen con diferentes niveles acuíferos y niveles de sello. (Figura 9).

Los resultados principales de la ETAPA 2 son:

- La correlación con pozos de áreas vecinas verifico la presencia y continuidad de los principales intervalos definidos en este trabajo y de uso en el ámbito de las reuniones bimensuales. Se identificaron nuevos niveles internos de la Formación Rayoso (niveles 1, 2 3 y 4).
- Se confirmó la presencia de la Formación Candeleros, importante sello regional de la base del Grupo Neuquén.
- Basado en la correlación estratigráfica con los bloques vecinos, se asignaron salinidades de los diferentes niveles acuíferos.
- Se definió una zona “de transición” de salinidades (acuitardo) de unos 35m de espesor, en la base de la Formación Rayoso.
- Esta zona presenta una transición de salinidades entre los 3500 ppm de salinidad en la base de Formación Rayoso, a los 30000 ppm al techo de la Formación Centenario.

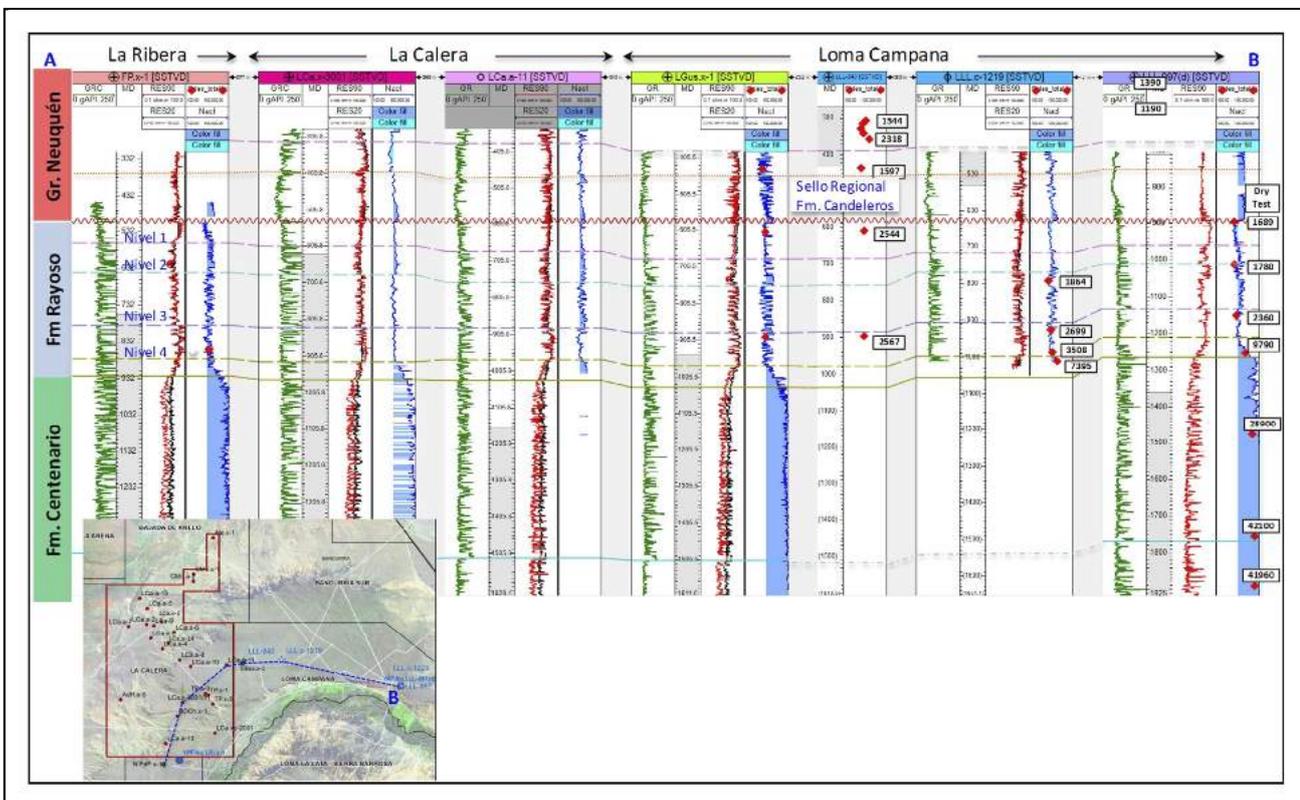


Figura 6. Correlación regional entre pozos de La Ribera, La Calera y Loma Campana.

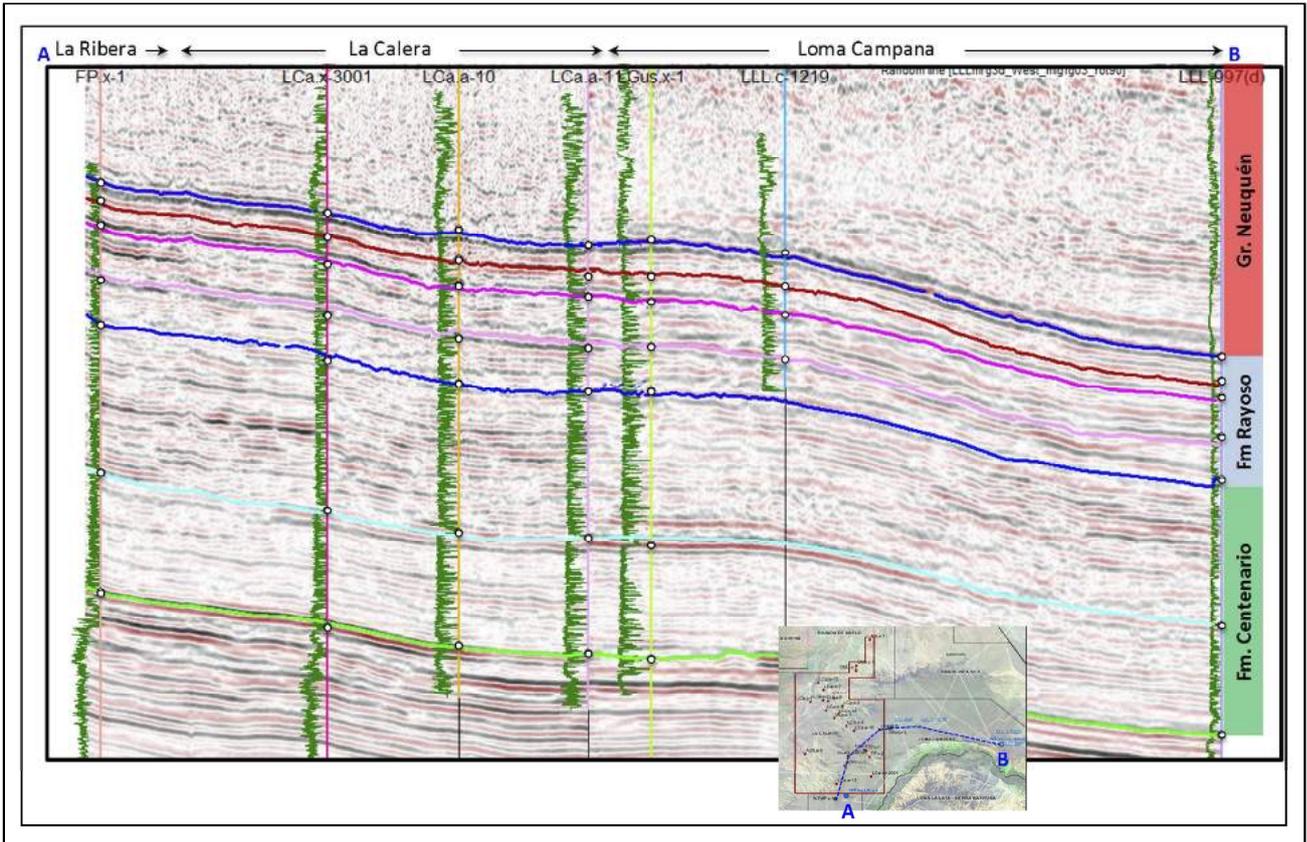


Figura 7. Sección sísmica integrando pozos de La Ribera, La Calera y Loma Campana.

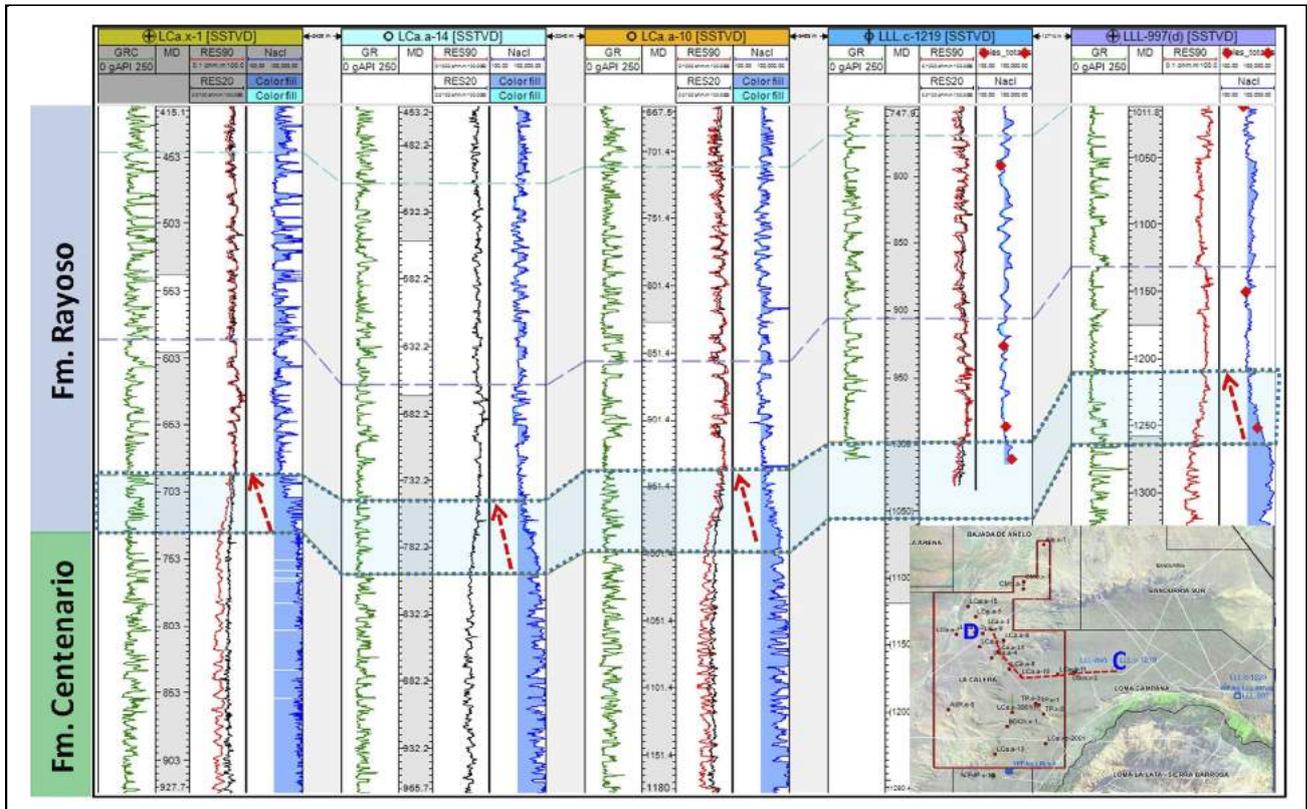


Figura 8. Correlación estratigráfica entre pozos La Calera - Loma Campana. El sector sombreado delimita la zona de transición de salinidad definida en el texto. La flecha roja indica la rampa de salinidad que hay entre la base de Fm Rayoso - Fm Centenario. Los puntos rojos corresponden a los valores de STD en muestras de agua tomadas en pozo. Nótese la buena correlación con la curva de salinidad calculada por perfiles.

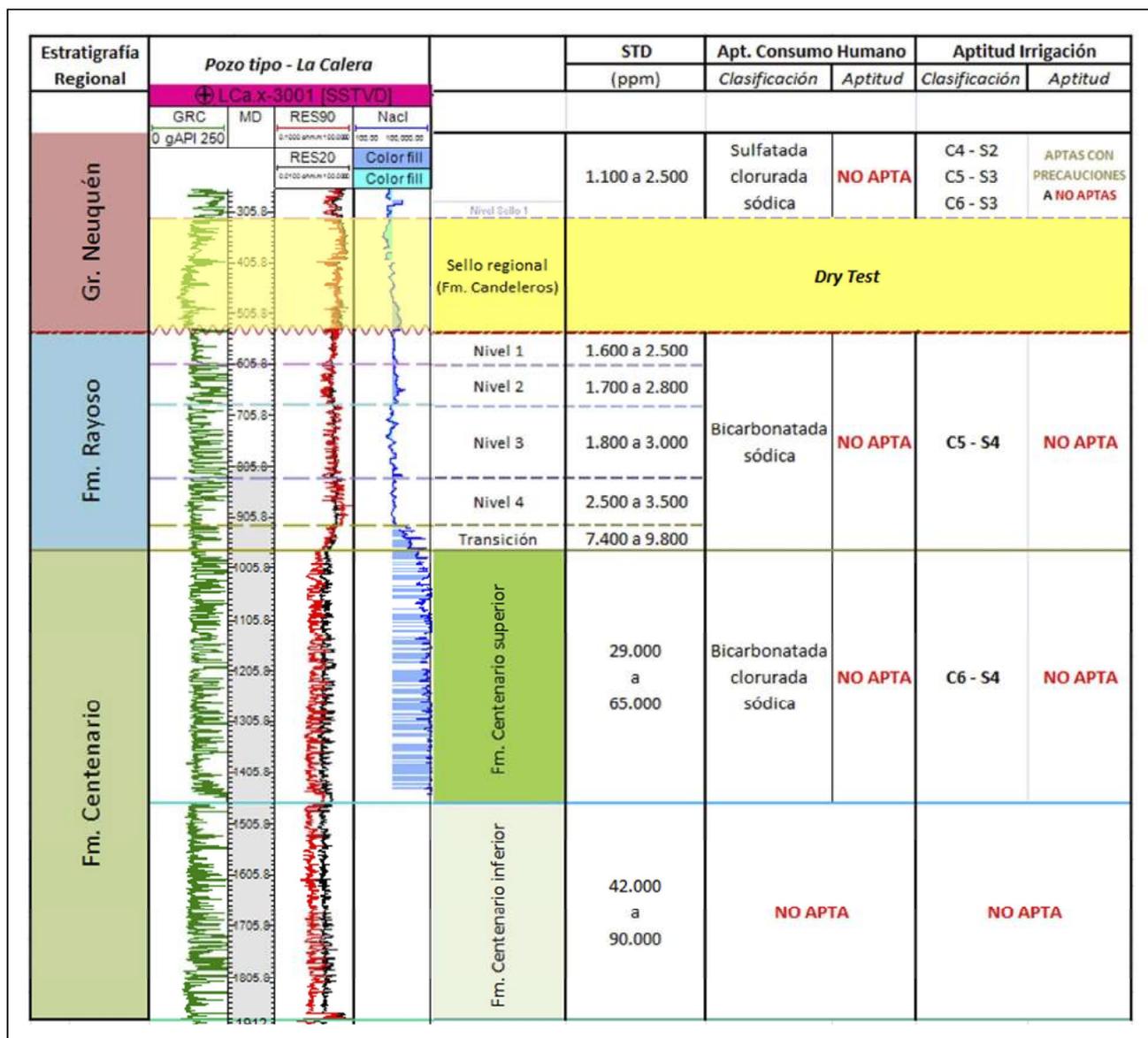


Figura 9. Cuadro resumen de las características de los acuíferos en el área La Calera, basado en correlación de pozos.

Etapas 3: Ajuste del modelo hidrogeológico e hidroquímico con la información de pozo.

Con el Estudio Hidrogeológico Regional (Etapa I) ajustado con los datos de pozos de bloques vecinos (Etapa II), se diseñó el plan de toma de muestras en La Calera. El programa contempló correr un set de perfiles de pozo que incluyó GR-IND-Sónico, y la toma de muestras de agua y presiones de formación. Una vez obtenida esta información se comenzó a trabajar en la calibración del trabajo realizado en la Etapa I y II.

Para la caracterización hidrogeológica se tomaron muestras de agua del Grupo Neuquén, Formación Rayoso y de la Formación Centenario. También fueron medidas las presiones de formación en diferentes niveles, con el fin de obtener datos que permitan estimar la posición del nivel estático del agua y confirmar los niveles sellos. Los pozos muestreados fueron: LCa-3008(h), LCa.a-3011, LCa.s-3025 y LCa.a-3107 (Figura 10).

El muestreo y los análisis químicos se realizaron siguiendo los principios y procedimientos definidos en Rodríguez et al (2020). La clasificación en familias de agua se realizó siguiendo

el método gráfico de Piper (1944). Estas muestras también fueron clasificadas según el Código Alimentario Argentino (CAA) para definir su potabilidad, y finalmente se define su calidad como agua para riego, según la norma Riverside (RAS - relación de absorción de sodio).

Los resultados de STD observados en los pozos de La Calera, presentan un perfil de salinidad variable entre 850 y 5000 ppm. En la base de la Formación Rayoso, la salinidad comienza a mostrar un aumento progresivo desde 3500 ppm, hasta 18000 ppm, comprobando la zona “de transición” de salinidad definida en la Etapa II.

Dentro del bloque La Calera, el Grupo Neuquén presenta 3 intervalos (Figura 10).

- 1° zona no saturada-ZNS (entre el nivel del terreno y el nivel estático-NE),
- 2° zona saturada ZS (entre el NE y el techo de la Formación Candeleros). Este intervalo conforma una de los objetivos a proteger.

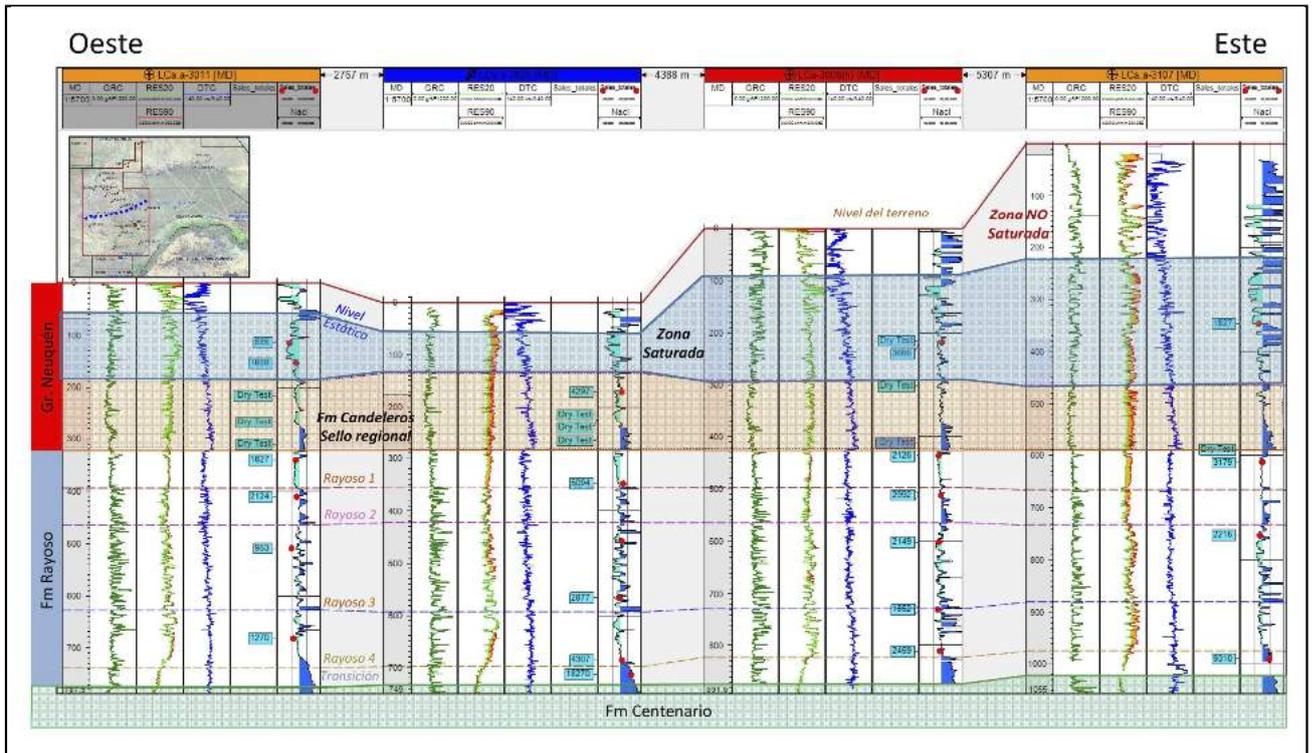


Figura 10. Correlación Oeste- Este en La Calera. Pozos LCa.a-3011-LCa.s3025-LCa-3008-LCa.a-3107.

3° Sello Regional SR: definido por la Formación Candeleros, nivel sello regional.

CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA

Según la clasificación de Piper (1944) se pudo comprobar que todas las muestras analizadas del bloque La Calera (Grupo Neuquén y Formación Rayoso) corresponden a familias del tipo

Cloruradas y/o Sulfatadas sódicas (Figura 11). Los STD varían entre 680 ppm (Grupo Neuquén) y 5000 ppm (Formación Rayoso). Estas características químicas permiten ubicar a los acuíferos en una zona de transporte ya que por su concentración salina corresponden a aguas salobres La confirmación de estas interpretaciones requiere análisis isotópicos, y esta temática no será abordada en este estudio.

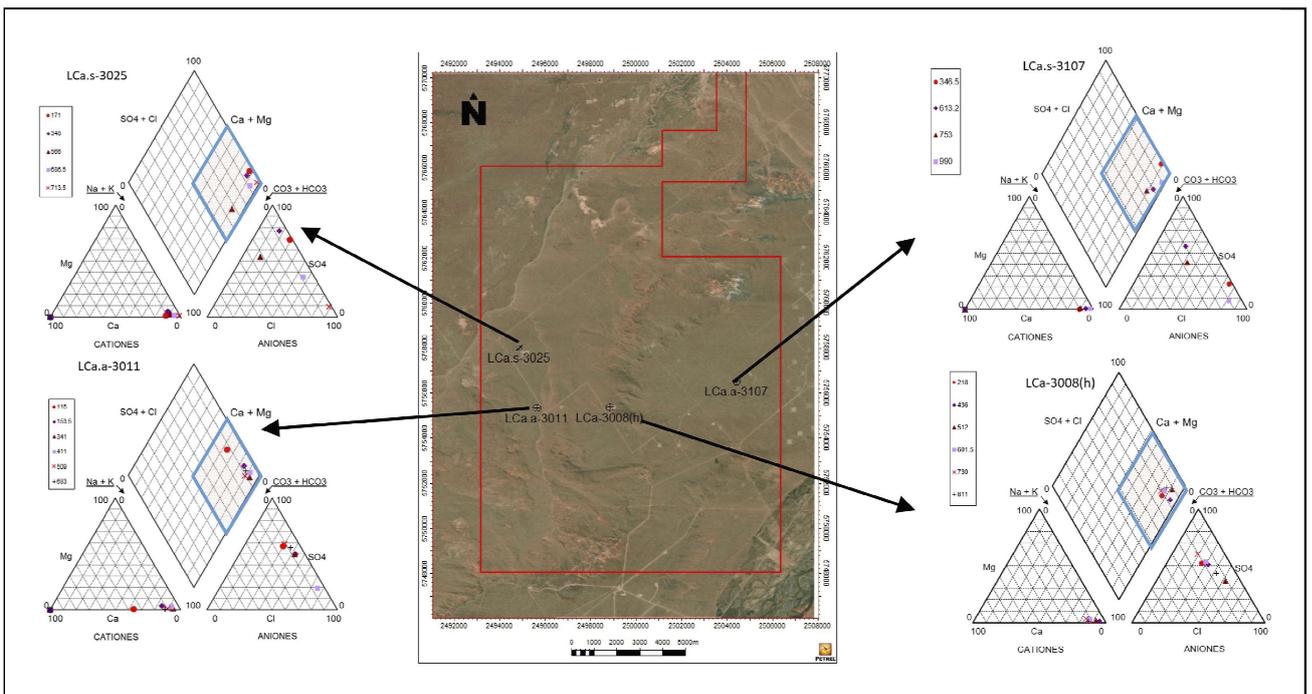


Figura 11. Clasificación en Familias de Agua - Diagrama de Piper. Pozos LCa.a-3011-LCa.s3025-LCa-3008-LCa.a-3107.

CLASIFICACIÓN SEGÚN APTITUD PARA RIEGO

Para clasificar el agua según su aptitud para riego se utilizaron las normas Riverside (*US Salinity Laboratory Staff, 1954*), dónde la calidad química de las aguas destinadas a riego toma en consideración tres aspectos principales:

- Peligro de salinización de los suelos
- Peligro de sodificación de los suelos
- Peligro de Toxicidad específica

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

Donde RAS: Relación de Adsorción de Sodio

Na: Concentración de ion Sodio (+1) en meq/l

Ca: Concentración de ion Calcio (+2) en meq/l

Mg: Concentración de ion Magnesio (+2) en meq/l

De esta clasificación se concluye que casi la totalidad de las muestras (Grupo Neuquén y Formación Rayoso) tienen conductividad eléctrica regular a alta, en tanto que respecto a la Relación de Adsorción del Sodio (RAS) en general es muy alta. En su mayoría sus aguas NO son aptas para riego, solo en casos puntuales en muestras del Grupo Neuquén, algunas muestras se clasifican como aptas con precauciones (Figura 12)

Finalmente, analizando las muestras según el Código Alimentario Argentino (CAA), ninguna muestra de agua puede clasificarse como Potable. Si bien algunas presentan una salinidad total menor a los 1500 ppm (límite superior definido por el CAA), todas se encuentran excedidas en otros iones (como por ejemplo cloruros, sulfatos, bicarbonatos, Hierro total, entre otros).

ANÁLISIS DEL AMBIENTE HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

Para realizar una caracterización hidrogeológica regional que incluya el área La Calera, se realizó un corte topográfico - estructural esquemático, en sentido oeste - este, utilizando información de pozos, sísmica y afloramientos, con una extensión aproximada de 70 km (Figura 13).

Al oeste se encuentra una zona topográficamente más alta influenciada por el Dorso de los Chihuidos. Está definida por un terreno escarpado (zona conocida como Las Cárceres) donde aflora la Formación Candeleros, surcada por profundos valles que en su lecho alcanzan a la Formación Rayoso. Esta zona ya ha sido definida por *Alonso (2016)*. En este sector se encuentra la recarga de los acuíferos de la Formación Rayoso, los que tienen un claro sentido de circulación y transporte hacia el este. La recarga en el Grupo Neuquén es puntual y se concentra una vez que terminan los afloramientos de la Formación Candeleros, sector centro - este del bloque Aguada Pichana. (Figura 13). Para confirmar esta propuesta de flujo subterráneo del agua puede resultar de ayuda realizar algunas determinaciones de isotópicas, las que da una idea del tiempo de permanencia del agua en el subsuelo. Estos estudios ya son parte del protocolo de estudios requeridos por la SsRH. Uno de los primeros estudios isotópicos fue realizado en el bloque Lindero Atravesado, perteneciente a la compañía PAE.

Los acuíferos presentes en el subsuelo del bloque La Calera representa una zona de transporte. Para todo el perfil hidrogeológico sus aguas se clasifican como cloruradas y/o sulfatadas sódicas. En esta zona el nivel estático se encuentra prácticamente sub-horizontal.

En el sector este del corte, representado por el bloque Loma Campana se observan dos condiciones:

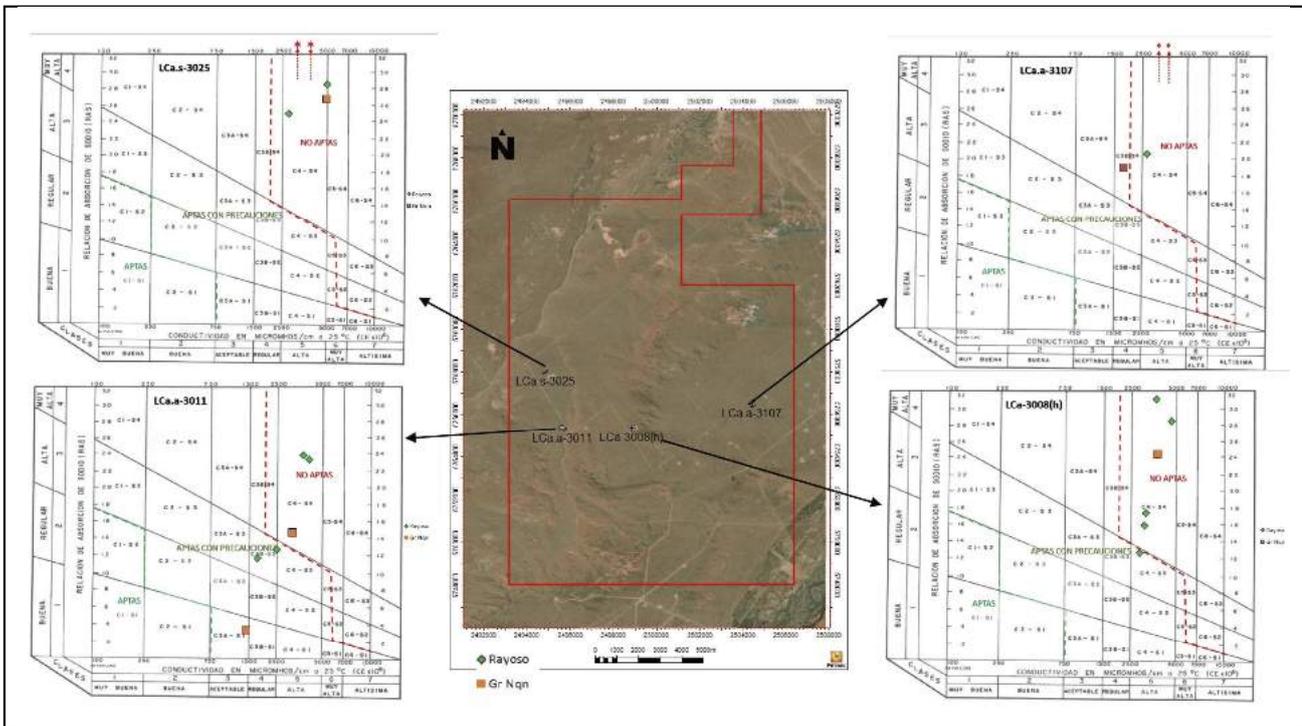


Figura 12. Grafico según las normas Riverside para evaluar la calidad de las aguas para riego (U.S. Solid Salinity Laboratory).

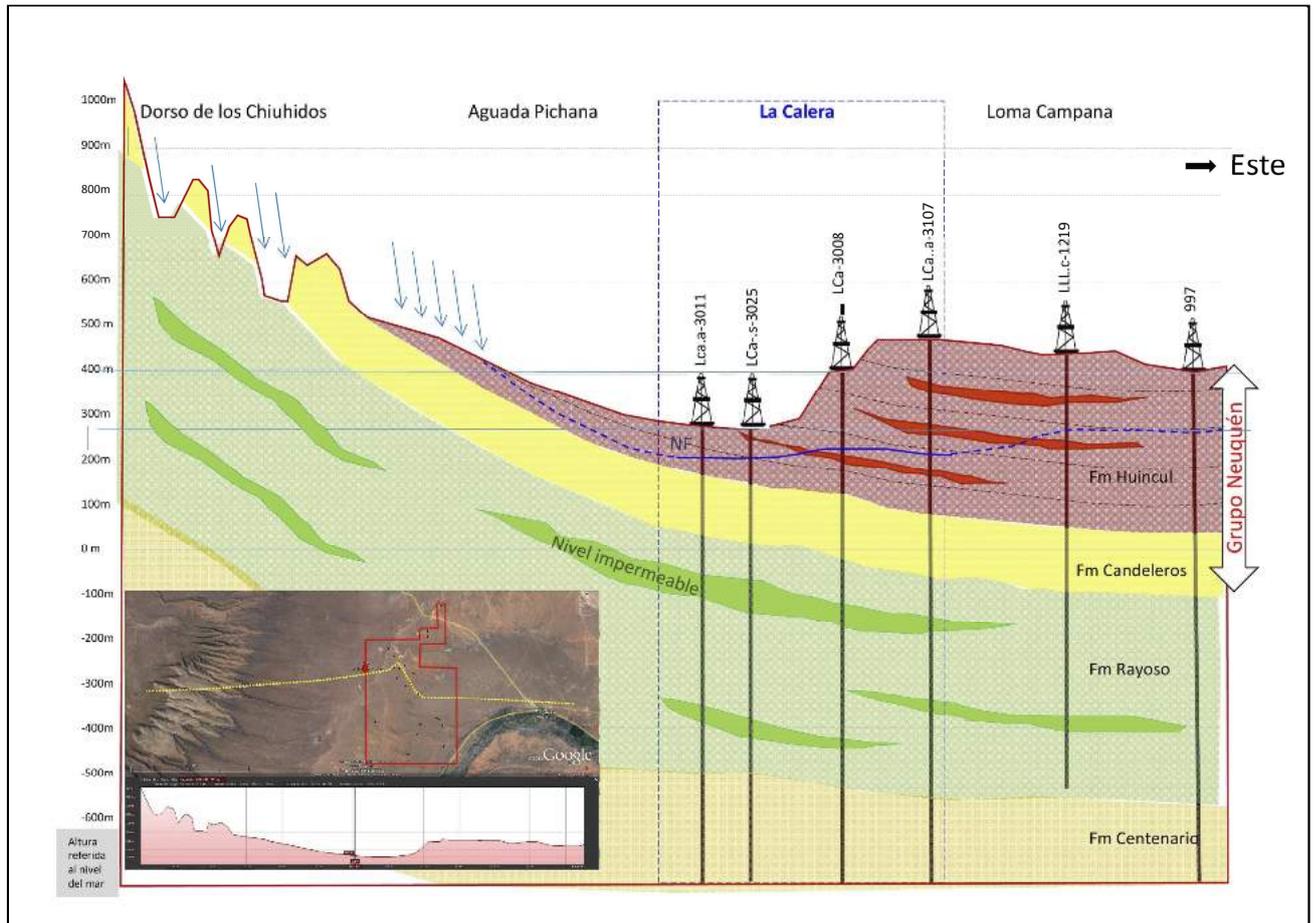


Figura 13. Corte Topográfico - Estructural esquemático - oeste - este, incluyendo el Bloque La Calera. El nivel estático fue definido en base a los registros de presiones de pozo.

- un ascenso en el nivel estático y,
- un cambio en la hidroquímica del agua,

Se evidencia hacia el este de la zona de estudio la presencia de aguas bicarbonatadas sódicas, que podría indicar condiciones de recarga cercana, las cuales estarían asociadas a los aportes del río Neuquén y el embalse Los Barreales.

PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS

Las condiciones para la protección de acuíferos solicitadas por la SsRH de Neuquén tienen por objetivo asegurar los espesores mínimos de aislación de acuíferos, y las profundidades a partir de las cuales se podría perforar con lodo base petróleo (ÓBM). Los requerimientos son:

- La cañería guía debe cubrir al menos 100m de areniscas saturadas de agua y asentarse sobre un sello de extensión comprobada.
- Todos los acuíferos aptos para consumo humano y/o riego deben ser protegidos.
- Los niveles acuíferos contemplados en los 100m de arenas saturadas deben superar los 5m de espesor, o en su defecto, mostrar condiciones petrofísicas e hidráulicas que permitan su consideración.

Para comprender la situación del bloque La Calera, primero se determinó la profundidad del nivel estático del agua en los

4 pozos en los que se extrajeron datos (LCa-3008(h), LCa.a-3011, LCa.s-3025 y LCa.a-3107) Figura 14.

A partir de las presiones de formación tomadas, y la ausencia de sobrepresión en las capas, se puede ajustar una tendencia lineal que responde al gradiente hidráulico regional. Extrapolando dicho gradiente a presión atmosférica se logra obtener la posición del nivel freático, donde la recta intersecta el eje horizontal (profundidad vertical verdadera-TVD)

A continuación, se definió y extrapoló la ubicación de este nivel estático a los pozos del campo, de manera de poder tener identificada el límite superior de la zona saturada. Una vez identificada esta zona, se realizó un corte estratigráfico para conocer los espesores totales de la misma (Figura 15).

Una vez obtenido el espesor total de la zona saturada (Figura 15), se procede a calcular a través de técnicas petrofísicas el volumen de arcilla presente (VCLAY) (Figura 16). Calculándose luego la relación de espesores Net/Gross (espesor neto de arena/espesor total). Para La Calera se calculó una relación N/G promedio=0,7 para los niveles saturados suprayacentes a la formación Candeleros.

El mapeo del espesor total de la zona no saturada, evidenció una disminución del espesor total de la zona saturada hacia el oeste, debido a la presencia del Dorso de Los Chuihuidos, hacia donde se reducen los espesores del grupo Neuquén, y aflora la Formación Candeleros. (Figura 17).

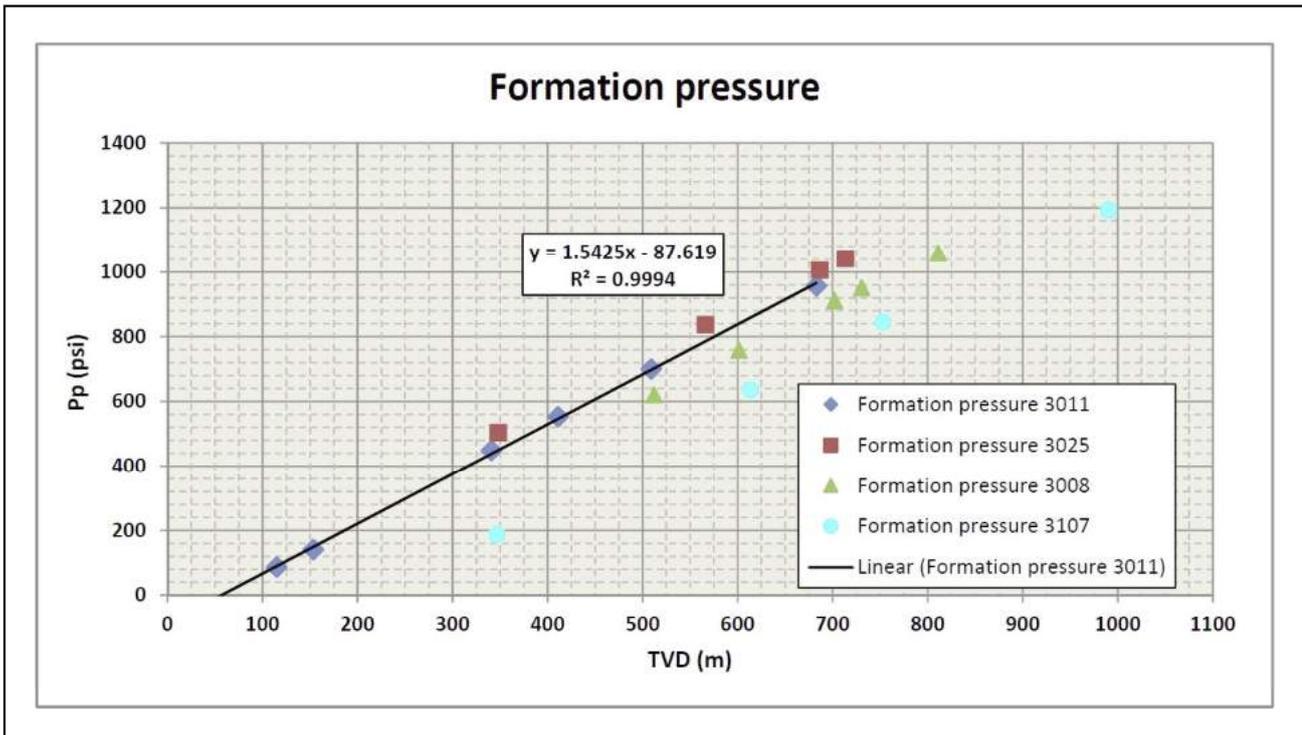


Figura 14. Gráfico P°Fm vs profundidad (TVD).

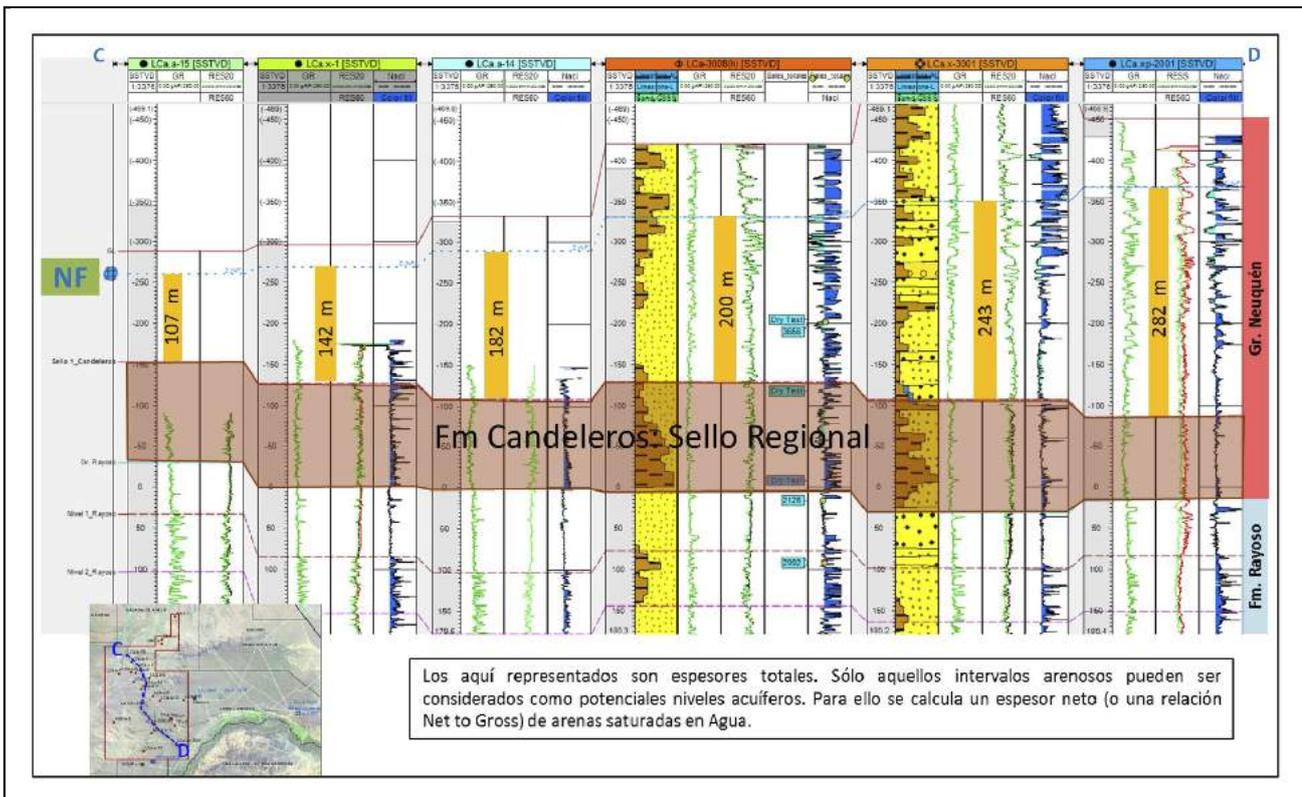


Figura 15. Correlación con definición de nivel estático y espesores de la Zona Saturada para Grupo Neuquén.

A partir de estos cálculos se realizó un mapa isopáquico del espesor suprayacente a la Formación Candeleros. Considerando la relación N/G obtenida, se definió una isópaca de 143m como indicadora de la posición que asegura la protección de 100m de arenas saturadas. Teniendo en cuenta el mapa hacia el este

de la isópaca 143m es válido asentar la cañería guía sobre la Formación Candeleros, mientras que hacia el oeste, se debe buscar otro nivel sello dentro de la Formación Rayoso. En este sentido la “zona de transición” en la base de la Formación Rayoso, podría actuar como nivel de asentamiento de la cañería guía.

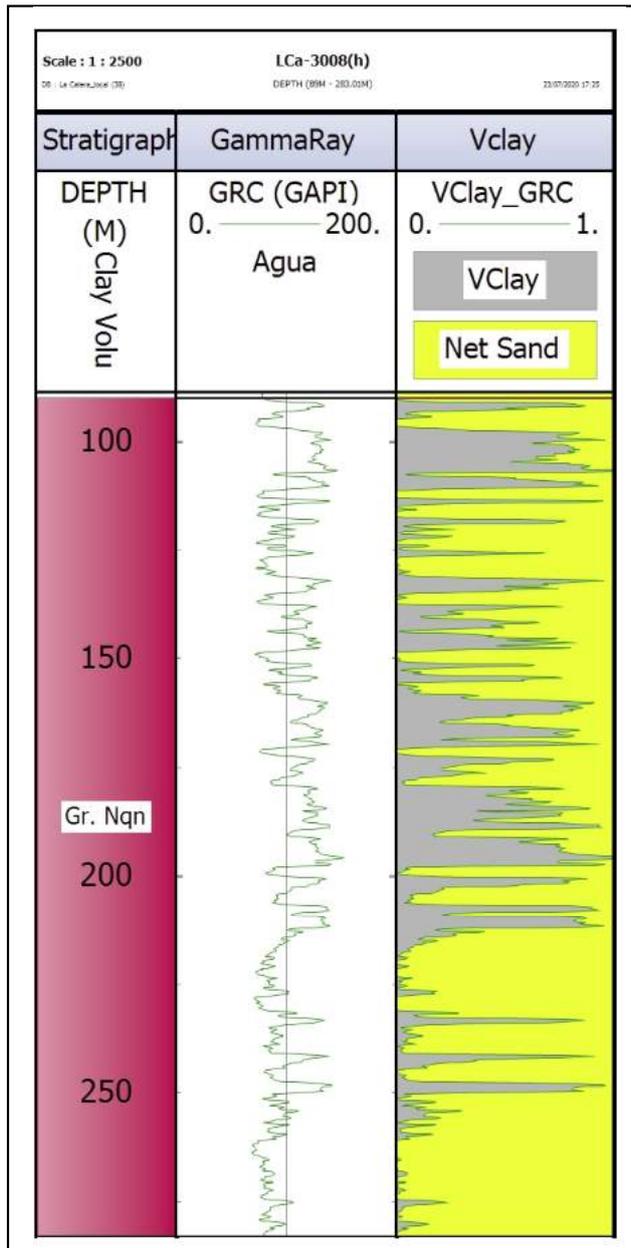


Figura 16. Cálculo de VCLAY y relación N/G para zona saturada.

A continuación, se listan los principales resultados de la Etapa 3:

- Las correlaciones de los niveles acuíferos presentan muy buena continuidad regional tanto a nivel litológico como hidroquímico.
- Siguiendo la tendencia regional, en La Calera, las muestras analizadas del Grupo Neuquén y Formación Rayoso no son aptas para consumo humano, ni para riego. Solo algunas muestras en la zona de acuíferos colgados en el Grupo Neuquén, se clasificaron como apto riego con precauciones.
- Según la clasificación de familias hidroquímicas, el Grupo. Neuquén, la Formación. Rayoso y la Formación. Centenario poseen aguas Cloruradas y/o sulfatadas sódicas con algunas variaciones.

- Se determinó el espesor de la sección saturada suprayacente a la Formación. Candeleros (Sello regional comprobado), la cual presenta una disminución en sentido este-oeste.
- Considerando la legislación vigente y según las técnicas presentes en las reuniones organizadas por la SsRH de la provincia de Neuquén se determinó una relación N/G promedio para toda el área de 0,7m. Esta relación se aplicó al mapa isopáquico de la sección suprayacente en la Formación Candeleros para asegurar la protección de 100m de arenas saturadas.

CONSIDERACIONES FINALES

La secuencia de trabajo detallada presenta una hoja de ruta para el estudio, conocimiento y caracterización de la hidrogeología somera de los acuíferos presentes en la provincia de Neuquén. De igual forma, permitiendo generar un volumen de información, directa e indirecta que sirve de base tanto para el presente trabajo, como para futuros proyectos e investigaciones hidrogeológicas.

La posibilidad de poder contar con un repositorio digital de datos provisto por diferentes operadoras en otros sectores de la cuenca, representa sin duda un importante avance en el conocimiento y difusión de la hidrogeología neuquina. Sentando bases para trabajar de manera sostenible en el tiempo.

PRINCIPALES CONCLUSIONES DEFINIDAS DEL ESTUDIO INTEGRAL DEL ÁREA LA CALERA

Etapa 1

Se caracterizó climáticamente al bloque, analizando las precipitaciones, temperaturas y vientos.

Se compilaron las principales características geológicas, geomorfológicas y de hidrología superficial del bloque, que permitió plantear una Situación Hidrogeológica Inicial.

Con el análisis petrofísico de los pozos se pudo establecer de manera indirecta los diferentes niveles acuíferos, logrando una estimación inicial de la salinidad, identificando los potenciales intervalos acuíferos cuya salinidad es menor a 3000 ppm de STD.

Los acuíferos de salinidad menor a 3000 ppm de STD (>1.8 ohmm) se encuentran contenidos en el Grupo Neuquén y la Formación Rayoso.

Debido a las limitaciones de la interpretación petrofísica, los resultados obtenidos en esta instancia de la investigación, deben ser considerados como preliminares y no definitivos.

Etapa 2

Mediante la correlación con pozos de áreas vecinas se verificó la presencia y continuidad de los principales intervalos definidos previamente y de uso en el ámbito de las reuniones bimensuales.

Se identificaron nuevos niveles internos de correlación en la Formación Rayoso (niveles 1, 2 3 y 4 de la Formación Rayoso).

Se correlacionó e integró al bloque La Calera en el esquema hidrogeológico regional, y se confirmó la presencia del sello regional de la base grupo Neuquén (Fm Candeleros).

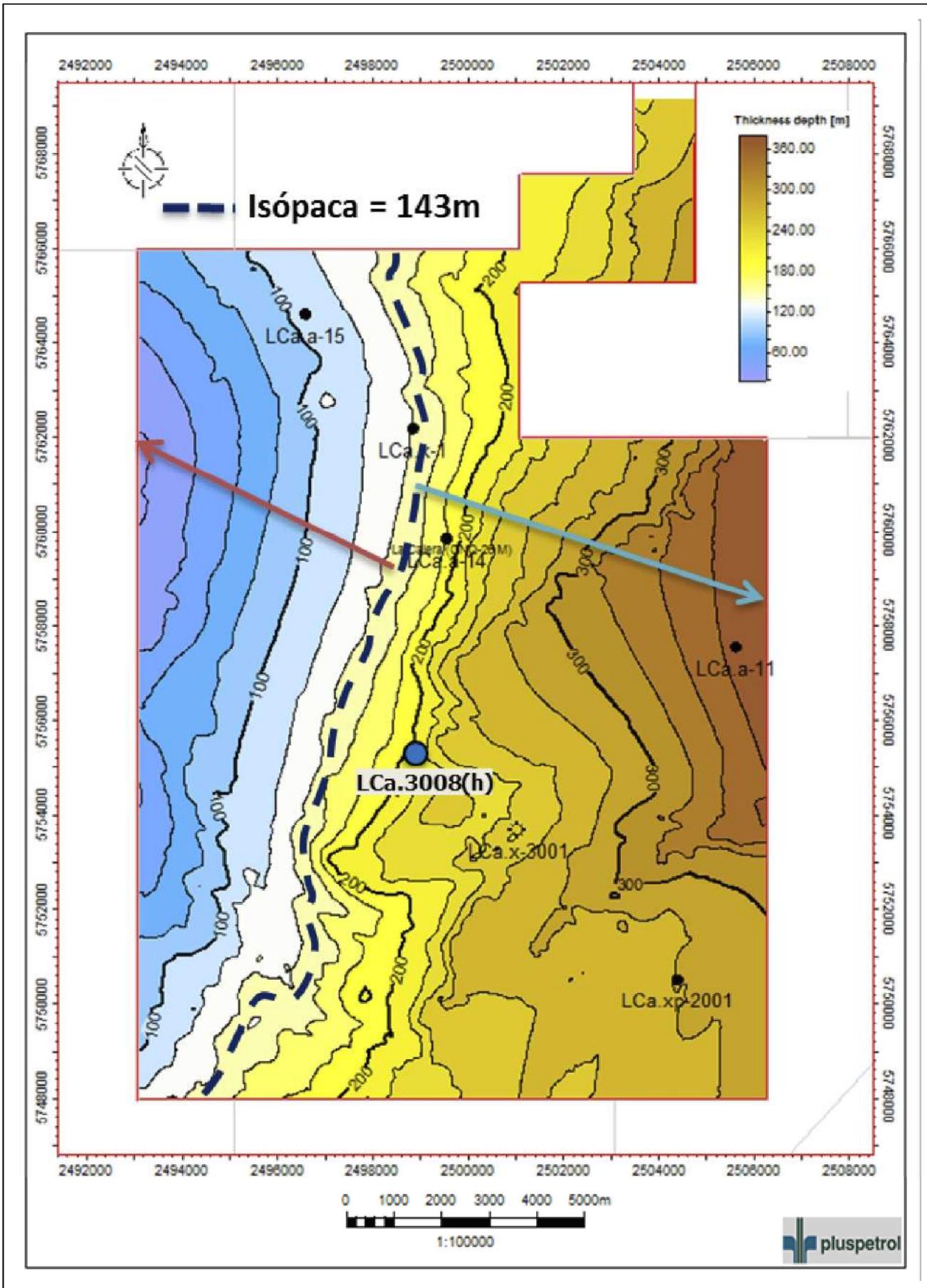


Figura 17. Mapa Isopáquico de la zona saturada para el Grupo Neuquén.

La correlación regional, sumada a los resultados petrofísicos obtenidos permitió asignar, tentativamente salinidades y familias de agua a los diferentes reservorios.

Se identificó una transición de salinidades en la base de la Formación Rayoso (acuitardo), que marca un incremento de salinidades, de <3500 ppm a >30000 ppm, en un intervalo de unos 35m de espesor.

Etapa 3

El muestreo, análisis químicos y mediciones de presión de reservorios permitió ajustar la caracterización hidrogeológica.

Desde el punto de vista hidroquímico se determinó la de un perfil de salinidad variable, hasta la base de la Formación Rayoso, confirmando la presencia de una zona “de transición”

Los análisis químicos definieron aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas para Grupo Neuquén y Rayoso. También fueron

clasificadas como no aptas para riego, con conductividades regulares a altas y RAS muy alta.

Para la protección de acuíferos se estimó la posición del Nivel Estático del agua y se definió la Zona No Saturada y la Zona Saturada y el Sello Regional del Grupo Neuquén.

Se calculó el espesor permeable de la Zona Saturada. Se construyó un mapa isopáquico de los espesores permeables de la zona saturada en agua, permitiendo dividir el bloque en 2 sectores a partir de la isopaca 143 m. El sector Este donde las secciones guías deben cubrir la totalidad del Grupo Neuquén, asentándose en Formación Candeleros; y hacia el Oeste, donde se debe cubrir la totalidad de la Formación Rayoso, asentando la cañería guía en “zona de transición”, situada en la base de esta Formación.

Se logró cumplir con los requerimientos solicitados por la autoridad a fin de proteger y optimizar la perforación, generando una reducción de tiempos y costos operativos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ALONSO, M. (2016).

Caracterización geológica de la Formación Rayoso y del Subgrupo Río Limay (Grupo Neuquén) y su relación con las aptitudes hidrogeológicas en el sector centro-norte de la provincia del Neuquén.
Trabajo Final de Licenciatura. Universidad Nacional del Comahue.

COLOMBINO J. & LUENGO M. (2011).

Regiones Hidrogeológicas. En: Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J. y Vallés, J. (Eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén,
Relatorio del 18º Congreso Geológico Argentino: 833-848, Neuquén.

GARRIDO, A.C. (2010).

Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico.
Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s. 12(2):121-177. Buenos Aires, ISSN1514-5158.

GARRIDO, A.C. (2011).

El Grupo Neuquén (Cretácico tardío) en la Cuenca Neuquina.
Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, pag. 231-244. Neuquén.

HIDROAR. (2017).

Estudio Hidrogeológico Especializado en el Área La Calera, caracterización de acuíferos grupos Neuquén y Rayoso.
Informe Inédito.

KÖPPEN W. (1948).

Climatología - con un estudio de los climas de la Tierra.
Fondo de Cultura Económica, (Sección de obra de Geografía)

PATTEN, JR., E.P. & BENNETT, G.D. (1963).

Application of Electrical and Radioactive Well Logging to Groundwater Hydrology.
U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1544-D, 60pp [Resistivity, SP, fluid conductivity, gamma].

RODRIGUEZ L., REYNALDI J.M., ANGEL ALVAREZ J.B., MARÍA, S., LAUREANO B., CURETTI N., FAUNDES J. (2020).

Standardized Workflow For Aquifer Characterization In Neuquén Unconventional Oil & Gas Blocks.
Latin America URTEC online. Buenos Aires. https://doi.org/10.15530/urtec-2020-1391

ULIANA, M.A. & D.A. DELLAPÉ. (1981).

Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión maestrichtiano- eoterciaria del engolfamiento Neuquino. (Patagonia Septentrional).
VIIº Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 673-711.

ZAVALA C. & PONCE J. (2011).

La Formación Rayoso (Cretácico temprano) en la Cuenca Neuquina.
En Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danielli, J. y Vallés, J. (Eds.) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, Relatorio del 18º Congreso Geológico Argentino: 205-222, Neuquén.



Estado actual del conocimiento de los acuíferos en el partido de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Estudio Preliminar

Actual status of knowledge about aquifers in Bahía Blanca district, province of Buenos Aires. Preliminary Study

Carrica, Lucía ¹ ✉ - Carrica, Jorge ² - Albouy E. René ²

Recibido: 13 de julio de 2020 • Aceptado: 29 de octubre de 2020

Resumen

Se presenta un estado actualizado de la explotación de los acuíferos ubicados en el subsuelo del Partido de Bahía Blanca. Estos son: el acuífero freático regional, el acuífero confinado ubicado entre los 200 y 250 metros de profundidad (Sección Hidroestratigráfica Epiparaniana inferior) y el Sistema Hidrotermal Profundo (SHP) que es un acuífero confinado termal que se aloja en sedimentos del Mioceno hasta el Cretácico Superior entre los 650 y 800 metros de profundidad. En base al análisis de la información recabada, se brindan pautas para una explotación racional del recurso hídrico subterráneo de la región, aunque sin dejar de lado el agua superficial, conforme los distintos usos, su disponibilidad, sus características químicas y costos de explotación asociados. El estudio tiende a fomentar la explotación y el uso sostenible del agua subterránea para distintos fines: industriales, recreativos y eventualmente para consumo humano y riego con el objeto de contribuir al ahorro del agua potable de red de origen superficial (Río Sauce Grande). Se concluye que dicha propuesta es técnica y económicamente factible y contribuye a optimizar el aprovechamiento racional de los recursos hídricos del área.

Palabras claves: partido de Bahía blanca, explotación racional, hidrogeología.

Abstract

An updated status about groundwater use in the District of Bahía Blanca related to recognized and studied aquifers is presented. These are: the phreatic aquifer, the confined aquifer, located between 200 and 250 meters deep (Lower Epiparanian Hydrological Section) and the Deep Hydrothermal System, which is a thermal confined aquifer contained in sediments from the Miocene to the Upper Cretaceous, between 650 and 800 meters deep. Based on the analysis of the information gathered, guidelines are provided for a rational exploitation of the regional groundwater resources, however not disregarding surface water, concerning different uses, its

1. Centro de Geología Aplicada, Agua y Medio Ambiente (Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires.- UNS). CGAMA.

✉ luciacarrica@hotmail.com

2. CGAMA - UNS

availability, its chemical features and cost of exploitation associated. The study aims to promote the exploitation and sustainable use of the underground water for different purposes: industrial, recreational and eventually for human consumption and irrigation in order to contribute to saving drinking water from the supply system (Sauce Grande river). It is concluded that the proposal is technically and economically feasible and helps optimise the rational use of the water resources of the area.

Keyword: Bahía Blanca district, rational exploitation, hydrogeology.

INTRODUCCIÓN

El Partido de Bahía Blanca se ubica al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, abarca una superficie de 2.300 km² (Figura 1), y posee una población de unos 350.000 habitantes, siendo cabecera del partido la ciudad homónima. El clima de la región es de transición entre el templado subhúmedo y el semiárido, con un módulo pluviométrico anual de 650 mm, y la principal fuente de abastecimiento de agua a la ciudad proviene del Dique y Acueducto Paso de la Piedras, inaugurado en 1972. El Dique se ubica a aproximadamente 50 km al noreste de la ciudad, en la cuenca superior del Río Sauce Grande, en el límite septentrional del partido (Figura 2). La potabilización y distribución la realiza la empresa provincial Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA). Estudios e informes científicos que datan de la primera mitad del siglo XX han contemplado la posibilidad de suplementar el servicio de agua potable a partir de la explotación del agua subterránea del denominado Sistema Hidrotermal Profundo (SHP)

de Bahía Blanca, acuífero confinado y termal, descartando, en principio, al acuífero freático y al acuífero confinado de la sección Epiparaniana inferior (Formación Chasicó) ubicados en el subsuelo de la ciudad, debido a la inaptitud química de sus aguas para consumo humano. Sin embargo, éstos acuíferos se explotan, sin demasiado control, para uso agropecuario, industrial, recreativo y riego.

Entre los años 1948 y 1971 se perforaron 26 pozos al SHP para abastecimiento de agua potable a la ciudad, con resultados dispares, fundamentalmente en cuanto a caudales de surgencia, la permanencia en el tiempo de los mismos y la eficiencia de los sistemas de enfriamiento del agua. Con la puesta en servicio del Dique y Acueducto Paso de la Piedras en 1972, los pozos profundos fueron dándose de baja, junto con otras obras como las tomas de cursos superficiales en el Río Sauce Grande y en el Arroyo Napostá Grande (Los Mirasoles).

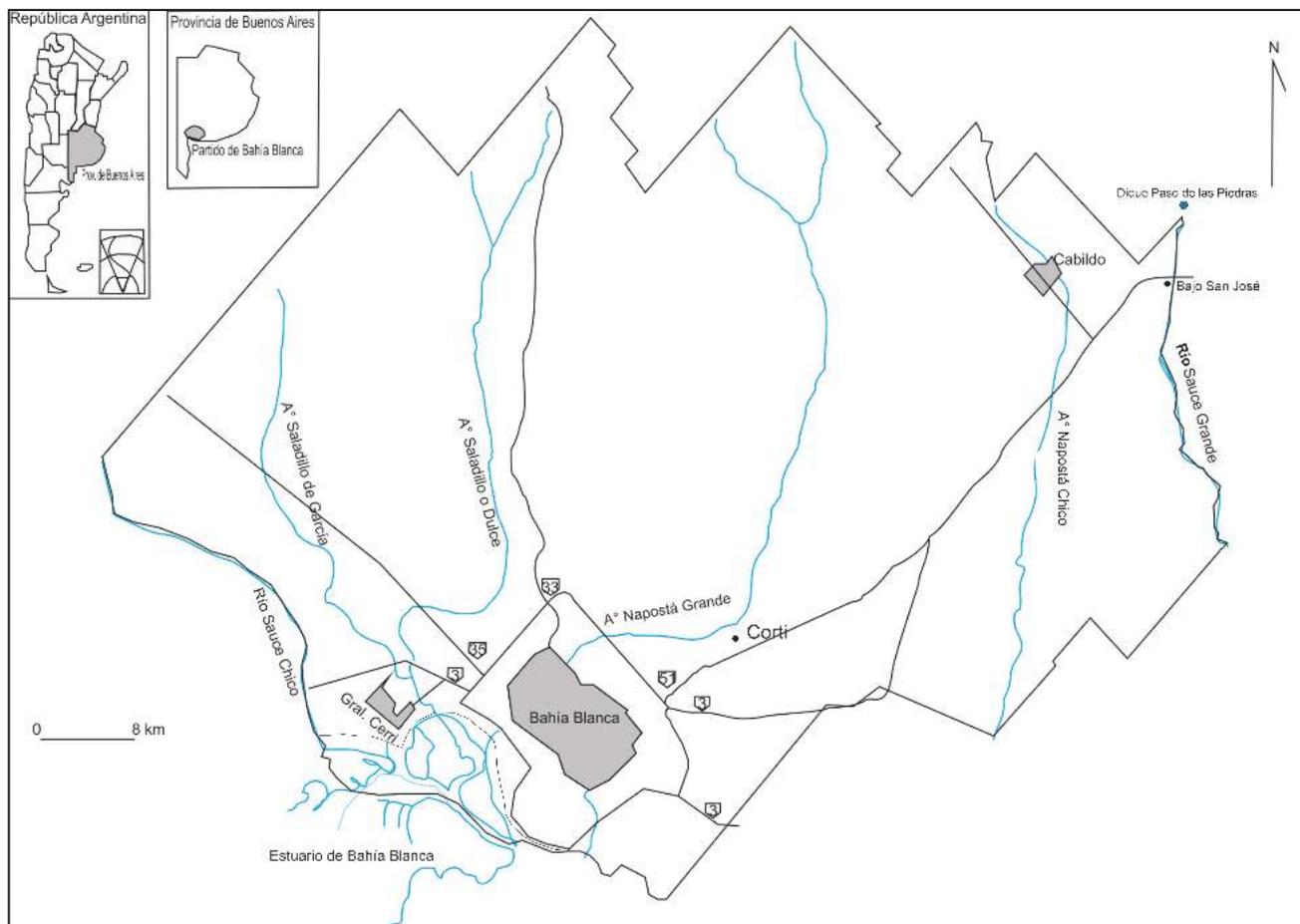


Figura 1. Partido de Bahía Blanca.

A fines de 1980, de acuerdo al crecimiento demográfico de la ciudad y a la demanda de agua, se preveía que el Dique y el Acueducto Paso de las Piedras verían superada su máxima capacidad en las décadas subsiguientes. En tal sentido, en el año 1990 la ex-AGOSBA, (Administración General de Obras Sanitarias), junto con la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) ambas de la Provincia de Buenos Aires y la Universidad Nacional del Sur (UNS), comenzaron los estudios para la búsqueda de fuentes alternativas de agua para abastecimiento de la ciudad para los próximos 50 años. Los resultados conforman un importante documento titulado “Plan Integral de Abastecimiento de Agua a Bahía Blanca, Gran Bahía Blanca y Punta Alta, Prefactibilidad Técnica y Económica”. El estudio descarta la explotación intensiva del SHP para abastecimiento a la ciudad debido a los problemas ya mencionados con los primeros pozos, a lo que se le suma la incertidumbre en cuanto al cálculo de los recursos y reservas del sistema y la baja relación entre los caudales erogados y los costos de las obras de captación.

Sin embargo, de todas las alternativas analizadas en el estudio técnico-económico mencionado, surgió como obra prioritaria la explotación del agua subterránea del acuífero freático en la zona del piedemonte de las Sierras Australes, en la cuenca del A° Napostá Grande mediante pozos someros (100 a 120 metros de profundidad) para extraer de cada uno alrededor de 75 m³/h hasta obtener un máximo de 1 m³/s para suplementar el servicio de agua potable; proyecto elaborado por el Grupo de Hidrogeología de la UNS. El proyecto se postergó, hasta que en el año 2000, la nueva empresa encargada del servicio (Azurix), retoma los estudios anteriores pero en la cuenca del A° Napostá Chico en las cercanías de la localidad de Cabildo (Partido de Bahía Blanca). El proyecto, elaborado por el mismo grupo de trabajo, alcanzó la etapa de factibilidad.

Finalmente a principios de 2010, después de una severa sequía en la región, ABSA, la concesionaria del servicio, ejecutó 16 pozos de 120 metros de profundidad (acuífero freático) en las cercanías de Cabildo, para obtener unos 0,4 m³/s como suplemento al servicio de agua potable a la ciudad. Otros 16 pozos de emergencia, algo menos profundos, se perforaron en el valle de la cuenca media del Río Sauce Grande (Bajo San José). Los pozos se dejaron de utilizar poco tiempo después al superarse la situación de sequía, cuando el Dique, recuperó sus reservas de agua. Con estas obras quedó demostrado que el acuífero freático en la zona del piedemonte serrano, en este caso en los alrededores de Cabildo, constituye un recurso muy valioso para suplementar el servicio de agua potable en períodos de grandes sequías.

A excepción de los mencionados pozos al SHP y los de Cabildo, el resto de los pozos perforados en el partido, para explotación del recurso hídrico subterráneo, han sido por iniciativas privadas. Muchos de ellos no han sido declarados ante el organismo de control y aplicación de la ley vigente que es la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA). A dicho organismo además le compete la gestión y planificación hidráulica conforme la Ley 12.257 (Código de Aguas).

Los proyectos de ampliación de algunas de las empresas radicadas en el partido y la suspensión de la obra del acueducto desde el Río Colorado, sumado a el incremento de las tarifas del servicio de agua medido, han reactivado o elaborado nuevos proyectos de explotación del recurso y reservas hídricas subterráneas para uso industrial.

En un entorno en el que el uso sostenible del agua resulta obligado, la inclusión de los recursos subterráneos en el abanico

de posibles fuentes de recursos es fundamental, especialmente en previsión de los más que probables períodos de escasez, donde los recursos superficiales pueden verse mermados. (Cermerón Romero, en Custodio E, 2019).

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es actualizar el estado de explotación de los acuíferos de la región y brindar pautas para una explotación racional y conjunta con el agua superficial para los distintos usos, teniendo en cuenta su disponibilidad, sus características químicas y los costos de explotación asociados.

El trabajo se enmarca en el concepto de una gestión y planificación hidrológica de los recursos hídricos de la región e intenta crear conciencia y fomentar la explotación racional del agua subterránea, fundamentalmente para usos industriales y recreativos, con el objeto de reemplazar el uso del agua potable de red, que es considerado un bien escaso y limitado.

METODOLOGÍA

Se realizó una exhaustiva recopilación bibliográfica de toda la documentación disponible de las características hidrogeológicas de la región. Esta información se complementó con un censo de los pozos de explotación de los acuíferos confinados a los que se tuvo acceso. Se verificó el estado de conservación de las obras y el caudal de surgencia. Además se le georeferenció, se extrajo una muestra de agua y se midió in situ, pH, conductividad eléctrica, temperatura, para posteriormente en laboratorio, realizar los análisis químicos completos. Se realizó una caracterización y clasificación química con información antecedente y con la generada con los primeros resultados alcanzados provenientes de las muestras de agua extraídas en el censo de perforaciones.

RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La bibliografía antecedente, si bien es abundante, centra sus contenidos en aspectos hidrogeológicos y en las características químicas del agua para consumo humano del acuífero freático de la zona pedemontana de las Sierras Australes, *Bonorino et al., (1990,1997); Carrica, et al., (1992, 2017); Albouy, et al., (2009, 2010, 2011, 2012 y 2013).*

Sin embargo, ya en el siglo pasado, *Raffo, J. (1904)* en su tesis doctoral, expuso resultados de análisis químicos de aguas subterráneas de distintas profundidades hasta el Epiparaniano Inferior y luego *Wichmann (1918)* aborda la hidrogeología general de la zona en base al estudio de las perforaciones realizadas hasta entonces, mencionando tanto el acuífero confinado de la Sección Epiparaniana Inferior, como al acuífero hipertermal profundo descubierto en Argerich en 1912. Años más tarde, en base a las perforaciones ejecutadas en la región, *García y Galli, (1954)* y *Salso y García (1958)* realizan informes generales de la denominada “cuenca hidrogeológica de Bahía Blanca”, actualmente SHP. En 1964, *García J. y O. de García* publican el trabajo más completo hasta entonces sobre los recursos hídricos subterráneos de toda la región (Figura 2). Posteriormente otros autores publicaron informes sobre aspectos específicos del SHP como isotopía, geotermia, entre otros.

El informe de *DYMAS (1974)*, refiere a los recursos hídricos subterráneos de la región y *Hernández et al., (1979)* describen las características geohidrológicas regionales de los acuíferos profundos en el territorio bonaerense. En 1980, *Álvarez* expone resultados de un estudio hidrogeológico del nivel acuífero

alojado en la Fm. Chasicó (Epiapaniana Inferior). Más tarde, *Bonorino* y *Carrica* (1985) estudian la hidroquímica de las aguas del SHP y proponen modelos de circulación desde la zona de recarga (piedemonte de las Sierras Australes) hasta Bahía Blanca por vías preferenciales de circulación (paleocauces). El trabajo más completo sobre el SHP lo realiza *Bonorino* (1988) en su tesis doctoral donde define la hidrogeología del mismo, y especialmente su hidrodinámica, hidroquímica e isotopía.

Los completos estudios del acuífero freático son los de las cuencas de los arroyos Napostá Grande de *Carrica et al.*, (1998) y *Leitao et al.*, (2007); los del Napostá Chico (*FUNS*, 2010) y los de la cuenca inferior del río Sauce Chico (*C.F.I.*, 2011). También se consideran los estudios del acuífero costero que bordea al estuario de Bahía Blanca, de *Sala et al.*, (1985), *Carrica et al.*, (2003), *Carrica y Lexow* (2005), *Albouy et al.*, (2005a y b y 2007) y *Lafont et al.*, (2006 y 2007) que involucran a casi toda el área de estudio del presente trabajo. Sin embargo, el acuífero freático en el propio subsuelo de la ciudad de Bahía Blanca y el acuífero confinado alojado en la Fm Chasicó no han sido estudiados sistemáticamente, existiendo un cúmulo de información dispersa de distinta índole y calidad.

HIDROGEOLOGÍA

Las características del medio físico y el clima de la región condicionan la circulación y velocidad del agua en el ciclo hidrológico. Las características hidrogeológicas de los distintos ambientes regulan los regímenes hidráulicos y las singularidades hidroquímicas de los acuíferos a nivel regional y permite la comprensión de su comportamiento.

Para hacer una breve reseña de las principales características hidrogeológicas de las unidades hidrogeológicas identificadas en el subsuelo del partido, se adopta el esquema basado en secciones hidroestratigráficas propuesto por *DYMAS* (1974), modificado por *Bonorino* (1988 y 2005) a lo que se le suma información propia actualizada (Tabla 1).

La Sección basamento hidrogeológico está compuesta por el basamento cristalino, solamente identificado por geofísica en el subsuelo de la región, y la cubierta sedimentaria paleozoica

que conforma el núcleo de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. No existen afloramientos del basamento hidrogeológico en el área de estudio, y solo se restringen a la cuencas superiores y medias del río Sauce Grande y el A° Napostá Grande están representados por las cuarcitas y areniscas cuarzosas de grano fino compactas y esquistos pertenecientes al grupo Curamalal y Ventana. La información disponible permite determinar que las rocas paleozoicas se extenderían en el subsuelo de toda la región. En los alrededores de Bahía Blanca se detecta a profundidades muy dispares: 722 metros bajo boca de pozo (m b.b.p) en el pozo AC-24 y a más de 1700 m pozo AC-11 (Figura 3), unos 6 km al norte de la ciudad (*Bonorino*, 1988). En el Bajo San José en el límite NE del Partido, a la vera del río Sauce Grande en su cuenca media, una perforación detectó rocas ígneas del basamento cristalino compuesto por granito milonítico a 424 m b.b.p. Si bien las rocas del basamento hidrogeológico son primariamente acuífugas, poseen cierta fracturación lo que le confiere al conjunto algún grado de permeabilidad secundaria muy baja.

La Sección Hipoparaniana incluye las formaciones que van desde el Cretácico superior al Oligoceno. Está solamente presente en el subsuelo del área de estudio al sur del paralelo 38° 30' y a partir de los 450 metros de profundidad. La integran la Formación Fortín (Poscenoniana) de origen marino con sedimentitas acuífugas, la Formación Colorado (Cretácica) con psefitas y psamitas compactas de origen continental y carácter acuífero en su sección superior, la Formación Pedro Luro correspondiente a una ingresión del Cretácico superior con sedimentos arcillosos-margosos acuícludos-acuitardos, limitada a la actual zona costera y la Formación Ombucta (Eoceno-Oligoceno) con psamitas y psefitas continentales con características acuíferas-acuitardas. De esta sección interesa mencionar la porción superior de la Formación Colorado y la Formación Ombucta por ser portadoras de los niveles acuíferos que conforman el Sistema Hidrotermal Profundo (SHP) de Bahía Blanca.

La Sección Paraniense está representada por la Formación Barranca Final (Mioceno) correspondiente a la ingresión Paraniense y compuesta por pelitas verdosas con intercalaciones arenosas de origen marino dispuestas discordantemente sobre la sección

Tabla 1. Cuadro hidroestratigráfico para la región de Bahía Blanca. (Modificado de Bonorino 2005).

EDAD	FORMACIÓN	SECCIÓN HIDROESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	CARÁCTER HIDRÁULICO	NIVEL PIEZOMÉTRICO
Cuaternario	Maldonado	Epiapaniana	Limos Arcillosos	Acuícludo - Acuífero	Freático
Plioceno	Cerro Azul		Limos arenosos- arcillas	Acuífero	
Mioceno superior			Arenas basales a loess	Acuífero	Surgente
Mioceno superior	Barranca Final	Paraniense	Limos arenosos- arcillas	Acuícludo - Acuitardo	
Oligoceno	Ombucta	Hipoparaniana	Arcilla arenosa	Acuícludo	Surgente
Eoceno			Arena media a gruesas Arenas sabulíticas, arenas con grava	Acuífero	
Paleoceno	Pedro Luro		Arcilitas y limolitas	Acuícludo	Surgente
Masstrichtiano	Colorado	Areniscas cuarcíticas finas a gruesas	Acuífero		
Senoniano		Areniscas conglomerádicas			
Turoniano	Fortín	Areniscas cuarzo feldespáticas	Acuífugo	Surgente	
Triásico a Precámbrico	Basamento	Basamento hidrogeológico	Areniscas- Cuarcitas - Granitos		Acuífugo

anterior. El conjunto conforma un medio acuicludo con algunas intercalaciones acuíferas portadoras de aguas de elevada salinidad. Su potencia en el área de Bahía Blanca de acuerdo con datos de perforaciones varía entre 200 y 300 metros acuñándose hacia el positivo de la Sierras Australes. En la Estación del Ferrocarril General Roca (FCGR) García del Río se la ubicó a 130 m b.b.p y en cercanías de la Estación Nueva Roma por debajo de los 200 metros, ambas al Norte y noroeste de Bahía Blanca respectivamente. En Bahía Blanca e Ing. White el techo se ubica alrededor de los 250 metros de profundidad.

El piso de la Sección Epiparaniana está compuesto, por limos arenosos y arcillosos de la Formación Chasicó, ahora incluida en la Fm. Cerro Azul (Mioceno Superior -Plioceno) (Folgueras *et al.*, 2017). La parte inferior de esta formación, está compuesta por arenas fluviales medias a finas amarillentas, de unos 10 a 20 metros de espesor, pero de extensión regional, que aloja un nivel acuífero con características surgentes o semisurgentes y aguas salobres, cuya recarga se produciría en el ámbito de la llanura pedemontana de las Sierras Australes.

Hacia arriba, la Fm. Cerro Azul se encuentra ampliamente distribuida en toda la región en posición aflorante o subaflorante, a excepción de la zona costera, y es portadora del acuífero libre de la región. Litológicamente está conformada por sedimentos loésicos (sedimentos pampeanos) compuestos principalmente por arenas finas y arenas limo arcillosas cementadas por carbonato de calcio, estando cubiertas por zonas de entoscamiento (Calcrete I y II) que la tipifican. Dada la complejidad de los procesos sedimentarios que le dieron origen, son frecuentes las anisotropías hidrolíticas locales dando lugar a una alternancia de niveles acuíferos-acuitardos (sistema multicapa) que desde el punto de vista hidrogeológico regional, se comportan como un solo sistema de transmisión de agua más o menos homogéneo. De acuerdo con la información disponible los espesores de los sedimentos pampeanos en la zona alcanzarían un máximo de 180 a 200 metros, mientras que en el área pedemontana la formación se

apoyan sobre las rocas cuarcíticas paleozoicas o sobre sus productos de meteorización como consecuencia del acuñamiento de la cobertura sedimentaria hacia las Sierras Australes.

ACUÍFEROS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Sistema Hidrotermal Profundo (SHP)

El SHP abarca unos 2.800 km² de extensión regional (Bonorino, 1988), por lo que excede con amplitud al Partido de Bahía Blanca que es el área definida para este estudio. Las investigaciones realizadas en el SHP identificaron su zona de alimentación en el área pedemontana de la vertiente sudoccidental de las Sierras Australes (Figura 2), lo que conlleva a una conexión hidráulica del acuífero freático pedemontano con el flujo regional intermedio y profundo. Es decir, que la recarga por lluvia generada en el piedemonte serrano alimentaría, no solo al acuífero freático, sino también a los flujos regionales intermedio y profundo. El valor total de la recarga en el piedemonte se cifra entre un 12 y un 15 % de la precipitación del sector de alrededor de 700 mm, de los cuales un entre un 3 y 5% alimentaría al flujo profundo (Bonorino, 1988).

Las características más relevantes del SHP en la zona de Bahía Blanca son 1) la profundidad de yacencia, entre los 500 y 1300 metros; 2) el caudal de surgencia natural, variable entre 20 y 80 m³/h; 3) la presión inicial en boca de pozo, de casi 20 bars en algunos casos; 4) la calidad de sus aguas, en su mayoría aptas para todo uso y 5) el termalismo de las mismas, con temperaturas desde los 50 a los 74 °C. (Bonorino, 2005), por lo que se lo clasifica como un sistema hidrotermal de baja entalpía. Sin embargo, hasta el presente, su aprovechamiento como fuente geotermal se ha limitado a la calefacción de unos pocos establecimientos (Galerías Plaza, Seminario Arquidiocesano y la Cárcel) y uso recreativo y terapéuticos (talapsoterapia); (pozos AC 8 y Batallón 181, tabla 2). La utilización de la temperatura del agua para uso industrial o en otros establecimientos es actualmente nula o desconocida.

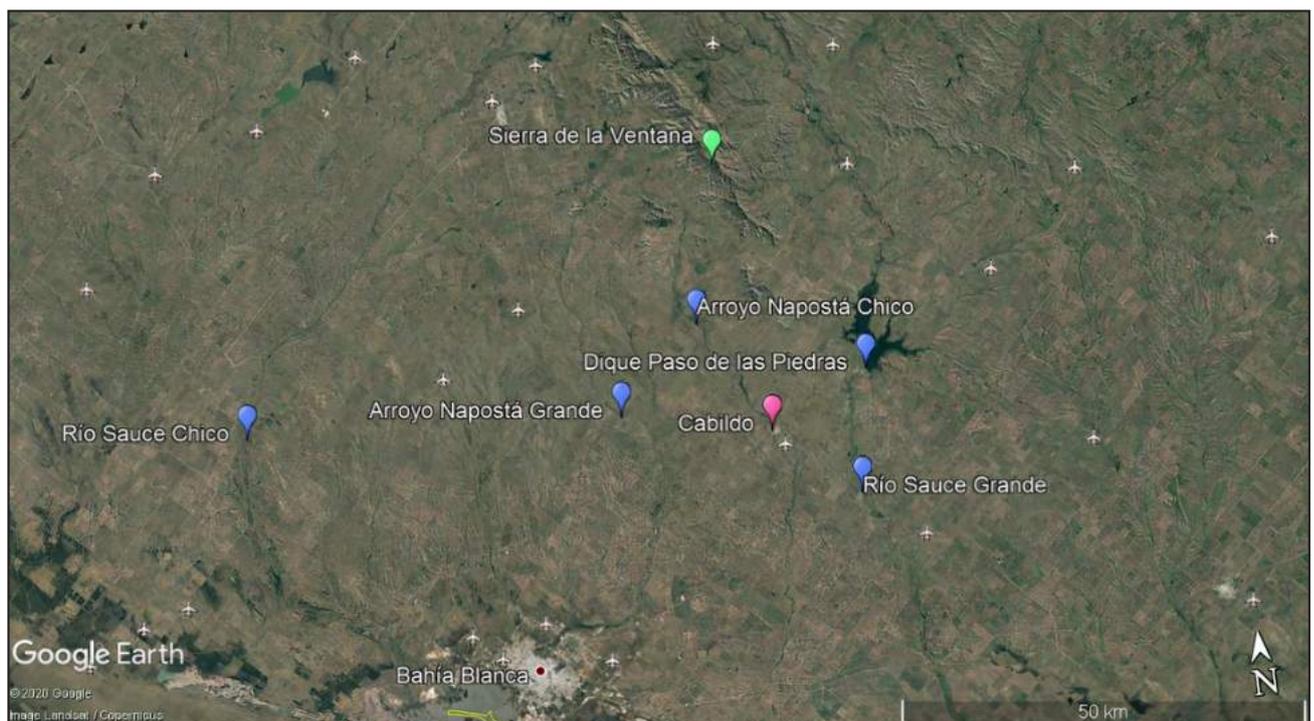


Figura 2. Vista aérea de la región de Bahía Blanca.

El SHP ha sido alumbrado por más de 50 perforaciones solo dentro de Partido de Bahía Blanca. En la tabla 2, se describieron solo aquellas que se tuvieron acceso. Sus extremos son el pozo ubicado en la Estación La Vitícola a unos 20 km al Norte de la ciudad a 554 metros de profundidad; en la localidad de General Cerri, a unos 10 km al oeste con varias perforaciones a partir de los 674 metros; hacia el sur en el Puerto de Ing. White, las perforaciones existentes localizaron su techo desde los 700 m. Al este, en 4 pozos de abastecimiento a la Base Aeronaval Comandante Espora y dos en la zona de la Planta Potabilizadora de Grumbein, AC-15 y AC-16, detectaron el techo del acuífero a partir de los 678 metros. El espesor medio del acuífero atravesado por las perforaciones es de unos 50 metros, aunque en la gran mayoría de los casos se trata de pozos incompletos a excepción del AC-11 y AC-24 antes citados, que alcanzaron el basamento hidrogeológico.

Hasta el presente no existen ensayos de bombeo sistemáticos de este acuífero para el cálculo de sus parámetros hidráulicos así como una estimación confiable de sus recursos y reservas. Bonorino (1988) realizó una estimación de la Transmisividad (T) del acuífero a partir de caudales específicos iniciales aplicados a pozos incompletos, obteniendo para la zona de Bahía Blanca valores de T muy variables entre 58 y 1830 m²/d, siendo solo un dato ilustrativo producto de la heterogeneidad del rendimiento de los pozos y hasta del propio acuífero.

No obstante del número de perforaciones realizadas, actualmente solo unos pocos pozos aún erogan agua por surgencia natural, encontrándose la mayoría de ellos cerrados, tapados y/o anulados, o con escasa o nula surgencia. El motivo de esta situación, en la mayoría de los casos, se debe a la rotura de la cañería dada la antigüedad de los pozos (promedio de 60 años). Algunos pozos han sido cerrados o tapados por la ADA (Autoridad

del Agua de la Provincia de Buenos Aires) a fines de la década de 1990.

Debido a la disminución del caudal y/o la pérdida de presión en boca de pozo observada desde su construcción, Bonorino, (1988); Bonorino y Carrica, (1992); Bonorino et al., (1997) e Informe UNS-UTN, (2009), en la actualidad, por razones científicas, técnicas y económicas, no se aconseja la explotación intensiva de este sistema como fuente complementaria de abastecimiento de agua a la ciudad de Bahía Blanca. Algunos pocos pozos existentes tienen un uso como fuente de agua mineral para consumo humano, y otros, como los ya mencionados, usos de recreación (llenado de piletas), industrial, calefacción, etc. La situación actual de los pozos del SHP situados dentro del partido de Bahía Blanca y su uso, se exponen en la Tabla 2.

Acuífero alojado en la sección hidroestratigráfica Epiparaniana Inferior (Fm Chasicó).

En el área de Bahía Blanca, este acuífero se ubica a profundidades entre 180 y 250 m b.b.p.; según la topografía, los pozos tienen una surgencia natural inicial de hasta 20 m³/h de aguas termales (entre 25 y 34°C en boca de pozo), aunque luego el caudal decae en el tiempo a valores, normalmente de menos de 3 m³/h. La transmisividad del acuífero, según datos de un único ensayo de bombeo realizado, ronda los 50 m²/d con una conductividad hidráulica media de 2,5 m/d y un espesor de acuífero de unos 10 a 18 m. (Álvarez, 1980).

El nivel piezométrico del acuífero permite su surgencia natural según la cota topográfica del pozo. A cotas inferiores de 70 u 80 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m) es surgente mientras que a mayores cotas es semisurgente. Los términos superiores al acuífero de litología más fina (limo arcillosos y arcillo limosos) de la misma Fm Cerro Azul actúan de capa confinante del mismo.

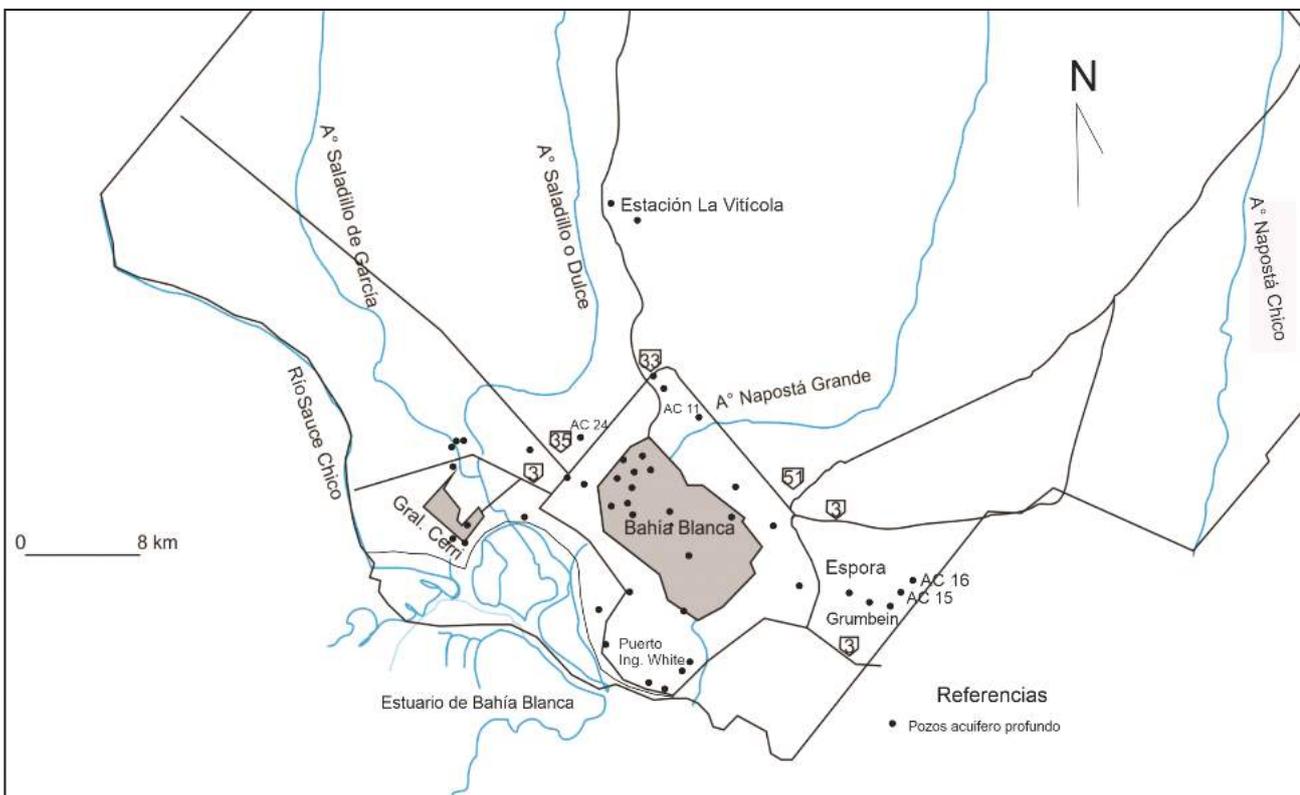


Figura 3. Ubicación de los pozos identificados del Sistema Hidrotermal Profundo (SHP).

Tabla 2. Características actuales de los pozos del SHP ubicados en el Partido de Bahía Blanca.

Nombre	Ubicación	Coordenadas	Caudal (m ³ /h)	Año	Estado
AC 1	Av. Pringles y Baigorria	38° 43' 56,8" - 62° 14' 12,1"	21,6	1949	Activo, ABSA
AC 2	Sarmiento y Guido Spano	38° 42' 08,3" - 62° 14' 58,6"	-	1950	Tapado
AC 3	Punta Alta y Rojas	38° 43' 27,3" - 62° 13' 32"	-	1953	Cerrado
AC 4	Quinta Iturbide		-	1954	no ubicado
AC 5	Zelarrayán 2800. (O.S.B.A)	38° 41' 40,6" - 62° 17' 42,09"	-	1954	Cerrado
AC 6	Zelarrayán y Pronosato	38° 41' 10,2" - 62° 18' 15,4"	-	1954	Cerrado
AC 7	Terrada y P. Bigio	38° 41' 57,3" - 62° 18' 17,7"	S	1954	Cerrado
AC 8	Av. Alem 1650	38° 41' 49,7" - 62° 16' 24,5"	S	1954	Activo, uso humano
AC 9	Rep. Siria y De Angelis	38° 41' 28,4" - 62° 16' 59,3"	S	1955	Activo, uso humano
AC 10 BB8	Guido Spano y González (Cárcel)	38° 41' 8,5" - 62° 16' 31,5"	S	1956	Activo. No se autorizó acceso
AC 11	Camino de la Carrindanga 3900	38° 40' 42,1" - 62° 14' 0,5"	22	1957	Activo, uso riego
AC 12	Pilcaniyeu y Rodriguez Urtasum	38° 43' 0,7" - 62° 11' 22,9"	S	1956	Cerrado
AC 14	9 de julio y Enrique Julio	38° 42' 26,6" - 62° 17' 56,8"	S	1957	Activo, uso humano
AC 15	Grumbein a 700 m al NE de OSBA	38° 44' 46,5" - 62° 6' 29,1"	-	1957	Tapado
AC 16	Grumbein a 1700 m al NE de OSBA	38° 44' 25,3" - 62° 5' 59,3"	-	1957	Tapado
AC 18	Av. Sesquicentenario y Vicente López		-	1958	No ubicado, destruido
AC 19	Av. Sesquicentenario y D. Quinta 129	38° 42' 33,6" - 62° 20' 30,3"	10	1971	Activo, sin uso
AC 20	Zelarrayán e Indio	38° 41' 40,6" - 62° 17' 42,09"	-	1971	Tapado
AC 21	Don Bosco 3500	38° 42' 16,08" - 62° 6' 5,4"	-	1971	Cerrado
AC 22	Bolivia y Di Sarli	38° 42' 41,9" - 62° 18' 21,5"	-	1972	Tapado
AC 23	Don Bosco y Av. Sesquicentenario	38° 41' 53,3" - 62° 19' 35,6"	S	1972	Abierto, sin uso
AC 24	Av. Secq y Güemes		-	1972	Destruído. No se ubica
AC 26	1° Junta y Leopoldo Lugones, Cerri	38° 43' 0,3" - 62° 23' 6,3"	S	1971	Activo sin uso
Spurr	Tierra de Fuego y Esmeralda	38° 45' 20,7" - 62° 15' 17,5"	S	1961	Activo, uso humano
V. Manera	Brown y Montevideo	38° 43' 48,7" - 62° 15' 19,3"	S	1950	Activo, uso humano
Galeria Plaza	Alsina y San Martín	38° 43' 0,5" - 62° 15' 48,2"	S	1959	Activo, Geotermia
Lanera	Lanera Argentina	38° 43' 31,3" - 62° 23' 22,3"	S	1959	Activo, sin uso
Gas del Estado	Gas del estado. Gral. Cerri	38° 41' 11,6" - 62° 23' 49,5"	S	1968	Uso industrial (4 pozos)
Cap Cerri	Cap Cerri	38° 43' 34" - 62° 23' 36,5"	-	1956	Sin uso
Bordeu		38° 41' 11,4" - 62° 20' 39,4"	S	1957	Sin uso
Frig. Bahiense	Pampa Central 2254	38° 43' 20" - 62° 18' 12,8"	-	1967	Cerrado
Refineria	La Isaura (Petrobras)	38° 44' 38" - 62° 17' 51,3"	60	1969	Activo, uso industrial
Lanera San Blas	Lanera San Blas	38° 44' 16,0" - 62° 17' 37,1"	S	1950	Sin uso
Cargill n° 2	Cargill n° 2	38° 46' 34,3" - 62° 15' 34,6"	S, Bombeo	1997	Activo, uso industrial
Seminario	Seminario	38° 44' 16,6" - 62° 12' 12,6"	S	1952	sin uso
Bosque Alto	Bosque Alto	38° 39' 28,1" - 62° 16' 2,5"	-	1982	Cerrado
Batallón	Batallón	38° 40' 50,3" - 62° 15' 38,6"	S	1946	Activo, uso recreativo
Hospital	Hospital Municipal	38° 42' 39,8" - 62° 16' 38,8"	5	1956	Uso industrial
BB 2	Parque de Mayo		-	1917	no ubicado
Chucariello	Ruta 33 km 22	38° 31' 45" - 62° 16' 47"	24	2008	Activo, uso recreativo
Est. La Viticola	Ruta 33, km 27	38° 31' 25" - 62° 17' 21"	-	1916	Cerrado y/o tapado
FADEA	Ruta 3, km 702	38° 41' 22" - 62° 23' 23"	S	1995?	Activo, sin uso

S: Surgencia natural no aforada AC: Aguas Corrientes

En el área de estudio, se han identificado más de un centenar de pozos que explotan este nivel acuífero. Algunos de ellos datan de fines del siglo XIX. Al principio se los utilizó para uso pecuario y ocasionalmente para el riego de especies tolerantes a sales. Actualmente casi todos los natatorios de la ciudad (Club Argentino, Olimpo, Liniers, UNO Bahía Club, Balneario Municipal y muchos otros privados) utilizan las aguas de este acuífero, por surgencia natural o bombeo. La moderna Usina Guillermo Brown, ubicada en las cercanías de General Cerri, explota por bombeo siete pozos de este acuífero para refrigerar su proceso. En la misma localidad de Cerri, el ex frigorífico CAP Cuatros tenía un pozo para uso industrial. Otras industrias de la ciudad actualmente usan o han usado este acuífero fundamentalmente para lavado de instalaciones. La experiencia

indica que el caudal sostenible de bombeo de este acuífero estaría en torno a los 10 m³/h respetando un adecuado distanciamiento entre pozos

Desde el punto de vista hidroquímico, las aguas de este nivel acuífero son salobres (total de sales disueltas entre 1,5 y 5 g/l y un promedio de 3 g/l) y del tipo Cloruradas Sódicas. Si bien, debido al alto contenido de sales del agua, éstas no son aptas para consumo humano, las bajas concentraciones de elementos menores y oligoelementos (F, As, NO³⁻, etc.) permiten su tratamiento con técnicas de desalinización como la ósmosis inversa, ampliando su gama de usos a un costo razonable. El mapa de la Figura 4 señala la ubicación aproximada de los pozos identificados que explotan este acuífero.

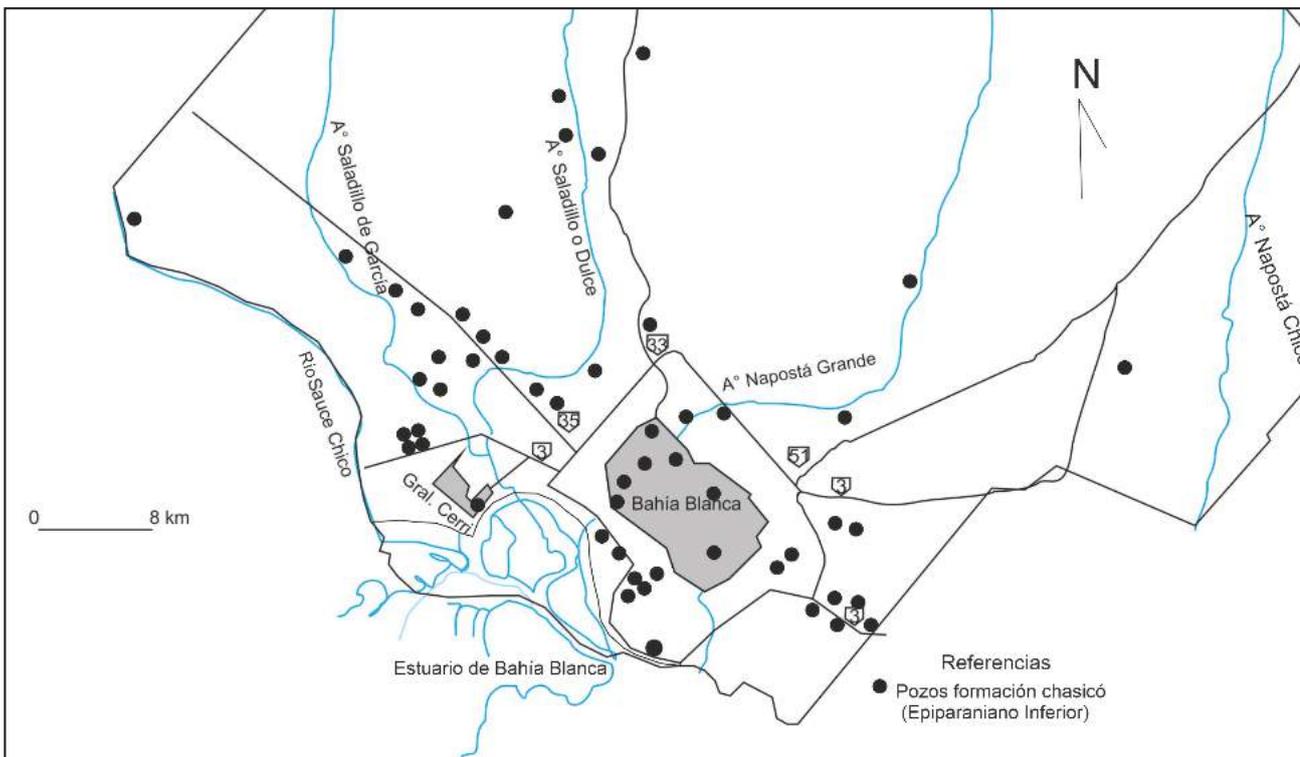


Figura 4. Algunos pozos del acuífero confinado de la Fm Chasicó / C° Azul (Epiparaniano inferior).

Acuífero freático

El acuífero freático del área de estudio se extiende, sin continuidad hidráulica, desde el piedemonte de las Sierras Australes hasta el estuario de Bahía Blanca, atravesando toda el área de estudio. En su mayor parte (más del 95 %) se aloja en los sedimentos loésicos pampeanos de la Fm Cerro Azul (Fidalgo *et al.*, 1975). De acuerdo a las pruebas hidráulicas realizadas se considera acuífero libre hasta los primeros 100 metros saturados, aunque el espesor de la formación portadora alcanza hasta los 200 metros. Se caracteriza por poseer anisotropías hidrolitológicas locales dando lugar a una alternancia de niveles acuíferos-acuitardos (sistema multicapa) pero que regionalmente, se comportan como un solo sistema hidrogeológico homogéneo. Estos niveles acuíferos-acuitardos y, en ocasiones, hasta acuícludos, le confieren cierto grado de confinamiento en profundidad. (Carrica, 1998).

La profundidad del nivel freático es muy variable desde 50 metros en la Estación Corti, en zona de interfluvio al noreste de Bahía Blanca (cota 105 m s.n.m.) hasta aflorando cerca de la zona de descarga regional próxima al estuario de Bahía Blanca (cota 4 m s.n.m.).

Los trabajos de FUNS (2000) y Albouy, *et al.* (2005 b) citan transmisividades de entre 54 y 230 m²/d con una conductividad hidráulica media de 1 m/d y un coeficiente de almacenamiento media de 0,1 calculados en base a ensayos de bombeo en 6 pozos de 120 m de profundidad media y 100 m de espesor saturado en las cercanías de Cabildo. Su comportamiento hidráulico es de libre con drenaje diferido. Una batería de 16 pozos perforados a esa profundidad por Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA), suplementaron el servicio de agua a Bahía Blanca en 2010 y 2011 durante la sequía que asoló la región (2005-2010). De allí la importancia de este acuífero multicapa alojado en estos sedimentos loésicos. El mismo acuífero libre también

abastece a la localidad de Cabildo (aproximadamente 2000 habitantes) desde su fundación en el año 1903 con agua apta para consumo humano que se bombea desde pozos de 80 metros de profundidad. En otros lugares, especialmente cercanos al piedemonte serrano suele explotárselo con fines de riego a través de pozos de 100 metros de profundidad y equipos mecanizados. Además, todos los establecimientos agropecuarios de la región se abastecen de la capa freática mediante la explotación de pozos someros perforados o cavados (hasta 70 metros) los que extraen el agua por bombeo accionados por molinos de viento o bombas eléctricas. En todos los casos se trata de pozos incompletos.

La calidad del agua decrece desde el piedemonte serrano hacia el sur conforme la circulación general del flujo subterráneo. A excepción de los alrededores de la localidad de Cabildo, donde el agua es químicamente apta para consumo humano, en el resto del partido es, en general, agua dulce o levemente salobre, del tipo bicarbonatada a clorurada sódica con conductividad eléctrica que van desde 1000 a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero con excesos de fluoruros y/o arsénico disueltos, lo que la hace no apta para consumo humano conforme la normativa vigente (Código Alimentario Argentino, art 982). Más hacia el sur, cerca de Bahía Blanca, y dentro del valle del A° Napostá Grande, los tenores salinos se incrementan hasta unos 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dicha área (Aldea Romana) fue utilizada durante muchos años para horticultura bajo riego con aguas del arroyo Napostá Grande y sus suelos resultaron salinizados.

Ya dentro del ejido urbano de la ciudad, el nivel freático se encuentra a escasos metros de profundidad (de 2,5 a 10 m), y algo más profundo en la zona alta al norte (40 - 50 m). El agua del nivel freático están naturalmente salinizadas y, muchas veces, contaminadas por vertidos de pozos ciegos, pérdidas del sistema de saneamiento (cloacas) y a veces con combustible proveniente de roturas de tanques subterráneos de estaciones de servicio (Lexow et al., 2016). En ciertos sectores de la ciudad este nivel es explotado mediante perforaciones domiciliarias poco profundas (entre 15 y 50 m) para riego de parques y jardines con especies vegetales tolerantes a las sales y llenado de piletas de natación y lavadero de automóviles. También algunas empresas (PYMES) suelen utilizar estas aguas para uso industrial, previo análisis químico. La Municipalidad de Bahía Blanca explota este nivel para riego de plazas y parques mediante pozos someros (15 a 30 metros). Esta actividad, convenientemente regulada debe propiciarse, a los efectos de reemplazar para estos usos, al agua potable de la red domiciliaria.

Cabe mencionar que en el área costera, los sedimentos pampeanos del acuífero freático se hallan cubiertos por una secuencia, de hasta 15-20 metros de espesor, de sedimentos marinos de albuferas y playa de la Formación Maldonado de edad Pleistoceno superior-Holoceno, (Fidalgo, 1983), que alojan a unos niveles acuíferos-acuitardos con aguas salmueras del tipo cloruradas sódicas de hasta 70 g/l de Sólidos Disueltos Totales, inaptas para todo tipo de uso. El nivel freático se encuentra aflorando o a escasa profundidad. Las restantes formaciones que completan el esquema hidroestratigráfico son de distribución escasa y saltuaría y, por lo tanto, hidrogeológicamente poco significativas.

DINÁMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El análisis de la información geológica e hidrogeológica, la mayoría de ella inédita, evidencia la circulación general de las aguas desde las Sierras hacia el mar. Los mapas de isopiezas del SHP elaborados por Bonorino (1988), para el área de Bahía

Blanca, muestran un flujo predominante del NNE al SSO siguiendo un posible paleocauce. Asimismo, Álvarez (1980) realiza un claro mapa de isopiezas del acuífero confinado alojado en la sección Epiparaniana Inferior en Bahía Blanca con una dirección general de flujo N-S.

En cuanto al acuífero freático, los mapas de isopiezas de la región (Albouy, 1994 y Carrica, 1998; tesis inéditas) elaborados en base a los datos de censos hidrogeológicos, denotan en general una morfología radial con un sentido del flujo convergente hacia las vías de escurrimiento superficial, poniendo de manifiesto la relación de continuidad hidráulica existente entre la superficie freática y los cursos de la región (Río Sauce Chico, A° Napostá Grande y Chico y A° Saladillo). A excepción de éste último, los cursos de agua que tienen sus nacientes en los valles de vertiente serranos labrados sobre las rocas paleozoicas acuífugas actúan como colectores de la pluviometría de la zona. En piedemonte, muchos de ellos pierden definición por infiltración, constituyendo la principal zona de recarga de los acuíferos de la región. Ya en la llanura pedemontana, los cursos son predominantemente efluentes, por lo que la descarga subterránea del acuífero freático alimentan su caudal básico. La orientación general del flujo subterráneo es hacia el sur, siguiendo la pendiente regional, con líneas de flujo convergentes hacia los cursos mencionados. Por ende, en la zona de estudio la superficie freática conforma un manto continuo, de tipo radial con flujo convergente hacia los cursos efluentes.

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACUÍFERO

La actualización del estado de conservación de los pozos remanentes del SHP pone de manifiesto que la gran mayoría de ellos se encuentran en un importante estado de abandono, encontrándose cerrados, tapados y/o sin surgencia ni uso del agua. En general las roturas de cañerías están relacionadas con la antigüedad de las obras. Algunos pozos más modernos de propietarios privados mantienen un estado aceptable, aunque solo uno de ellos mantiene un caudal de surgencia natural similar al original (pozo ex Refinería La Isaura). No obstante, las características químicas del agua, en general aptas para todo consumo, y su temperatura de surgencia se han preservado en el tiempo. Su potencial uso geotérmico como sistema hidrotermal de baja entalpía, no ha sido desarrollado. Actualmente la relación entre el beneficio de construir y explotar un pozo profundo, versus los costos de la obra (más de 1 millón de dólares), sumada a la incertidumbre en cuanto a la localización y rendimiento de los niveles acuíferos explotables, hacen que la ecuación económica no resulte una inversión atractiva para las empresas.

En el caso del acuífero confinado alojado en la Fm Chasicó (Sección epiparaniana Inferior) está relativamente bien aprovechado por los natatorios públicos y privados de la ciudad y empresas. Resta aún efectuar un censo completo de estos pozos, especialmente los más antiguos. Los pozos activos son relativamente modernos y su costo de construcción es mucho menor que un pozo al SHP (entre 30 y 40 mil dólares). Además la incertidumbre de localizar el nivel acuífero también es menor ya que el acuífero presenta una distribución areal bastante uniforme dentro del área de estudio. No obstante es muy necesario que sean construidos por profesionales y perforistas experimentados de la zona y declarados al ADA conforme la legislación vigente.

El acuífero freático en la zona del piedemonte serrano, en este caso en los alrededores de Cabildo, constituye en un recurso muy valioso para suplementar el servicio de agua potable en períodos de sequías. En general, al sur de Cabildo el acuífero

freático posee agua dulce pero no apta para consumo humano por presentar excesos en las concentraciones de fluoruros y arsénico. No obstante en muchos establecimientos agropecuarios se la usa para consumo humano por ser el único recurso disponible.

La explotación del acuífero freático en el ejido urbano se realiza mediante pozos de 15 a 50 metros de profundidad, dependiendo del sector y su construcción y explotación es anárquica. Se lo utiliza para riego de parques, jardines, llenado de piletas de natación, lavadero de autos etc. El agua es, en general salobre y no apta para consumo humano. Muy pocos usuarios disponen de análisis químicos del agua que utilizan y así como tampoco de determinaciones bacteriológicas para verificar posible contaminación por pozos ciegos y/o cloacas, y aun menos de HTP (Hidrocarburos Totales de Petróleo) por potenciales pérdidas de tanques subterráneos de estaciones de servicio y lavaderos de automotores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta contribución pretende valorar la existencia y propiciar la explotación racional (sostenible) del recurso hídrico subterráneo para uso industrial, recreativo y riego, sin dejar de lado el uso humano para abastecimiento suplementario a las ciudades del área de estudio.

El conocimiento hidrogeológico detallado de los acuíferos del área, actualizado a la luz de la información derivada de las nuevas obras de explotación realizadas, se constituye en una herramienta de fundamental importancia para la planificación de una explotación racional y sustentable de los mismos, puesto que conforman una valiosa alternativa de abastecimiento para muchos emprendimientos industriales y recreativos de la ciudad,

a la vez que reemplazaría al agua potable de la red de abastecimiento a la ciudad.

La explotación del SHP está sujeta a la relación del beneficio del potencial emprendimiento versus el costo y rendimiento de la obra. El acuífero confinado alojado en la Fm Chasicó (Sección Epiparaniana Inferior) es una alternativa de menor costo y de relativo fácil acceso, aunque el agua es salobre y no apta para consumo humano. Sin embargo, resulta aceptable para usos industriales, recreativos y eventualmente para consumo humano, riego y con tratamiento de desalinización, para todo tipo de uso. El caudal de explotación de los pozos, ya sea por surgencia natural o bombeo, está limitado a 10-15 m³/h.

El acuífero freático en la zona del piedemonte serrano constituye en un recurso muy valioso para suplementar el servicio de agua potable a las ciudades de la región en períodos de grandes sequías. Es ampliamente utilizado por el sector agropecuario para todo tipo de uso ya que es el único recurso de agua disponible. En el ejido urbano de las localidades que integran el partido, el acuífero freático está frecuentemente contaminado por pozos ciegos, cloacas e hidrocarburos. La explotación es anárquica y no controlada.

En todos los casos, el diseño y ejecución de nuevas obras de captación deben estar dirigidas por profesionales idóneos en la temática, conforme las reglamentaciones vigentes de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires.

El aprovechamiento integral y racional de los recursos hídricos del área de estudio, condicionará el futuro desarrollo y bienestar socio-económico de sus habitantes. El uso y manejo adecuado de este patrimonio redundará en beneficio de las generaciones presentes y futuras, puesto que el hombre y su bienestar es el fin ulterior de toda planificación.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ALBOUY, E.R., (1994).
Hidrogeología de la cuenca superior del río Sauce Chico, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires.
Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur. (inédita).
- ALBOUY R, J. CARRICA Y G. BONORINO, (2005A).
Identificación y análisis del fenómeno de drenaje diferido en sedimentos pampeanos. Cuenca del Arroyo Napostá Chico, Provincia de Buenos Aires.
IV Congreso Argentino de Hidrogeología Actas, Tomo I: 261- 268. ISBN 950-665-346-1 / 950-665-348-8 OC
- ALBOUY, R., CARRICA, J. Y BONORINO, G. (2005B).
El acuífero libre del área industrial costera de Bahía Blanca: Modelo preliminar de flujo.
IV Congreso Argentino de Hidrogeología. Tomo II. Actas: 161-170. ISBN 950-665-346-1 / 950-665-348-8 OC.
- ALBOUY, R., CARRICA, J., LAFONT, D. Y LEXOW, C. (2007).
Acuífero libre del área industrial costera de Ingeniero White, Provincia de Buenos Aires, Argentina: análisis preliminar de procesos hidrogeoquímicos.
V Congreso Argentino de Hidrogeología. Actas: 221-229. ISBN: 978-987-23936-3-2. Paraná, Argentina. Octubre 2007.
- ALBOUY, R., CARRICA, J. Y LAFONT, D. (2009).
El acuífero libre del área industrial de Bahía Blanca: modelo de flujo de agua subterránea.
Aportes de la Hidrogeología al Conocimiento de los recursos Hídricos.
Editorial. Ameridia Tomo II: 477-486. Santa Rosa, La Pampa, República Argentina. ISBN 978-987-1082-36-0.
- ALBOUY, R., BONORINO, G., LEXOW, C., CARRICA, J. Y LAFONT, D. (2010).
El agua subterránea en la cuenca del arroyo Napostá Chico: una alternativa para suplementar el abastecimiento a Bahía Blanca, Argentina.
X ALHSUD Congress. Caracas, Venezuela. Octubre del 2010. E-book ISBN 978-980-734600-9 CD.
- ALBOUY, R., CARRICA, J., LEXOW, C., LAFONT, D. Y BONORINO, G. (2011).
Abastecimiento de agua a Bahía Blanca. Ubicación y diseño de la batería de pozos de explotación de agua subterránea.
VII Congreso Geológico Argentino y V Seminario Hispano-Latinoamericano- Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Captación y modelación del agua subterránea. Actas: 3-10. E-Book ISBN 978-987-23936-8-7, Salta, Argentina, 2011.

- ALBOUY, R., CARRICA, J., LEXOW, C., LAFONT, D. Y BONORINO, G., (2012).
La explotación del recurso hídrico subterráneo: una alternativa para suplementar el abastecimiento a Bahía Blanca, Argentina. ISBN 1851-7838.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. ASAGAI, No28:15-24.
- ALBOUY, R., BONORINO, G., CARRICA, J., LEXOW, C., LAFONT, D., MARCOS, Á. Y CALO, J. (2013).
Groundwater extraction of the Napostá Chico watershed. En WATARID 3. Usages et Politiques de l'eau en zones arides et semi-arides.
La sécurité de l'eau et la ressource. 1-9. ISBN 9782705687458. Editeurs COUREL Marie-Françoise, TASHPOLAT T. y TALEGHANI M. Editorial HERMANN. Paris. 564p.
- ALVAREZ, G., (1980).
Estudio de la capa acuífera ubicada en la Formación Chasicó -Epiparaniano inferior- en el ámbito de Bahía Blanca.
Informe de Beca de Estudio CIC. 48 pp y anexos. UNS Bahía Blanca. Inédito.
- BONORINO, A. Y CARRICA, J. (1985).
Estudio hidroquímico de las aguas subterráneas del sistema hidrotermal profundo de Bahía Blanca.
Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses. Tandil. Actas: 531-550.
- BONORINO A.G. (1988).
Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca.
Tesis Doctoral. Inédita, UNS.
- BONORINO A.G., CARRICA, J., ALBOUY R., TORRENTE, H. Y LEXOW, C. (1990).
Plan Integral de Abastecimiento de Agua a Bahía Blanca y Gran Bahía Blanca: Estudio de la provisión de agua mediante extracción de aguas subterráneas.
Convenio MOP-UNS-CIC. Tomo IV: 76pp.
- BONORINO, A. Y CARRICA, J. (1992).
Disminución del rendimiento de los pozos de explotación de agua subterránea del sistema hidrotermal profundo de Bahía Blanca.
I Congreso Hidrogeológico Latinoamericano. Mérida. Venezuela. Compendio de Ponencias: 9-14.
- BONORINO, A.G., ALBOUY, R. Y CARRICA, J., (1997).
Provisión de agua a Bahía Blanca mediante la extracción de aguas subterráneas.
I Congreso Nacional de Hidrogeología. Bahía Blanca. Actas: 77-88 p.
- BONORINO A. G., (2005).
Acuíferos profundos e hidrotermalismo
en Relatorio del XVI Congreso Geol. Argentino. La Plata 2005: 327-346.
- CARRICA, J., ROSSI, S., ALBOUY, R. Y BONORINO, A. G., (1992).
Hidroquímica del agua subterránea del sector pedemontano de la vertiente occidental de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires.
3º Jornadas Geológicas Bonaerenses. La Plata. Actas: 159-164.
- CARRICA, J., (1998).
Hidrogeología de la cuenca del arroyo Napostá Grande, Provincia de Buenos Aires.
Tesis Doctoral. UNS. 215 pp. (Inédita).
- CARRICA J. C. LEXOW, G. BONORINO E I. MORMENEO, (1998).
Aplicación del programa Balshort para el cálculo del balance hidrológico del suelo en parcelas experimentales (Cuenca del Arroyo del Águila, provincia de Buenos Aires, Argentina).
4to. Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Montevideo. Uruguay. Vol (3): 1343-1353.
- CARRICA, J., ALBOUY, R., BONORINO, A., (2003).
Modificaciones hidrodinámicas en el acuífero costero del área de Ing. White.
III Congreso Argentino de Hidrogeología. Rosario. Argentina. 23-26/09/2003. Tomo I: 113-122 ISBN: 950- 673-395-3
- CARRICA, J. Y LEXOW, C. (2005).
Relación entre la desecación del suelo y los fenómenos de subsidencia ocurridos en Ingeniero White, Argentina.
Geoacta 30, 47-56. ISSN 0326- 7237.
- CARRICA, J., ALBOUY R., LEXOW, C., CARRICA, L. Y SILVA, G. (2017)
Delimitación de Perímetros de Protección de la contaminación de los pozos de Explotación de agua subterránea ubicados en las cercanías de Cabildo, Prov. de Buenos Aires.
Congreso PROIMCA-PPRODECA 2017 UTN-FRBB 6 al 8 de septiembre de 2017. Bahía Blanca.
- C.F.I., (2011).
Prefactibilidad de sistematización y aprovechamiento de la cuenca del Río Sauce Chico.
Informe Final Tomo II (inédito) Convenio CFI-UNS. La Plata.

- CUSTODIO, E (2019).
RAEMIA Recarga natural a los acuíferos, metodologías y soporte de la isotopía del agua. Aplicación a la planificación hidrológica y conocimiento de las aguas subterráneas en España.
Universitat politècnica de Catalunya, UPC e- Books. ISBN 978-84-9880-814-8
- DYMAS, (1974).
Contribución al mapa hidrogeológico de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. Zonas de Bahía Blanca y Nordpatagónica CFI-PBA.
La Plata. (Inédito).
- FIDALGO, F., F.O. DE FRANCESCO Y R. PASCUAL, 1975.
Geología superficial de la llanura bonaerense.
V Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca. Relatorio: 103-138
- FIDALGO F., (1983).
Geología y Geomorfología del área White-Cerri y los alrededores de Bahía Blanca.
Comisión Estudio de Suelos White-Cerri. MOP de la Prov. de Buenos Aires. Informe final. (Inédito). La Plata.
- FOLGUERAS, A., ECHEVERRÍA, M., ZÁRATE, M. Y ESCOSTEGUY, L. (2017).
Hoja Geológica 3963-II Bahía Blanca, Prov. de Bs. As. 1:250.000.
IGRM-SEGEMAR. Bol. N° 425. 96pp.
- FUNS - UNS. (2010)
Estudio hidrogeológico: Factibilidad de explotación de acuíferos profundos área Bajo San José.
Informe inédito, 57 páginas.
- GARCIA, J. Y GALLI, C. (1954).
Informe preliminar acerca de la cuenca hidrogeológica de Bahía Blanca.
Inst. Nacional de Geología y Minería. Carpeta 264 (inédita).
- GARCÍA, J. Y GARCÍA, O.M.E., (1964).
Hidrogeología de la región de Bahía Blanca (Provincias de Buenos Aires y La Pampa) DNGM
Boletín N°96: 1-96, Buenos Aires.
- HERNÁNDEZ, M FILI, M., AUGÉ, M Y CECCI, J. (1979).
Geohidrología de los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires.
IV Congreso Geológico Argentino. Actas 2: 479-500.
- LAFONT, D., ALBOUY, R., CARRICA, J. Y BONORINO. G. (2006).
“Hidroquímica del acuífero libre en el área industrial costera de Bahía Blanca”.
VIII Congreso Latinoamericano de ALHSUD. Del 25 al 29 de septiembre del 2006, Asunción. Paraguay. Memorias pág.51 y en CD.
- LAFONT, D., LEXOW, C., ALBOUY, R. Y CARRICA, J. (2007).
Hidrodinámica de la zona no saturada en el área industrial costera de Bahía Blanca.
V Congreso Argentino de Hidrogeología. Actas: 231-240. ISBN: 978-987-23936-3-2. Paraná, Argentina. 2007.
- LEITAO, T., LIMBOZZI, F., MELO, W. MENDES OLIVEIRA, M., ALBOUY, R. Y CARRICA, J. (2007).
Diagnosis of the reference situation and definition a target situation related to groundwater Bahía Blanca Estuary.
ECOMANAGE: Integrated Ecological Coastal Zone Management System. Deliverable 2.7. Relatorio 237/2007-NAS. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil. Ferreira, L., R. de Saldanha Matos, J. Marcovecchio (Eds) Study developed for the European Commission DG Research INCO-CT-2004-003715. Proc. 0607/17/15488. Lisbon.
- LEXOW, C., PERA VALLEJOS, G., TONELLI, S. Y CARRICA, J., (2016).
Dispersión de hidrocarburos disueltos en el acuífero freático a partir de la fase libre no acuosa.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. ASAGAI, No37:67-76. ISSN 1851-783.
- MAESTRU, JOSEFINA (2015).
Agua y desarrollo sostenible: Aplicación de los objetos de desarrollo sostenible relacionados con el agua.
La relevancia de la tecnología. Pág 4-11. Monografías del agua, Vol: 3. Ed: “el agua fuente de vida” (2005- 2015): Programa ONU.
- RAFFO, J. T (1904).
Contribución al estudio de la hidrogeología de Bahía Blanca, Buenos Aires.
Tesis Doctoral. Inédita.
- SALA, J., BONORINO, A. Y CARRICA, J. (1985).
Aspectos hidroquímicos del acuífero libre en los alrededores de Ing. White, Provincia de Buenos Aires.
Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses. Tandil. Actas: 505-524.
- SALSO, J. Y GARCÍA, J. (1958)
Estado actual del conocimiento hidrológico de la cuenca artesiana de Bahía Blanca.
Div. Nac. Geol. y Minería. Informe. Año 2 (9): 15-26. Buenos Aires.

UNS -UTN (2009).

Informe Técnico sobre Aspectos Relevantes de la Problemática del Agua en la Región de Bahía Blanca”
Informe final Inédito. 47pp.

WICHMANN, R. (1918).

Geología e Hidrología de Bahía Blanca y sus alrededores, (Provincia de Buenos Aires).
Anales. Dirección General de Geología, Minería e Hidrología, Anales 13(1): 1-67. Buenos Aires.



Línea base para riesgo de caída de rocas en un camino de montaña en Sierra Chica, provincia de Córdoba, Argentina

Baseline for risk of rock fall on a mountain road in Sierra Chica, Córdoba province, Argentina

Quintana Crespo, Enrique F. ¹ ✉ - Navarro, María Alejandra ²

Recibido: 18 de julio de 2020 • Aceptado: 03 de diciembre de 2020

Resumen

El presente trabajo forma parte de un proyecto de investigación en desarrollo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba, que tiene como objetivo la aplicación de modelos geotécnicos para el análisis de riesgo de caída de rocas en las principales vías de montaña de la Provincia de Córdoba.

Se aborda aquí el caso de los taludes generados para el cruce del cordón de Sierra Chica por la Ruta Provincial 34 (Camino de Altas Cumbres).

Para el establecimiento de una línea base de riesgo de caída de roca se aplicó el Sistema de Calificación de Riesgo de Caída de Rocas (RHRS - Rockfall Hazard Rating System) con algunas modificaciones y al tiempo cero, es decir a escasos meses de la liberación al tránsito de la obra.

Los resultados obtenidos permitieron establecer zonas que deben estar sometidas a un constante monitoreo, debido a las condiciones geométricas de los taludes y/o a sus características geotécnicas.

Palabras clave: *Caída de rocas, Riesgo, Estabilidad, Macizos Rocosos.*

Abstract

This work is part of a research project in development at the Faculty of Engineering of the Catholic University of Córdoba, which aims to apply geotechnical models for the risk analysis of rock falls in the main mountain roads of the Province of Córdoba.

The case of the slopes generated for the crossing of the Sierra Chica mountains, by Provincial Route 34 (Camino de Altas Cumbres) is addressed here.

1. Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Córdoba - Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba - Dirección Provincial de Vialidad. Córdoba, Argentina.

✉ equintr@yahoo.com

2. Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Córdoba. Córdoba, Argentina.

To establish a baseline of rock fall risk, the Rockfall Hazard Rating System (RHRS - Rockfall Hazard Rating System) with some modifications was applied, at time zero, that is, a few months after the release of the transit.

The results obtained allowed the establishment of areas that must be subject to constant monitoring, due to the geometric conditions of the slopes and/or its geotechnical characteristics.

Keywords: Rockfall, Risk, Stability, Rock Mass.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de un proyecto de investigación en desarrollo en la Universidad Católica de Córdoba titulado: “Aplicación de modelos geotécnicos para el análisis de riesgo en taludes rocosos para obra viales”, para el cual se ha efectuado una zonificación geotécnica de toda el área de Sierra Chica. La definición de unidades de mapeo geotécnico sienta las bases para posteriores aplicaciones, tales como la aplicación de diversas metodologías de clasificación de macizos rocosos, estabilidad de laderas y taludes y, como se desarrolla a continuación, el análisis de riesgo de caída de rocas.

La obtención de una “línea base” de riesgo de caída de rocas en obras viales de montaña, implica un relevamiento en el momento de la puesta en servicio de la obra, con el fin de determinar la estabilidad resultante de los taludes generados, y tomar un tiempo cero para análisis posteriores, durante la vida útil del camino

La Ruta Provincial 34 (Camino de las Altas Cumbres) forma parte del Corredor Córdoba - Cuyo, con un trazado que atraviesa los principales cordones montañosos del territorio de la Provincia de Córdoba. El tramo estudiado, de 16,6 km de longitud, comunica al camino de cintura C45, a la altura de la localidad de Falda del Cañete, con las rutas 14 y E96, en el Valle de Punilla.

Para la construcción del mismo se debieron realizar una serie de cortes en el macizo rocoso generando taludes de hasta 50 metros de altura.

Las condiciones del macizo fueron analizadas mediante un proceso de zonificación geotécnica del complejo metamórfico que compone el subsuelo rocoso de Sierra Chica. Las principales características geotécnicas de los macizos se relacionan con variaciones en el grado de metamorfismo, y con la aproximación del trazado vial a la Falla de Sierra Chica, generadora de la escarpa occidental de dicho cordón montañoso.

La calificación de macizos rocosos se realizó mediante la aplicación del criterio de Hoek y Brown, para determinar los parámetros intrínsecos: ángulo de fricción y cohesión equivalente para una masa de roca (Hoek y Brown, 1980).

El análisis de riesgo de caída de bloques tiene en cuenta aspectos geológicos propios de los macizos rocosos y variables específicas del proyecto de ingeniería. El método utilizado tomó como base el “Rockfall Hazard Rating System (RHRS)”, desarrollado por Pierson *et al.*, (1990) en el Departamento de Transporte de Oregón (ODOT) y patrocinado por la FHWA (Federal Highway Administration) con una de las modificaciones propuestas por Budetta (2004): la introducción del “Slope Mass Rating” de Romana (1991) como método de caracterización de la estabilidad de los taludes rocosos.

ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA

Para la presente investigación se ha llevado a cabo una zonificación geológica-geotécnica en escala regional para la unidad geomorfológica de Sierra Chica, con foco en la Ruta Provincial 34 E (Camino de Altas Cumbres), desde su intersección con la ruta C45, en proximidades de la localidad de Falda del Cañete, hasta su intersección con las rutas E96 y RP14 en la cercanía de la localidad de Las Jarillas, en el Valle de Punilla, Provincia de Córdoba.

Un análisis detallado de la metodología de zonificación y los resultados de la misma se encuentra desarrollado en Quintana Crespo y Soffietti (2020).

De acuerdo a la escala de trabajo se definieron las siguientes Unidades de Mapeo Geotécnico (UNESCO/IAEG, 1976): Serie Litológica; Complejo Litológico; Tipo Litológico; y Tipo Geotécnico. Toda la cartografía fue desarrollada mediante un sistema de información geográfico, utilizando el software Quantum Gis (Qgis).

Series Litológicas

El análisis regional se llevó a cabo mediante la utilización de las cartas geológicas: Córdoba-3163 III (1:250.000), y Carta Geológica Los Gigantes- 3166-30 (1:100.000) del Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino), de donde se obtuvieron las unidades de mapeo correspondientes a Series Litológicas, en toda la región central del cordón de Sierra Chica. Solo aquellas unidades de mapeo que fueron observadas en los trabajos de campo fueron nominadas. Figura 1 y Tabla 1.

Para la definición de las unidades de mapeo geotécnico de mayor detalle - Complejos y Tipos Litológicos- el área de estudio se restringió a la zona de influencia de la RP34 E (Ruta Provincial 34 Este – Camino de las Altas Cumbres) considerando como tal a los límites de las cuencas hídricas, que son parcial o totalmente atravesadas por el trazado vial. Figura 2.

Este criterio responde a las necesidades del proyecto de investigación general, en el que se encuentra incluido el presente trabajo, donde además de la estabilidad de los taludes rocosos se analizará la estabilidad de las laderas naturales.

Complejos Litológicos

Como puede observarse en la Figura 1, el trazado de la RP34 E se desarrolla sobre los macizos rocosos de la Serie NPgP, en la cual se distinguieron los siguientes complejos:

CL - Complejo Metamórfico La Falda Ubicado sobre la Carta Geológica Córdoba. Paragneis feldespático, cuarzo biotítico

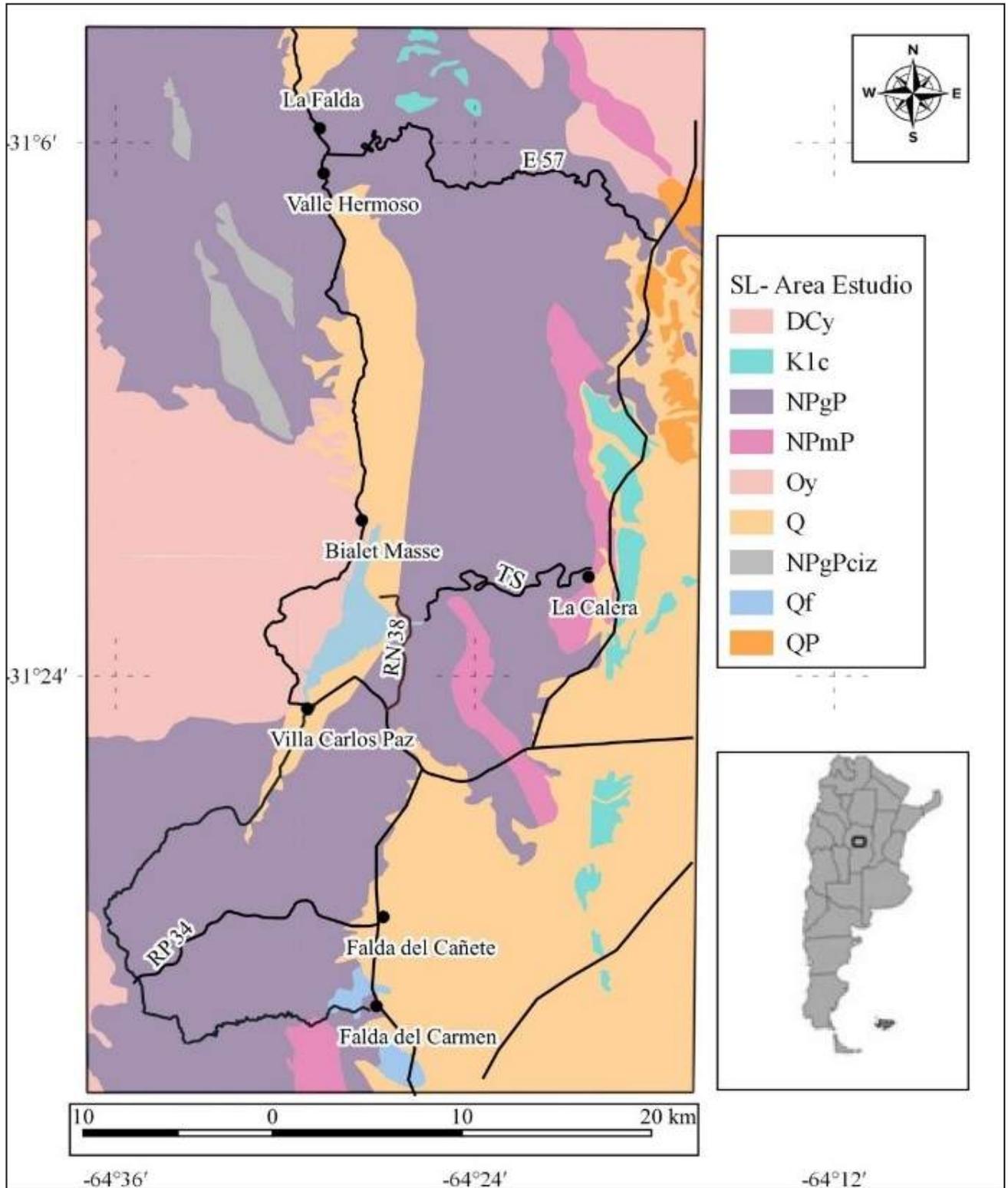


Figura 1. Series Litológicas definidas en el área central de Sierra Chica.

muscovítico, bandeado intercalado con ortogneis leucotonalítico, escasos mármoles y rocas calcosilicáticas. Paleozoico (Cámbrico Inferior).

CL - Complejo Metamórfico Sierra Chica. Ubicado sobre la Carta Geológica Los Gigantes. Se trata de gneises biotíticos, granatíferos del Paleozoico (Cámbrico Inferior a Medio); y

Metatexitas Granatíferas Cordieríticas del Paleozoico (Cámbrico Inferior a medio). Tamaño de grano grueso. Roca de alto grado de metamorfismo y estado masivo, con alguna foliación muy gruesa. Presentan texturas cataclásticas y miloníticas de metamorfismo dinámico.

Tabla 1. Series (SL), Complejos (CL) y Tipos Litológicos (TL) y Tipos Geotécnicos

SL	CL	Cartas SEGEMAR	TL	TG	Materiales		
Q	CL7: Fm Pampeana. Pleistoceno Superior.	Córdoba	TL7.1		Formación Pampeana.		
	CL2: Fm. La Invernada. Loess, Pleistoceno Superior	Córdoba	TL2.1	TG2.1.1	Sedimentos eólicos.		
	CL1: Fm. Río La Granja. Holoceno	Córdoba	TL1.1	TG1.1.1	Limos y arenas fluviales.		
N2c	-----	Córdoba	-----	-----	Neógeno Fm. Cosquín		
K1c	Formación Saldán.	Córdoba	-----	-----	Sedimentos Cretácicos		
DCy	CL6: Granitoides porfíricos gruesos	Córdoba	TL6.1	TG6.1.1	Batolito de Achala		
	Complejo Granítico Achala	Los Gigantes	-----	-----	Batolito de Achala		
	Complejo Granítico Achala	Calamuchita	-----	-----	Batolito de Achala		
Oy	Granito Candonga	Córdoba	-----	-----	Granito Candonga		
NPgP	CL3/4: Complejo Metamórfico La Falda	Córdoba	TL3.1	TG3.1.1	Coluvión		
				TG3.1.2	Regolito		
			TL3.2	TG3.2.1	Gneis Esquistoso		
				TG3.2.2	Gneis Masivo		
				TG3.2.3	Pegmatitas		
			TL4.1	TG4.1.1	Metatexitas		
			TL4.2	TG4.2.1	Cataclasitas		
				TG4.2.2	Milonitas		
			CL5: Complejo Metamórfico Sierra Chica	Los Gigantes	TL5.1	TG5.1.1	Coluvión
						TG5.1.2	Regolito
TL5.2	TG5.2.1	Gneis Esquistoso					
	TG5.2.2	Gneis Masivo					
	TG5.2.3	Pegmatitas					
NPmP	Formación El Manzano Mármoles	Córdoba	TL8.1	TG8.1.1	Mármoles		

Tipos Litológicos y Tipos Geotécnicos

En los Complejos Litológicos definidos se diferenciaron Tipos Litológicos caracterizados por su homogeneidad en composición, textura y estructura. Simultáneamente se fueron definiendo los Tipos Geotécnicos, como las unidades que presentan el mayor grado de homogeneidad litológica, cuyas propiedades físicas pueden ser caracterizadas estadísticamente a partir de determinaciones individuales.

El estudio se ha restringido a los Tipos Litológicos y Geotécnicos constituidos por macizos rocosos excavados mediante voladuras, dejando de lado aquellos formados por sedimentos no consolidados.

La calificación de los macizos rocosos se efectuó mediante el método de *Hoek y Brown (1980)*. Para ello se relevaron las familias de discontinuidades presentes, determinándose su rumbo y buzamiento, espaciamiento, persistencia, apertura, etc. La resistencia a la compresión simple del material rocoso y de las discontinuidades se obtuvieron mediante ensayos de esclerometría, utilizando un martillo de Schmidt, tipo N. Las zonas más críticas de las paredes rocosas, con cuñas o planos de posible inestabilidad, fueron detectadas inicialmente mediante vuelos de dron, utilizando un aparato DJI-Spark 4, (Figura 3) y requirieron del acceso al talud con técnicas de escalada (ascenso y descenso por cuerda). (Figura 4).

Los datos de campo se volcaron en planillas tipo, como la que se muestra en las Tabla 2 - Figuras 5, 6 y 7 y Tabla 3.

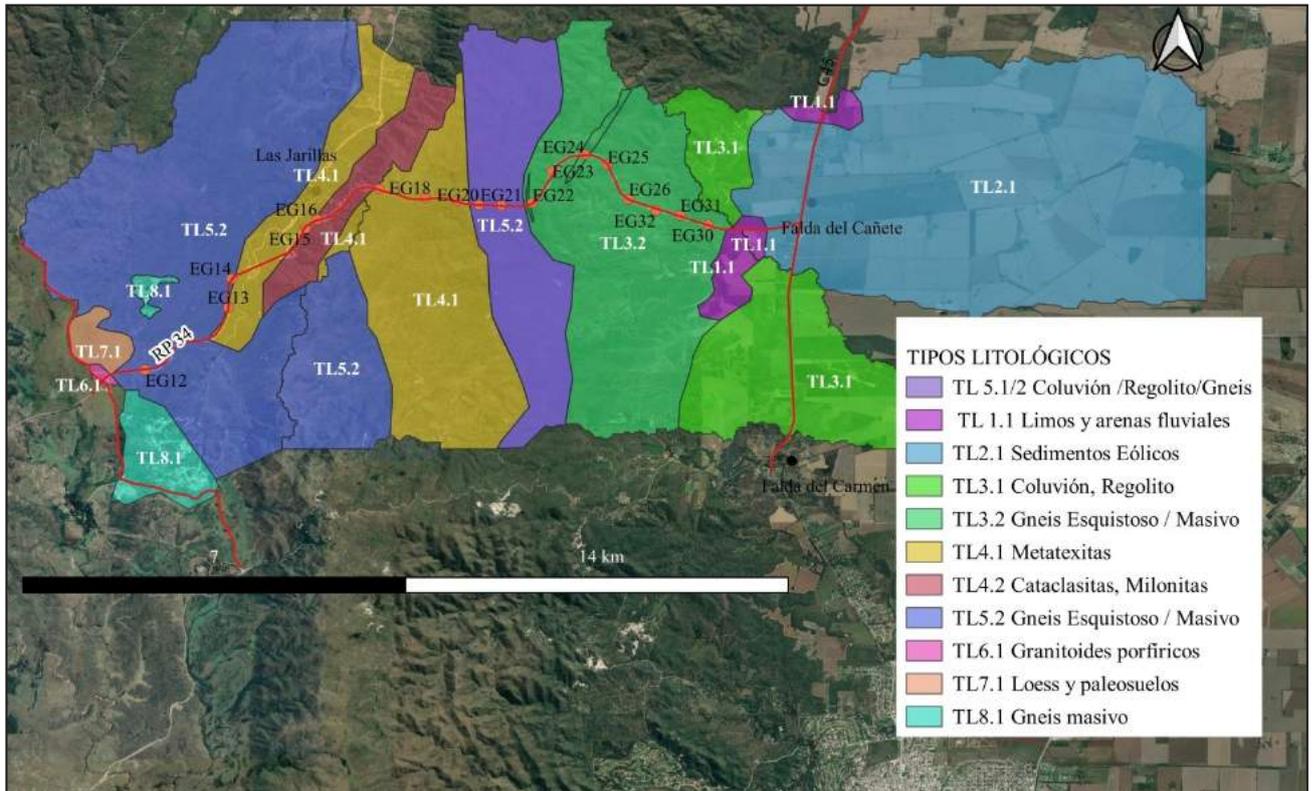


Figura 2. Ruta Provincial 34 E. Complejos y Tipos Litológicos. Ubicación de Estudios Geotécnicos para taludes rocosos. Sobre imagen de Google Earth.



Figura 3. Relevamiento con dron. Altura de toma fotográfica: 120 m.



Figura 4. Medición de buzamiento con brújula geológica, en plano de discontinuidad desfavorable a la estabilidad. Toma de datos en EG 23 (31° 31.754 S - 64°30.060 O).

Tabla 2. Planilla de identificación del talud rocoso y ensayos de esclerometría.

Identificación: RP34E - EG 23	Progresiva: 11.200 km	Coordenadas: 31° 31.754 S - 64°30.060 O
Talud Izquierdo Rumbo Medio: 30 °	Altura: 32 mts. (4 bancos)	Elevación: 842 m s.n.m
	Longitud Total: 260 mt	

Características litológicas: Tipo Litológico 3.2: Gneis color gris claro, masivo. TG: 3.2.2 Gneis masivo

Ensayos de Esclerometría:

RN1 (Rebote Esclerómetro) = 60 - 58 - 50 - 58 - 60 - 50 - 64 - 48 - 60 - 54 (en macizo golpe horizontal F 6.1) RN1m = 56 N1c = 55

RN2 (Rebote Esclerómetro) = 36 - 48 - 46 - 48 - 44 - 46 - 48 - 46 - 50 - 42 (en discontinuidad golpe hacia abajo F 6.2) RN2m = 45 N2c = 46



Figura 5. Croquis de ubicación del talud.



Figura 6. Ubicación del Esclerómetro en el plano.



Figura 7. Juegos de discontinuidades relevados.

Tabla 3. Clasificación de Hoek y Brown. Obtención de los parámetros intrínsecos del macizo rocoso.

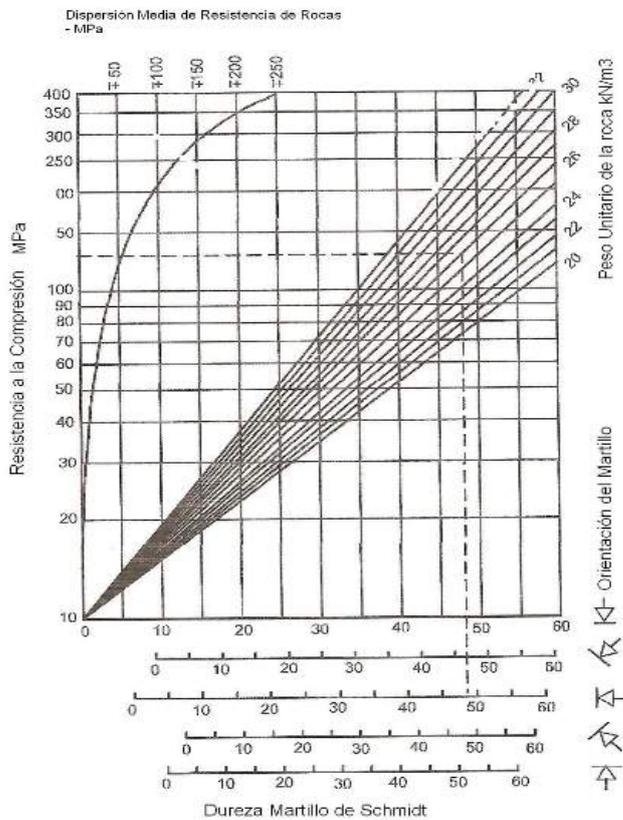


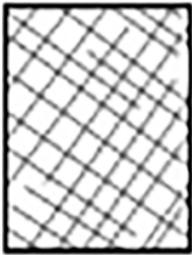
Gráfico de Miller (1965)

Para $R_{N1} = 55$ (Martillo tipo N)
 $(R_N - 7.124) / 1.249 = R_L = 38$
 Goktan y Ayday (1993)

De acuerdo al Gráfico de Miller (1965) para
 $R_L = 38$
 $R_c = 80 \pm 25$ MPa

Para el valor de $R_{N2} = 46$ (Martillo tipo N)
 $(R_N - 7.124) / 1.249 = R_L = 31$

De acuerdo al Gráfico de Miller (1965) para
 $R_L = 31$
 $R_c = 62 \pm 15$ MPa

<p>Clasificación de Hoek y Brown (Programa Roclab de Rocscience):</p> <p>Resistencia a la compresión simple de la roca intacta $\sigma_{ci} = 100 \text{ MPa}$ (se adopta el máximo valor de resistencia del macizo de acuerdo a RL_{1c} y a datos propios del relevamiento de campo: golpes de martillo)</p> <p>Geological Strength Index (GSI)</p>  <p>Clase 2: Bloques cúbicos, inalterados, formados por 3 juegos de discontinuidades bien trabados.</p> <p>Subclase M-MB: GSI varía entre 85 y 65 cuando las condiciones superficiales de las discontinuidades son muy buenas: rugosas, no meteorizadas, ni alteradas;</p> <p>GSI = 80</p>	<p>Se considera una altura de talud medio para el sector de 15 m., y se estima un Peso Unitario del macizo = $0,022 \text{ MN/m}^3$.</p> <p>Constante de Hoek-Brown $m_i = 31$</p> <p>RESULTADOS</p> <p>Ángulo de Fricción : $\varphi' = 68^\circ$</p> <p>Cohesión : $c' = 2.12 \text{ MPa}$</p>
--	---

Propiedades de los Tipos Geotécnicos

La Clasificación de Hoek y Brown, permitió determinar los valores de cohesión y fricción del macizo rocoso para los distintos Tipos Geotécnicos, estableciéndose tres grupos:

Valores bajos ($c < 0,15 \text{ MPa}$ y $\varphi < 40^\circ$). Gneises esquistoso y masivos afectados por fallas;

Valores medios ($c < 0,30 \text{ MPa}$ y $\varphi < 50^\circ$). Gneises esquistosos, y cataclasitas de zona de falla de Sierra Chica;

Valores altos ($c > 0,30 \text{ MPa}$ y $\varphi > 55^\circ$) Gneises masivos y metatexitas. Tabla 4.

SISTEMA DE CALIFICACIÓN DE RIESGO DE CAÍDA DE ROCAS

Para la calificación del riesgo de caída de rocas se tomó como base el “Rockfall Hazard Rating System (RHRS)”, desarrollado por *Pierson et al., (1990)* en el Departamento de Transporte de Oregón (ODOT), con una de las modificaciones propuestas por *Budetta (2004)*: el reemplazo de la caracterización geológica del método original, por el SMR de *Romana (1991)*.

De este modo se analiza la situación de estabilidad presente en cada uno de los taludes, para establecer una “línea base” de riesgo de caída de rocas.

Tabla 4. Clasificación de los Tipos Geotécnicos en base a su cohesión y fricción.

TG	Superficie Taludes (m ²)	φ (°)		c' (MPa)	
		Medio	Desviación Estándar	Medio	Desviación Estándar
3.2.1 Gneis esquistoso	7.000	47	13,18	0,16	0,56
3.2.1 Gneis esquistoso con falla	4.200	31	-	0,13	-
3.2.2 Gneises Masivos	14.600	65	2,12	0,74	0,53
3.2.2 Gneis masivo con falla	1.500	37	-	0,08	-
3.2.3 Pegmatitas	48	64	-	1,84	-
4.1.1 Metatexitas	18.200	62	2,47	0,63	0,20
4.2.1 Cataclasitas	16.000	43	-	0,27	-
5.2.1 Gneis esquistoso	2.760	47	-	0,19	-
5.2.2 Gneis masivo	7.490	62	3,70	0,58	0,52
5.2.1 Gneis esquistoso	3.000	56	-	0,52	-
5.2.2 Gneis masivo	19.800	66	2,2	0,96	0,20
5.2.3 Pegmatitas	2.360	63	-	1,32	-

Los datos necesarios para la utilización del método RHRS, pueden agruparse del siguiente modo:

- En relación con el diseño geométrico de la vía: altura de los taludes, eficiencia de la cuneta, distancia visual de decisión, ancho de calzada y cuneta;
- En relación a las características del medio físico de la zona de camino: caracterización geológica, tamaño de bloques y/o volumen de desprendimientos, antecedentes de caídas de rocas, condiciones climáticas y aguas subterráneas.

Las modificaciones propuestas por *Budetta (2004)* con el objetivo de simplificar el método original y brindarle mayor objetividad, son las siguientes:

- Clasificación geológica basada en el Slope Mass Rating (SMR) de *Romana (1991)*;
- Estimación cuantitativa de la eficiencia de las cunetas mediante la carta de *Ritchie (1963)*, con actualizaciones de *Fookes y Sweeny (1976)*, y *Whiteside (1986)*.
- Estimación cuantitativa del tamaño de los bloques o volumen del desprendimiento, definiendo el volumen de los bloques (V_b) antes de la caída mediante el espaciamiento de los principales juegos de juntas (S_1, S_2, \dots, S_n) que afectan al macizo. Para macizos con 3 juegos de juntas, V_b viene dado por:

$$V_b = \frac{(S_1 + S_2 + S_3)}{\text{sen}\alpha * \text{sen}\beta * \text{sen}\gamma}$$

Dónde:

α, β y γ son los ángulos entres los juegos de juntas.

El tamaño de bloque se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$D_b = \sqrt[3]{V_b}$$

- Condiciones climáticas: la presencia de agua y los ciclos de congelamiento y deshielo contribuyen para que se produzca meteorización y caídas de rocas. El RHRS estima cualitativamente estas variables, estableciendo rangos en función de los siguientes criterios: 1. Precipitaciones bajas a moderadas, sin períodos de heladas, sin agua en el talud. 2. Precipitaciones moderadas, cortos períodos de heladas, agua intermitente en el talud. 3. Precipitaciones elevadas, largos períodos de heladas, agua permanente en el talud. 4. Precipitaciones elevadas y largos períodos de heladas o agua permanente en el talud y largos períodos de helada (combinados).

Las modificaciones de *Budetta* tienen en cuenta que el SMR ya tiene en cuenta la circulación de agua subterránea en el talud, por lo que se consideran solamente los valores medios de lluvias anuales. Las áreas que reciben menos de 600 mm anuales son consideradas de moderada precipitación y las que reciben más de 1200 mm anuales de elevada precipitación. Para los períodos de heladas se mantiene el puntaje original del RHRS.

Otros parámetros intervinientes en el método de evaluación permanecieron iguales:

- Altura del Talud: Esta variable representa la altura vertical del talud.
- Riesgo promedio de vehículo (RMV): porcentaje de tiempo que los vehículos están presentes en la zona de riesgo de caída de rocas. Es igual a la cantidad de vehículos por hora que transitan por la zona de riesgo, sobre la velocidad máxima señalizada en metros.
- Distancia visual de decisión (DVD): longitud mínima de calzada necesaria para que un conductor pueda tomar una decisión para no impactar con un obstáculo en la ruta. Se establece comparando la distancia visual disponible con el valor mínimo de diseño definido por AASHTO que se muestra en la Tabla 5; y que depende de la velocidad límite que se encuentra señalizada en el tramo. La DVD se considera como la distancia a lo largo de un camino en la cual un objeto estático de 0,15 m es continuamente visible a 1,10 m de altura desde la superficie de rodamiento (altura del ojo del conductor). Es crítica cuando los obstáculos en la ruta son difíciles de percibir, o cuando se requieren maniobras inusuales o inesperadas para evitarlos. La DVD puede cambiar apreciablemente a través de una zona de riesgo. Las curvas con obstrucciones tales como salientes rocosas o vegetación prominente, puede limitar severamente la habilidad de un conductor para avistar un desprendimiento de rocas, al igual que las tormentas. La evaluación se debe realizar de ser posible en los dos sentidos del tránsito, pero fundamentalmente del lado del talud rocoso.
- Ancho de calzada: medido perpendicular a la sección del talud rocoso que se está analizando. Incluye el ancho de banquetas.
- Frecuencia de caída de rocas: se debe establecer una base de datos de sitios y frecuencias de caída de rocas. La Tabla 6 resume las nueve categorías y los puntajes correspondientes, de acuerdo al criterio de clasificación establecido por *Budetta (2004)*.

Tabla 5. Distancia visual de decisión (AASHTO, 2011).

Velocidad límite (km/h)	Distancia de decisión DVD (m)
40	114
48	137
56	160
64	183
72	206
80	228
88	267
96	304
114	320

Tabla 6. Planilla Resumen del Método RHRS modificado.

Categoría	Criterio de Calificación por Puntaje			
	Puntos 3	Puntos 9	Puntos 27	Puntos 81
Altura del Talud	7,5m	15m	22,5m	> 30m
Eficiencia de la Cuneta	Buena: diseñada según modelo de Ritchie (carta de diseño y barreras)	Moderada: diseñada según modelo de Ritchie (carta de diseño)	Limitada: diseño equivocado	Nula
Riesgo medio por vehículo (% del tiempo)	25%	50%	75%	100%
Distancia Visual de Decisión (% del valor de diseño)	Adecuada (100%)	Moderada (80%)	Limitada (60%)	Muy Limitada (40%)
Ancho de Camino	21,5 m	15,5 m	9,50 m	3,5 m
Slope Mass Rating SMR	80	40	27	20
Tamaño de Bloque	0,3 m	0,6 m	0,9 m	1,20 m
Volumen de Bloques	0,026 m ³	0,21 m ³	0,73 m ³	1,74 m ³
Volumen de derrumbe x evento	2,3 m ³	4,6 m ³	6,9 m ³	9,2 m ³
Lluvias anuales y períodos de heladas	H =300 mm			
Sin heladas	H =600 mm ó			
Cortos períodos de heladas	H = 900 mm ó			
Largos períodos de heladas	H = 1200 mm ó			
Largos períodos de heladas				
Antecedentes de caídas de rocas	1 cada 10 años	3 por año	6 por año	9 por año

La Función Exponencial

El exponente de la ecuación $y=3^{f(x)}$ fue encontrado a través de varios intentos y representan la expresión matemática que mejor ajusta a los datos de las Tabla 1. (Budetta, 2004). La descripción de las funciones usadas para estimar el puntaje que brinda cada una de las ocho categorías (a excepción de la efectividad de cunetas) se puede visualizar en la Tabla 7.

APLICACIÓN DEL SISTEMA RHRS A LA RUTA PROVINCIAL 34 ESTE

El tramo analizado de la RP34 E fue inaugurado a fines del año 2019. Cuenta con 16,6 km de longitud total y 26 taludes rocosos que fueron divididos en 52 secciones homogéneas, cuyas longitudes totalizan 5.169 metros. La "línea base" para el análisis de riesgo de caída de bloques se determinó en 18 taludes considerados representativos de la totalidad, descartándose aquellos que por su baja altura o por estar demasiado alejados de los bordes de calzada no evidenciaban posibilidad de riesgo alguna.

Para cada uno de los taludes analizados se confeccionó una planilla como la que se muestra en la Tabla 8, donde se incorporaron los siguientes datos:

- Altura de talud: se relevaron alturas entre ocho y cincuenta metros (6 bancos de 8 metros, con bermas de 2,50 m de ancho)
- Riesgo promedio de vehículo (RMV): Esta categoría tiene en cuenta la longitud de la zona de riesgo (L); el tránsito medio diario (TMD en vpd - vehículos por día; y vph - vehículos por hora); y la velocidad límite señalizada VLS (km/h). Para la determinación del TMD se estimaron valores de acuerdo a los datos provistos

por la Dirección de Vialidad de Córdoba, y al SIG de Vialidad Nacional, ya que por pertenecer a una ruta recientemente construida no existen aún valores censales. Se consideró un valor medio de 6000 vpd, entre el tránsito pasante proveniente de la provincia de Córdoba hacia las provincias vecinas de San Luis y Mendoza (4450 vpd); más el tránsito local entre la ciudad de Córdoba y el valle de Punilla, por la nueva conexión: Las Jarillas - Int. RP.14 (en la Localidad de San Antonio). El valor de TMD es uniforme para todos los tramos y las VLS varían entre 60 kph en zona de viaductos e intersecciones y 80 kph para el resto, por lo tanto las variaciones del riesgo medio de vehículo serán originadas por la longitud de los tramos evaluados. La zona de VLS igual a 60 kph presenta un RMV entre 11 y 83% y para la zona de VLS igual a 80 kmh, el RMV oscila entre 18 y 78%.

- Porcentaje de distancia visual de decisión (DVD): Teniendo en cuenta las velocidades máximas de circulación señalizadas (80 km/h y 60 km/h), las distancias mínimas requeridas son 228 m. y 171 m. respectivamente. Las distancias de visibilidad disponibles, que son las efectivamente medidas, fueron registradas en condiciones óptimas de visibilidad y podrían registraran disminuciones debido a características geométricas relacionadas con curvas verticales y horizontales, malezas en banquina, niebla, oscuridad, etc. Los resultados variaron entre 100 (distancia adecuada) y 80 (distancia moderada).
- Ancho de calzada: El valor medido es de 7,30 metros para ancho de calzada y 2,50 metros de banquina del lado del talud.

Tabla 7. Funciones exponenciales de ajuste de datos. Budetta, 2004.

Categoría	Ecuación
Altura del Talud (H)	$y = 3 H/7.5$
Riesgo medio de vehículo (AVR)	$y = 3 AVR/25$
Distancia Visual de Decisión (%Da)	$y = 3 (120 - \%Da)/20$
Ancho de Camino (Lc)	$y = 3(27.5 - Lc)/6$
Slope mass rating (SMR)	$y = 3 80/SMR$
Tamaño de Bloque (Db)	$y = 3 Db/0.3$
Volumen de roca por evento (Vfall)	$y = 3 Vfall/2.3$
Precipitación Anual (h)	$y = 3 h/300$
Frecuencia de Caída de Rocas (f)	$y = 3 1 + (0.334 \cdot f)$

- Tamaño de los bloques: Los macizos rocosos están constituidos por gneises masivos o esquistosos y meta-textitas masivas, afectados por 3 o más juegos de discontinuidades. La frecuencia de las discontinuidades ha llevado a obtener bloques de diferentes formas, generalmente con dos dimensiones prevalecientes sobre la tercera, que en promedio arrojan un volumen del orden de los 0,175 m³.
- Condiciones climáticas: Para la zona de estudio se adoptó un promedio de precipitaciones de 700 mm por año (<https://www.cba.gov.ar/provincia/aspectos-generales/clima/>). En el área de estudio la distribución de las precipitaciones no es homogénea, existiendo un período de lluvias que va desde setiembre hasta marzo de cada año. El período más crítico para la estabilidad de los taludes es el fin de verano, época en la cual los macizos rocosos ya han absorbido toda el agua que potencialmente pueden acumular y por lo tanto su peso unitario se encuentra en un máximo, al igual que la lubricación de los minerales arcillosos producida por el agua infiltrada. Ambas condiciones potencian los derrumbes que suelen producirse como deslizamientos de masas.
- Frecuencia de caída de rocas: Considerando el estudio como el inicial para la vida útil de la obra, no se consideran, ni han sido observadas caídas de rocas de importancia tal, que merezcan ser registradas, ya sea por su escaso volumen o por la trayectoria de impacto que no supera la zona de banquina o por ambas circunstancias a la vez. Para el comportamiento futuro de los taludes se debe desarrollar una base de datos que tenga en cuenta las características climáticas y geológicas que influyen en los resultados del puntaje del RHRS. El grado de meteorización de los taludes es uno de los elementos que, combinados con el clima van a influir severamente. La edad de los taludes es función directa de la relajación del macizo rocoso, lo que implica incremento en la apertura de las discontinuidades y modificaciones en la condición favorable o no de los buzamientos. La colocación de puntos fijos para monitoreo de estas características de la roca es de importancia para ir anticipando los comportamientos futuros de los macizos rocosos.

- Rock Mass Rating (RMR) y Slope Mass Rating (SMR): Las unidades de mapeo geotécnico de mayor detalle: los Tipos Geotécnicos, presentan homogeneidad en sus características litológicas y físico-mecánicas, por lo tanto, los resultados puntuales de los estudios desarrollados en cada talud rocoso, pueden generalizarse con los valores medios de RMR y SMR. De esta forma se obtienen los resultados de la Tabla 9.

La Tabla 10 muestra los resultados de la aplicación del método RHRS modificado, para los 18 taludes en las diferentes secciones analizadas.

De acuerdo a las consideraciones del método RHRS original, los taludes con puntajes menores a 300 son calificados para estabilización a mediano plazo y los mayores a 500 para medidas de estabilización inmediata.

En el caso de estudio los valores de RHRS alcanzados son bajos, variando entre un mínimo de 69 y un máximo de 225. Constituyen una "línea de base" en los que no se suma puntaje por la categoría de Frecuencia de Caída de Rocas y donde la actualización periódica de tal categoría irá incrementando el puntaje y consecuentemente el riesgo.

Debido a las características de autovía de montaña de la RP34 E, las categorías que analiza el método RHRS en relación al diseño geométrico y a las condiciones climáticas, presentan uniformidad o variaciones menores en toda la longitud del tramo analizado, salvo las variaciones en altura y la longitud de los taludes, que influyen en forma significativa en el puntaje final. La longitud de la zona de los cortes se refleja en el Riesgo Medio por Vehículo (RMV).

El SMR muestra una importante influencia en el RHRS, que puede apreciarse en aquellos sectores donde se reconoce una geología y una tectónica compleja, como es la zona de influencia de la Falla de Sierra Chica: el Tipo Geotécnico 4.2.1 integrado por cataclasitas, presenta un valor medio de SMR igual a 36 y los puntajes del RHRS obtenidos son los más elevados dentro del análisis realizado: 153 y 225. El máximo de 225 corresponde al Talud EG16, que es el de mayor altura y longitud del tramo estudiado.

Con la línea base de riesgo de caída de rocas obtenida mediante el sistema RHRS se generó una capa de información, dentro del sistema Qgis, en cuya base de datos georeferenciada se plasmaron las puntuaciones obtenidas.

Tabla 8. Funciones exponenciales de ajuste de datos. Budetta, 2004.

TALUD			EG12		
LONGITUD			80 m (Pr. 1450 km - 1530 km)		
T.G			5.2.2		
Categoría	Unidad	Valor	Función		Rating
Altura del Talud	H(m)	25	$3^{(H/7,5)}$	38,94	27,00
Eficiencia de la cuneta	Buena	1	3	3	3,00
		Moderada	0	9	0
		Limitada	0	27	0
		Ineficiente	0	81	0
Riesgo medio por vehículo (RMV)	RMV km/h (%)	26,6	$3^{(RMV/25)}$	3,21	9,00
	TMDA	veh/día	6000		
	Vehículos por hora	veh/hora	250		
	Longitud de zona	mts	85		
	Velocidad Diseño	km/hr	80		
Distancia de Visibilidad	%Da	100	$3^{((120-\%Da)/20)}$	3,00	3,00
	Distancia requerida	m	228,0		Adecuada
	Distancia disponible	m	228,0		
	Adecuada 100%				
	Moderada 80%				
	Limitada 60%				
	Muy Limitada 40%				
Ancho de calzada	Lc (m)	12,3	$3^{((27,5-Lc)/6)}$	16,17	9,00
	Calzada	m	7,3		
	Banquina	m	5,0		
Tamaño de bloque	Db (m)	0,56	$3^{(Db/0,3)}$	7,76	9,00
Volumen del Bloque	m ³	0,2			
Condición climática	h(mm)	700	$3^{(h/300)}$	12,98	27,00
	1.	300			
	2.	600			
	3.	900			
	4.	1200			
Frecuencia de caída de bloques	f	0,00027	$3^{(1+(0,334*f))}$	3,00	3,00
	1. Algunos	1/(365*10)			
	2. Ocasionales	3/365			
	3. Frecuente	6/365			
Slope Mass Rating	SMR	65	$3^{(80/SMR)}$	3,87	3,00
	I	muy buena	81-100		
	II	buena	61-80		
	III	normal	41-60		
	IV	mala	21-40		
	V	muy mala	0-20		
				88,96	93,00

Se delimitaron las zonas que deben ser regularmente monitoreadas (representadas en color rojo): el TG 4.2.1 (cataclasitas) en los taludes 15 y 16, que presentan los valores de puntuación más elevados (153 – 225 puntos); la zona de falla del talud 22 (171 puntos); los TG 5.2.2 (gneises masivos) en los taludes 12, 13 (147 p.) y TG 3.2.2 en los taludes 21 y 24 (141 p.); y el TG 3.2.1 (gneis esquistoso) en el talud 25 (147p.).

En las zonas representadas en color amarillo pálido, (entre 121 y 173 puntos) con condiciones de estabilidad buena, la

conservación de rutina debe incluir la limpieza de bermas, mantenimiento de cunetas de guardia, y eventualmente tareas de despedrado en algunos puntos críticos.

En cuanto a las zonas representadas en verde presentan una situación inicial de las características geométricas y geológicas de los taludes, que permite prever un comportamiento estable en el mediano y largo plazo. Figura 8.

Tabla 9. Valores medios de GSI, RMR y SMR, según Tipos Geotécnicos.

T.G.	Casos	GSI medio	RMR medio	SMR medio
3.2.1 Gneis Esquistoso	9	53	58	51
3.2.2 Gneis masivo	19	66	71	68
4.1.1 Metatexitas	13	78	81	81
4.2.1 Cataclasitas	10	31	36	36
5.1.3 Regolito	4	23	28	28
5.2.1 Gneis esquistoso	4	54	59	57
5.2.2 Gneis masivo	12	60	65	70
5.2.3 Pegmatitas	1	80	85	85

Tabla 10. Valores de puntajes obtenidos mediante el método RHRS modificado.

Talud	Sección	Tipo Geotécnico	RHRS
12	S1	5.2.2 Gneis masivo	93
	S2-S3-S5	5.2.2 Gneis masivo	147
	S4	5.2.3 Pegmatitas	141
13	S1-S2	5.2.2 Gneis masivo	147
14	S1	5.2.1 Gneis esquistoso	93
	S2	5.2.2 Gneis masivo	93
15	S1-S2	4.2.1 Cataclasitas	153
16	S1	4.2.1 Cataclasitas	225
17	S1-S3	4.1.1 Metatexitas	93
	S2	4.1.1 Metatexitas	111
18	S1-S3	4.1.1 Metatexitas	93
	S2	4.1.1 Metatexitas	87
19	S1-S2-S3-S4-S5-S6	4.1.1 Metatexitas	87
	S7	4.1.1 Metatexitas	93
20	S1-S2-S5-S6	5.2.1 Gneis esquistoso	93
	S3-S4	5.2.2 Gneis masivo	87
21	S1	5.2.2 Gneis masivo	69
	S2-S3-S4-S5	5.2.2 Gneis masivo	141
22	S1-S3-S4-S5-S6	3.2.2 Gneis masivo	84
	S2	3.2.2. Falla	171
23	S1	3.2.2 Gneis masivo	69
	S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8	3.2.1 Gneis esquistoso	87
24	S2	3.2.1 Gneis esquistoso	141
	S1	3.2.2 Gneis masivo	94
25	S1	3.2.1 Gneis esquistoso	147
	S2	3.2.2 Gneis masivo	93
26	S1	3.2.1 Gneis esquistoso	100
	S2	3.2.1 Gneis esquistoso	93
30	S1-S2	3.2.1 Gneis esquistoso	69
	S3	3.2.2 Gneis masivo	69
31	S1	3.2.1 Gneis esquistoso	69
	S2	3.2.2 Gneis masivo	69
32	S1	3.2.1 Gneis esquistoso	111

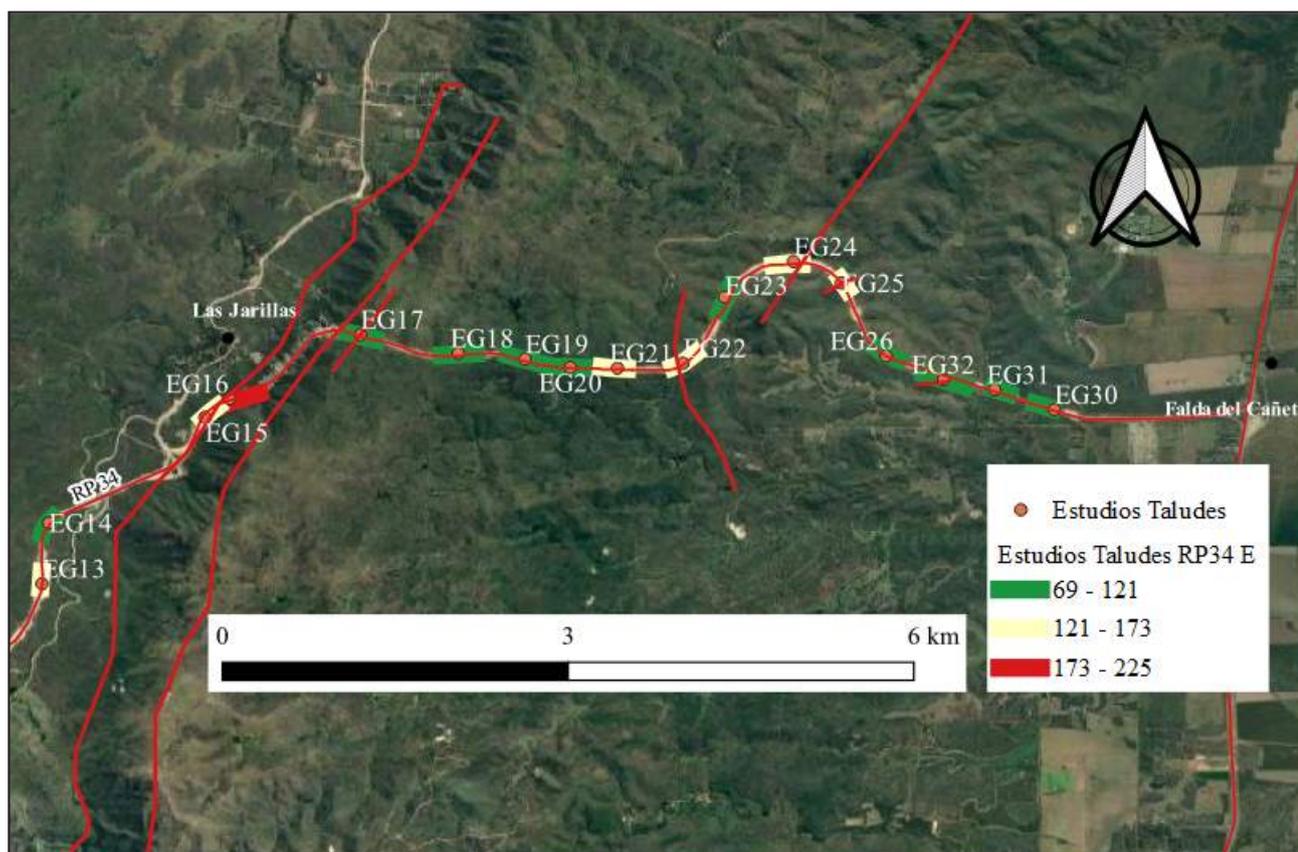


Figura 8. Línea base para riesgo de caída de rocas, determinada con el Método RHRS. Líneas continuas en rojo: Falla de Sierra Chica y otras fallas inversas menores.

CONCLUSIONES

Mediante el Sistema RHRS modificado se realizó la evaluación de la Ruta Provincial 34 Este, recientemente construida, obteniendo la Línea Base de Riesgo de Caída de Rocas.

La zonificación geotécnica mediante la cual se definieron unidades de mapeo en diversas escalas fue realizada mediante la aplicación del Sistema de Calificación de Macizos Rocosos de *Hoek y Brown (1980)*. Se obtuvieron los valores de cohesión y fricción del macizo rocoso, que fueron correlacionados con el RMR de *Bieniawski (1989)*.

Los Tipos Geotécnicos de mayor extensión areal en la zona de influencia de la RP34E, corresponden a gneises esquistosos, gneises masivos, metatexitas, cataclasitas y cuerpos pegmatíticos. Se encontró una muy buena correlación entre las características relevadas en los taludes y los valores de cohesión y fricción calculados. Los valores más bajos correspondieron a los materiales de falla: ángulo de fricción φ ($^{\circ}$) = 31° - 37°; cohesión c = 0,13 - 0,08 MPa, y a las cataclasitas: φ ($^{\circ}$) = 43°; cohesión c = 0,27 MPa

Los gneises esquistosos ubicados a ambos lados del abrupto de la Falla de Sierra Chica arrojaron valores de fricción y cohesión del macizo de: φ ($^{\circ}$) = 47°; cohesión c = 0,16 - 0,19 MPa; y en cuanto a los gneises masivos, los resultados fueron: φ ($^{\circ}$) = 62° - 65°; cohesión c = 0,58 - 0,74 MPa.

En cuanto a los macizos rocosos de alto grado de metamorfismo, las metatexitas, los valores obtenidos fueron φ ($^{\circ}$) = 62°; cohesión c = 0,63 MPa.

La incorporación del SMR de *Romana (1991)* al método RHRS, permitió la cuantificación de las condiciones geológicas-geotécnicas de los taludes rocosos. Muestra una importante influencia en las puntuaciones del RHRS, que puede apreciarse con claridad en aquellos sectores donde se reconoce una geología y una tectónica compleja, como es la zona de influencia de la Falla de Sierra Chica.

La Línea Base de Riesgo de Caída de Rocas obtenida mediante el sistema RHRS modificado permitió delimitar las zonas que deben ser regularmente monitoreadas: el TG 4.2.1 (cataclasitas) en los taludes 15 y 16, que presentan los valores de puntuación más elevados (153 - 225 puntos); la zona de falla del talud 22 (171 puntos); los TG 5.2.2 (gneises masivos) en los taludes 12, 13 (147 puntos) y TG 3.2.2 en los taludes 21 y 24 (141 puntos); y el TG 3.2.1 (gneis esquistoso) en el talud 25 (147 puntos).

La materialización cartográfica de la Línea Base obtenida mediante un Sistema de Información Geográfica (Qgis), es una herramienta de planificación que permite efectuar una agenda de tareas de mantenimiento de los taludes rocosos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Católica de Córdoba por la aprobación del proyecto de investigación en el marco del cual se realizó este trabajo, a la Universidad Nacional de Córdoba por la licencia por año sabático otorgada a uno de los autores; y a la Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba que permitió la publicación de datos técnicos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AASHTO. 2011.
A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
Tomo 1. Anexo 3. Distancia Visual de Detención.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1989.
Engineering rock mass classification (eds).
Pennsylvania (USA): Wilry-interscience.
- BUDETTA P. 2004.
The modified Rockfall Hazard Rating System. Assessment of rockfall risk along roads.
Natural Hazards and Earth System Sciences 4: 71-81
- CEBALLOS F., OLALLA C., JIMÉNEZ R. 2014.
Relationship between RMRb and GSI based on in situ data.
Conference Paper.. Ed. Digital: <https://www.researchgate.net/publication/266265132>
- FOOKES, P. G. AND SWEENEY, M. 1976.
Stabilization and control of local rockfalls and degrading rock slopes,
Quart. J. Eng. Geol., 9, 37- 55.
- GAIDO, M. F., J. J. ZARCO, R. C. MIRÓ, M. SAPP, M.T. GAMBA Y H. LÓPEZ. 2005.
Hoja geológica 316630, Los Gigantes. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
Boletín 299. Buenos Aires.
- GÖKTAN R. AND AYDAY C., 1993.
Suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability.
International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, vol. 30, pp. 321-322.
- GOODMAN, RE, BRAY J. 1976.
Toppling of rock Slopes.
Proc. ASCE Special Conference Rock Engng. For Foundations and Slopes, Boulder, Co. 2, pp 201-234
- HOEK, E. AND BROWN, E.T. 1980.
Empirical strength criterion for rock masses.
J. Geotech. Engng Div., ASCE 106 (GT9), 1013-1035.
- LUCERO H., DAZIANO C., SANABRIA J., BARBEITO O, TAUBER A. 2006.
Hoja Geológica Córdoba-3163 III (1:250.000)
Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires.
- MC GEE H.W, MOORE W., KNAPP B.G. AND SANDERS J.H. 1978
Final Report. Decision Sight distance for highway design and traffic control Requirements.
Federal Highway Administration Offices of Research and Development. Washington, D.C. 20590
- PIERSON, L. A., DAVIS, S. A., AND VAN VICKLE, R. 1990.
Rockfall Hazard Rating System - Implementation Manual,
Federal Highway Administration (FHWA), Report FHWA-OR-EG-90-01, FHWA, U.S. Dep. of Transport.
- QUINTANA CRESPO, E., & SOFFIETTI, F. P. (2020).
Una Zonificación Geotécnica Aplicada a Taludes Rocosos en el Cordón de Sierra Chica,
Provincia de Córdoba, Argentina.
Revista De La Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales, 7(2), 27-43. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFyN/article/view/29363>
- RITCHIE, A. M. 1963.
Evaluation of rockfall and its control,
U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, and the Washington State Highway Commission.
- ROMANA, M. 1991.
SMR Classification,
Proc. 7th Int. Congr. on Rock Mech., Balkema, Rotterdam, 955-960.
- UNESCO/IAEG. 1976.
Engineering Geological Maps.
A guide to their preparation.
- Whiteside, P. 1986.
Discussion on rockfall protection measures,
Conf. on Rock Eng. and excavation in an Urban Env., Institution of Mining and Metallurgy, Hong Kong, 490-498.



Reseña de Libros

Manual para el diseño de una red de monitoreo de alerta de inundaciones y sequías

Rivas, Raúl ^{1,2}✉ - Mancino, Christian ^{1,2}

Durante los últimos 50 años se produjeron más de 11.000 eventos a escala global que ocasionaron pérdidas humanas y económicas. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y las Naciones Unidas recomiendan a los países centrar la inversión en actividades que permitan transformar la información de las alertas tempranas en respuestas inmediatas.

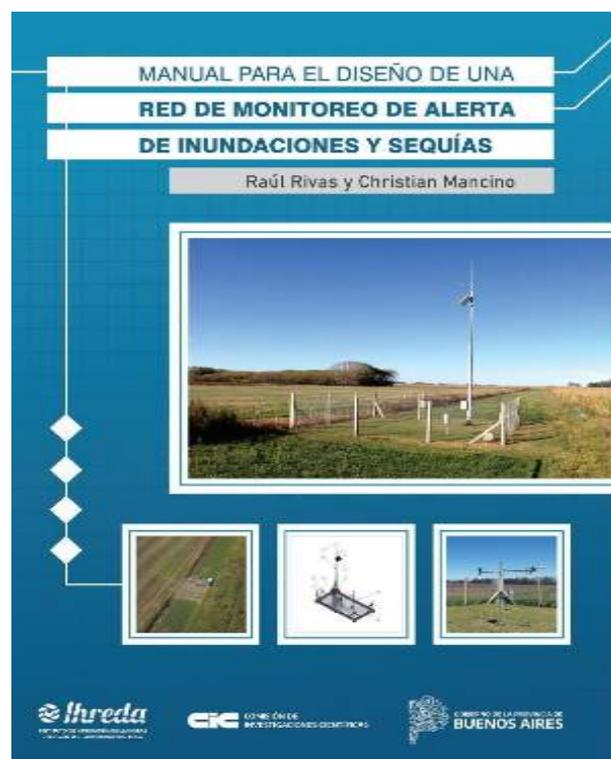
El Manual recoge los aspectos básicos esenciales para el diseño de una red de monitoreo que facilite el seguimiento y la comprensión de los procesos hidroambientales que ocurren a nivel de superficie y subsuelo. La construcción de una red requiere contemplar aspectos técnicos y tecnológicos que garanticen la calidad de las medidas y la sostenibilidad de cada dato registrado en el tiempo y en el espacio a fin de transformar la información de las alertas tempranas en respuestas inmediatas.

El documento en sus 6 capítulos describe el tipo de estación requerida para monitorear el escurrimiento superficial, subterráneo y la entrada de agua al sistema. Describe cada uno de los sensores requeridos para el monitoreo, el arreglo de éstos en la superficie y en altura, el error en la medida y la normativa a cumplir de acuerdo con la guía de instrumentos y métodos de la OMM. Además, incorpora un modelo de estación para el monitoreo espacial a partir de balances de energía a nivel de superficie y aborda las diferentes modalidades de comunicación entre estaciones. Finaliza con un detalle del mantenimiento requerido y la importancia de éste en la sostenibilidad de la información.

Contiene 10 anexos con los planos y detalles técnicos para que cualquier interesado en montar una red la realice sin tener que recurrir a documentos complementarios.

Es de libre acceso y se puede descargar desde el repositorio institucional de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (<https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/10710>).

Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, 2020. Libro digital, DOCX. Archivo Digital: online ISBN 978-987-98816-5-1. 1era. Edición especial. La Plata. 108 pág



Tapa del libro.

1. Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Usunoff" IHLLA (CONICET-CIC-UNICEN)
2. Comisión de Investigaciones Científicas de la prov. de Bs. As. (CIC)
✉ rrivas@rec.unicen.edu.ar

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° 3003-66304-3 del Banco HSBC

Mediante transferencia bancaria a la Cuenta Corriente. CUIT: 30 - 67660597- 1.
CBU 1500054100030036630432

Solicitud de factura para pago mediante transferencia.

PRECIO DE COMPRA (Desde 01-04-2020):

Para Argentina:

- Compra de número vigente: **1200** Pesos
- Compra de número atrasado: **1600** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **400** Pesos por artículo

Para el exterior:

- Compra de número vigente: **14** Dólares
- Compra de número atrasado: **18** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **4** Dólares por artículo

PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 01-04-2020):

Para Argentina:

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **2400** Pesos
- Suscripción Instituciones: **9600** Pesos
- Compra de número atrasado: **1600** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **400** Pesos por artículo

Para el exterior:

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **28** Dólares
- Suscripción Instituciones: **108** Dólares
- Compra de número atrasado: **18** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **4** 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**



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, 6 al 10 de septiembre de 2021

Córdoba, September 6-10, 2021

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

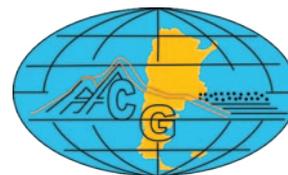
Segunda Circular / Second Newsletter

1º Conferencia Regional Sudamericana de IAEG y 2º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Adhieren / Sponsors



I H L L A



1st iaeg South American Regional Conference and 2nd Argentine Congress of Geology Applied to Engineering and the Environment

Invitación / Invitation

La Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI) le invita a participar de la 1º Conferencia Regional Sudamericana de IAEG y 2º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente.

Se desarrollará entre el 6 y el 10 de septiembre en la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional, en la ciudad de Córdoba, Argentina.

El evento marca el regreso de la International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG) a la región tras 35 años, por cuanto el antecedente es el Vº Congreso llevado a cabo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en 1986.

Los días 4 y 5 de septiembre se desarrollarán las reuniones del Comité Ejecutivo y del Consejo, respectivamente. Esto, junto a las sesiones técnicas, cursos cortos y salidas de campo, dará lugar a una semana plena de actividades académicas y sociales que harán de Córdoba 2021 una marca en la vida institucional y en la región.

The Argentine Association of Applied Geology to Engineering (ASAGAI) invites you to participate in the 1st IAEG South American Regional Conference and the 2nd Argentine Congress of Applied Geology to Engineering and Environment. It will take place between September 6 and 10 at the Córdoba Regional Faculty of the National Technological University, in the city of Córdoba, Argentina

The event marks the return of the International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG) to the region after 35 years, since the antecedent is the V Congress held in the Autonomous City of Buenos Aires in 1986.

On September 4 and 5, the meetings of the Executive Committee and the Council will be held, respectively. This, together with the technical sessions, short courses, and field trips, will lead to a full week of academic and social activities that will make Córdoba 2021 a mark in institutional life and in the region.

Situada en el centro geográfico de Argentina, la Ciudad de Córdoba es la capital de la provincia del mismo nombre. Dista 680 km de Buenos Aires y cuenta con un Aeropuerto Internacional "Ambrosio Taravella"

(<https://www.aa2000.com.ar/>).

Córdoba posee diferentes e importantes sitios históricos, turísticos y culturales para visitar. La ciudad ofrece distintas opciones para alojamientos como hoteles de 2 a 5 estrellas, departamentos, apart hoteles y hostels económicos. A su vez, ofrece una gran variedad de comida y bebidas locales, comidas caseras, restaurantes italianos, cocina árabe, comida oriental y buena panadería. La sede del evento se encuentra en el centro de la ciudad, por lo que todo lo que el visitante necesite se encuentra a mano, con muchas facilidades.

El clima es templado húmedo con una temperatura media de 18°C. Durante septiembre, la temperatura varía entre los 9° y 23°C y es frecuente el viento desde el norte y noreste.

Córdoba es una ciudad con identidad propia, con un gran valor patrimonial, histórico y cultural. Es una ciudad con más de cuatro siglos de historia, atravesada por grandes avenidas y el hogar de modernos edificios, importantes centros comerciales, una destacada oferta hotelera-gastronómica y una intensa vida nocturna. ¡Así es Córdoba! Ubicada en el centro del país y conectada con todos, Córdoba es una ciudad vibrante, alegre y divertida. La hospitalidad, la simpatía y el buen humor son sellos de distinción de los cordobeses, que harán de su visita una estadía inolvidable.

1º Conferencia Regional Sudamericana de IAEG y 2º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Sited in the geographical center of Argentina, Córdoba city is the capital of the province of the same name. It is 680 km from Buenos Aires city and it counts with the International Airport "Ambrosio Taravella" (<https://www.aa2000.com.ar/>).

Córdoba has different important historic, touristic and cultural places to visit. The city offers different options for accommodation such as hotels of 2 to 5 stars, apartments, apart hotels and economic hostels. It also offers a great variety of native food and drinks, home cooking, Italian restaurants, Arabian cuisine, oriental food and good bakery. The venue of the event is in the center of the city, so everything the visitor needs is handy, with lots of facilities.

The climate is humid temperate with a mean temperature of 18°C. During September, the temperature varies from 9° to 23°C and the winds from the north and northeast are common.

Córdoba is a city with its own identity, with a great heritage, historical and cultural value. It's a city with more than four centuries of history, crossed by large avenues and home of modern buildings, important shopping centers, an outstanding hotel-gastronomic offer and an intense nightlife. This is Córdoba! Sited in the center of the country and connected with everyone, Córdoba is a brisk, happy and funny city. The hospitality, sympathetic and good humor are hallmarks of Córdoba people, which make your visit an unforgettable stay.

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.

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

Temas / Themes

- Aspectos geológico-ingenieriles en la construcción y patología de obras / *Geological-engineering aspects in the construction and building pathology*
- 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*

1st iaeg South American Regional Conference and 2nd Argentine Congress of Geology Applied to Engineering and the Environment

Comité Organizador / Organizing Committee

Presidente / President MSc Geólogo Norberto Jorge Bejerman

Secretaria / Secretary Dra. María Paula Bunicontro

Tesorero / Treasurer Lic. Alejandro E. Celli

Miembros / Members
 Dr. Ing. Gonzalo M. Aiassa Martinez
 Dra. María Victoria Altinier
 Dr. Ing. Pedro A. Arrúa
 Dra. Ana Cecilia Dufilho
 MSc Lic. Mirian G. Viqueira Palazzo
 Dr. Ing. Marcelo E. Zeballos

Programa

SÁBADO 4/09	DOMINGO 5/09	LUNES 6/09	MARTES 7/09	MIÉRCOLES 8/09	JUEVES 9/09	VIERNES 10/09
Reunión del Comité Ejecutivo de IAEG	Reunión del Consejo de IAEG	Curso	Curso Excursión pre-congreso. Acreditación	Acreditación	Acreditación	Acreditación
				Ceremonia de apertura	Sesiones técnicas	Sesiones técnicas
				Conferencia inaugural	Conferencia	Conferencia
				Coffee break	Coffee break	Coffee break
				Sesiones técnicas	Sesiones técnicas	Sesiones técnicas
				Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo
				Sesiones técnicas	Sesiones técnicas	Reunión Jóvenes Profesionales
				Coffee break	Coffee break	Coffee break
				Sesión de póster	Sesión de póster	Sesiones técnicas
				Sesiones técnicas	Sesiones técnicas	Reunión Jóvenes Profesionales
				Coctel de bienvenida	Cena	Libre

Program

9/04 (SATURDAY)	9/05 (SUNDAY)	9/06 (MONDAY)	9/07 (TUESDAY)	9/08 (WEDNESDAY)	9/09 (THURSDAY)	9/10 (FRIDAY)
IAEG Executive Committee Meeting	IAEG Council Meeting	Course	Course Pre-event field trip Registration	Registration	Registration	Registration
				Opening Ceremony	Technical sessions	Technical sessions
				Opening Conference	Conference	Conference
				Coffee break	Coffee break	Coffee break
				Technical sessions	Technical sessions	Technical sessions
				Lunch	Lunch	Lunch
				Technical sessions	Technical sessions	YEG Session
				Coffee break	Coffee break	Coffee break
				Poster session	Poster session	Technical sessions
				Technical sessions	Technical sessions	YEG Session
				Reception	Banquet	Free

Presentación de Resúmenes y Trabajos / Abstracts And Articles Submissions

Se convoca a la comunidad científica y técnica a participar y enviar trabajos originales e inéditos, los cuales serán sometidos a consideración del Comité Científico y evaluadores para su aprobación. Las modalidades de presentación serán resúmenes y trabajos completos, en ponencias orales y posters.

En www.iaegsa2021.org están disponibles las correspondientes plantillas.

Los idiomas oficiales del evento son español, inglés y portugués.

The scientific and technical community is invited to participate and send original and unpublished works, which will be submitted for consideration by the Scientific Committee and reviewers for approval. The types of submission will be abstracts and complete works, in oral presentations and posters.

The templates are available in www.iaegsa2021.org

The official languages of the event are Spanish, English and Portuguese.

Cursos y Excursiones Técnicas / Courses and Field Trips

Los días 6 y 7 de septiembre se desarrollarán cursos cortos, los que se anunciarán en la Tercera Circular. El día 7 tendrá lugar una excursión técnica, la que será anunciada en la Tercera Circular.

On September 6 and 7, short courses will be developed, which will be announced in the Third Newsletter. On day 7 a technical field trip will take place, which will be announced in the Third Newsletter.



Fechas Importantes / Important Dates

- Recepción de resúmenes / *Abstract Submission*:
1 de noviembre de 2020 al 5 de marzo de 2021 / November, 1st 2020 to March, 5th 2021.
- Recepción de trabajos completos / *Full Articles Submission*: **3 de mayo de 2021 / May, 3rd 2021**
- Tercera Circular / *Third Circular* **04/2021 / 2021/04**



Sede del Evento / Venue

El evento tendrá lugar en La Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional, situada en Maestro M. López esquina Cruz Roja (<https://www.frc.utn.edu.ar/>) en Ciudad Universitaria de la ciudad de Córdoba.

The event will be held on Regional Córdoba Faculty of the National Technology University, located in Maestro M. López and Cruz Roja (<https://www.frc.utn.edu.ar/>) in University City of Córdoba city.



Oportunidades de Patrocinio / Sponsorship Opportunities

Se invita a participar a toda aquella empresa proveedora de servicios, productos, equipamiento geológico e ingenieril, o afines, a patrocinar el evento. Las mismas son un valioso apoyo al éxito de esta reunión, obteniendo a su vez la oportunidad de presenciar el evento y exhibir sus productos. Los interesados pueden contactarse enviando un email a: aw@tradeshaw.com.ar

All companies that provide services, products, geological and Engineering equipment or develop similar activities are invited to participate to sponsor the event. They are a valuable support to the success of the meeting, obtaining at the same time, the opportunity to witness the event and display their products. Those interested in participating can contact us sending an email to: aw@tradeshaw.com.ar



Contacto académico / Academic Contact:

congreso@asagai.org.ar

Contacto comercial / Commercial Contact:

aw@tradeshaw.com.ar



Página Web / Web Page:

<https://iaegsa2021.org/>

<https://iaegsa2021.org/en>

Copyright
© Editorial ASAGAI. 2020
Editada en Argentina

Se terminó de editar en Diciembre de 2020



ASAGAI

ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

Estudio hidrogeológico integral del yacimiento de hidrocarburos no convencionales La Calera, cuenca neuquina.
Procedimientos y resultados

Reynaldi, J. M. - Rodriguez, L. G. - Angel Alvarez, J. B. - Herrera, J. M. - María, S.

Estado actual del conocimiento de los acuíferos en el partido de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.

Estudio Preliminar

Carrica, Lucía - Carrica, Jorge - Albouy E. René

Línea base para riesgo de caída de rocas en un camino de montaña en Sierra Chica, provincia de Córdoba,
Argentina

Quintana Crespo, Enrique F. - Navarro, María Alejandra

Reseña de Libros. Manual para el diseño de una red de monitoreo de alerta de inundaciones y sequías

Rivas, Raúl - Mancino, Christian

Portada: Ceniza por la erupción del Puyehue, Villa Triful, Neuquén. *Fotografía: Fabio S. Luna*

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

