

# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Proyecto de estabilización del faldeo sur del cerro Chenque, Comodoro Rivadavia  
*Francisca, Franco M. - Pinto, Federico - Abril, Ernesto G. - Van De Velde, Germán - Alvarez Muguerza, Matías*

---

Evaluación de las concentraciones de fluoruro en el agua subterránea del valle central de Catamarca  
*Segura, Luis - Saracho, Marta - Lobo, Patricia - Agüero, Nahuel*

---

Regiones hidrogeológicas en la provincia de Tucumán  
*García, Jorge W. - Falcón, Carlos M. - D'Urso, Carlos H. - Rodríguez, Graciela V.*

---

Estabilización de subrasante loésica con silicato de sodio líquido  
*Cruz, María Pía - Martin Schmädke, Ítalo - Arnaudo, Carlos - Vigilante, Nicolás*

---

Recurso hídrico y emprendimientos urbanísticos en la costa oriental de la provincia de Buenos Aires  
*Rodriguez Capitulo, Leandro - Carretero, Silvina - Kruse, Eduardo*

Portada: Cantera abandonada de rodados en Punta Este, al sur de Puerto Madryn, provincia de Chubut. *Fotografía María Paula Bunicontro.*

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



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



# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Publicación Oficial de



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

Número 38 • 2017

ISSN 2422-5703 (En línea)

ISSN 1851-7838 (Impresa)





---

## REVISTA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA Y AL AMBIENTE

### EDITOR JEFE

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

### EDITOR ASOCIADO

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

### COMITÉ EDITORIAL

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

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

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

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

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

### SECRETARIA

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

### PRODUCCIÓN EDITORIAL

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

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

Indizaciones: GeoRef, Latindex

---

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

**COMISIÓN DIRECTIVA 2014 - 2018**

PRESIDENTE	<i>Norberto Jorge Bejerman</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Fabio Sergio Luna</i>
SECRETARIA	<i>Cristina Dapeña</i>
TESORERO	<i>Alejandro Emmanuel Celli</i>
VOCAL TITULAR	<i>Rubén A. López</i>
VOCAL TITULAR	<i>Julia Löffler</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Gabriela Coelho dos Santos</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>María Beatriz Ponce</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>José Gabriel Salminci</i>
REVISOR DE CUENTAS SUPLENTE	<i>Cristian Elías Cocchiarale</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
Proyecto de estabilización del faldeo sur del cerro Chenque, Comodoro Rivadavia	<i>Francisca, Franco M. - Pinto, Federico - Abril, Ernesto G. - Van De Velde, Germán - Alvarez Muguerza, Matías</i>	1
Evaluación de las concentraciones de fluoruro en el agua subterránea del valle central de Catamarca	<i>Segura, Luis - Saracho, Marta - Lobo, Patricia - Agüero, Nahuel</i>	13
Regiones hidrogeológicas en la provincia de Tucumán	<i>García, Jorge W. - Falcón, Carlos M. - D'Urso, Carlos H. - Rodríguez, Graciela V.</i>	21
Estabilización de subrasante loésica con silicato de sodio líquido	<i>Cruz, María Pía - Martin Schmädke, Ítalo - Arnaudo, Carlos - Vigilante, Nicolás</i>	39
Recurso hídrico y emprendimientos urbanísticos en la costa oriental de la provincia de Buenos Aires	<i>Rodriguez Capítulo, Leandro - Carretero, Silvina - Kruse, Eduardo</i>	45
Instrucciones para autores		61
Formulario de suscripción o compra		65



## 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 preventivas o de corrección de los peligros geológicos". La *Geología Aplicada a la Ingeniería* comprende: "la definición de la geomorfología, estructura, estratigrafía, litología y los acuíferos de las formaciones geológicas, las propiedades químicas e hidráulicas de todos los materiales involucrados en la construcción, extracción de recursos y cambio ambiental; la valoración del comportamiento hidrológico y mecánico de los suelos y macizos rocosos; la predicción de los cambios de las anteriores propiedades con el tiempo; la determinación de los parámetros a tener en cuenta en el análisis de estabilidad de las obras de ingeniería y de los terrenos; el mantenimiento y mejora de la condición ambiental del terreno"

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

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

### Leyenda de protección de derechos de autor

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

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

### Precio de la revista

Quienes estén interesados en adquirir un ejemplar de la Revista deberán contactarse con la Editorial ([editor@editoresasagai.org.ar](mailto:editor@editoresasagai.org.ar)).

En la página 65 encontrará el formulario a completar a tal efecto



## **Aims and objectives**

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

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

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

## **Authors Copyrights**

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

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

## **Price of the Journal**

*All interested in buying a copy of any Journal issue should be in contact with the Editor ([editor@editoresasagai.org.ar](mailto:editor@editoresasagai.org.ar)).*

*In page 65 an application form to be fulfilled and sent to the Editor is available.*



# Proyecto de estabilización del faldeo sur del cerro Chenque, Comodoro Rivadavia

## Stabilization project of southern slide of mount Chenque, Comodoro Rivadavia

Francisca, Franco M. <sup>1,2</sup> ✉ - Pinto, Federico <sup>1,2</sup> - Abril, Ernesto G. <sup>1</sup> - Van De Velde, Germán <sup>3</sup> - Alvarez Muguerza, Matias <sup>4</sup>

Recibido: 22 de abril de 2015 • Aceptado: 30 de marzo de 2017

### Resumen

*La Ciudad de Comodoro Rivadavia, se ha desarrollado al pie del cerro Chenque. La urbanización ha ido avanzando parcialmente sobre la base del faldeo Sur de esta singular elevación aledaña a la costa atlántica, en el golfo de San Jorge. Históricamente, el cerro Chenque ha manifestado sus condiciones de inestabilidad con sucesivos deslizamientos en sus laderas. En este trabajo se presenta un análisis de las características geológicas y geotécnicas relevantes consideradas para el proyecto de estabilización del faldeo Sur de este cerro ubicado en el sector Norte de la ciudad de Comodoro Rivadavia, sobre la costa marítima de la provincia de Chubut, aproximadamente a los 45°52', entre las Rutas Provinciales 26 y 39. El estudio consistió en proyectar los taludes verificando la estabilidad local y general de los mismos. Para ello se utilizó modelos numéricos basados en análisis de equilibrio límite y modelaciones utilizando el método de elementos finitos. Los resultados obtenidos permitieron arribar a la geometría de los taludes con niveles de seguridad recomendados en la literatura y minimizando el volumen de excavaciones.*

**Palabras Claves:** cerro Chenque, proyecto geotécnico, ladera, modelo numérico.

### Abstract

*The City of Comodoro Rivadavia, has developed at the foothill of the "Cerro Chenque" and the urbanization has expanded partially towards the lower part of the southern slope of this formation, adjacent to the Atlantic coast, in the gulf of San Jorge. Historically, the Chenque hill has undergone several landslides, of considerable magnitude in some cases, with tragic outcomes for the population dwelling in the vicinity of the hill. This paper presents an analysis of the geological and geotechnical features relevant for a stabilization project of the southern hill of the Chenque, located in the north sector of the city of Comodoro Rivadavia, along the coastline of the Chubut province, at latitude of 45°52', among the RP 26 and 39 routes. Local and global safety of slopes was verified by means of limit equilibrium and finite element methods. Obtained results help to obtain the geometry for the slopes that assure the required safety level and at the same time minimizes excavations volume.*

**Keywords:** Chenque, geotechnical project, landslide, numerical model.

1. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC)

2. Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT, UNC-CONICET), Córdoba, Argentina.

3. Graduado de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Mención Estructuras y Geotecnia de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC)

4. CONSULAR, Consultores Argentinos Asociados S.A.

## INTRODUCCIÓN

El cerro Chenque está constituido por dos formaciones geológicas sedimentarias que definen una situación de riesgo geológico elevado. El cerro se ubica al norte de la ciudad de Comodoro Rivadavia, sobre la región costera marítima de la provincia de Chubut, aproximadamente a los 45°51' latitud Sur y 67°29' longitud Oeste, entre Ruta Provincial 26 (RP26) y Ruta Provincial 39 (RP39). La Figura 1 presenta la ubicación del área en estudio.

Comodoro Rivadavia se caracteriza por la presencia de cañadones y valles perpendiculares a la costa, producto de la erosión hídrica originada en los desagües provenientes de las pampas de Salamanca y del Castillo y de la Meseta Espinosa, relieves mesetiformes de una altura de aproximadamente 700m. Los cañadones son estrechos en sus orígenes, ensanchándose a medida que descienden hacia el mar. La ciudad y sus barrios periféricos se fueron desarrollando sobre el faldeo Sur del cerro Chenque (213 msnm), una elevación relictual alargada en dirección Este-Oeste.

Históricamente, en el cerro Chenque se han manifestado sucesivos deslizamientos de laderas. En algunos casos alcanzaron notable envergadura, con resultados trágicos para la población de los alrededores. La Ciudad de Comodoro Rivadavia ha ido avanzando parcialmente sobre la parte inferior del faldeo Sur de esta singular elevación, debido a lo cual la ocupación del

suelo ha generado situaciones de riesgo ambiental de carácter geológico.

Diferentes antecedentes destacan deslizamientos históricos en tres zonas fundamentales que incluyen la ladera Este del Cerro, la Terminal de carga de combustibles del barrio General Mosconi y el faldeo Sur del Chenque. Las situaciones más críticas y reiterativas que han merecido estudios específicos se han dado sobre el faldeo oriental. En 1995 se produjo un gran deslizamiento que cortó la Ruta Nacional 3 (RN3), fue una reactivación importante de movimientos que se venían ya observando desde principios del Siglo XX. Hacia el Sur, una zona de deslizamientos de menor magnitud afectó a la citada Ruta Nacional en sucesivas pulsaciones (años 1999 y 2000), observándose su avance constante hacia la vía principal de acceso a la ciudad. Dichos movimientos se caracterizaron por tener diferentes velocidades, por producirse fallas locales con diferente extensión areal y otras de tipo globales en sectores específicos.

En la zona a la que se refiere este estudio, se han detectado y analizado en el pasado movimientos relacionados con antiguos procesos de remoción en masa. Sobre la calle Sarmiento (proximidades de la ruta RN 3), se han desarrollado pulsos de reactivación sobre el lóbulo de un antiguo deslizamiento existente a principios del siglo pasado. En 1993, se produjeron levantamientos y desplazamientos localizados en la carpeta asfáltica, cordón cuneta y veredas de la calle Sarmiento.

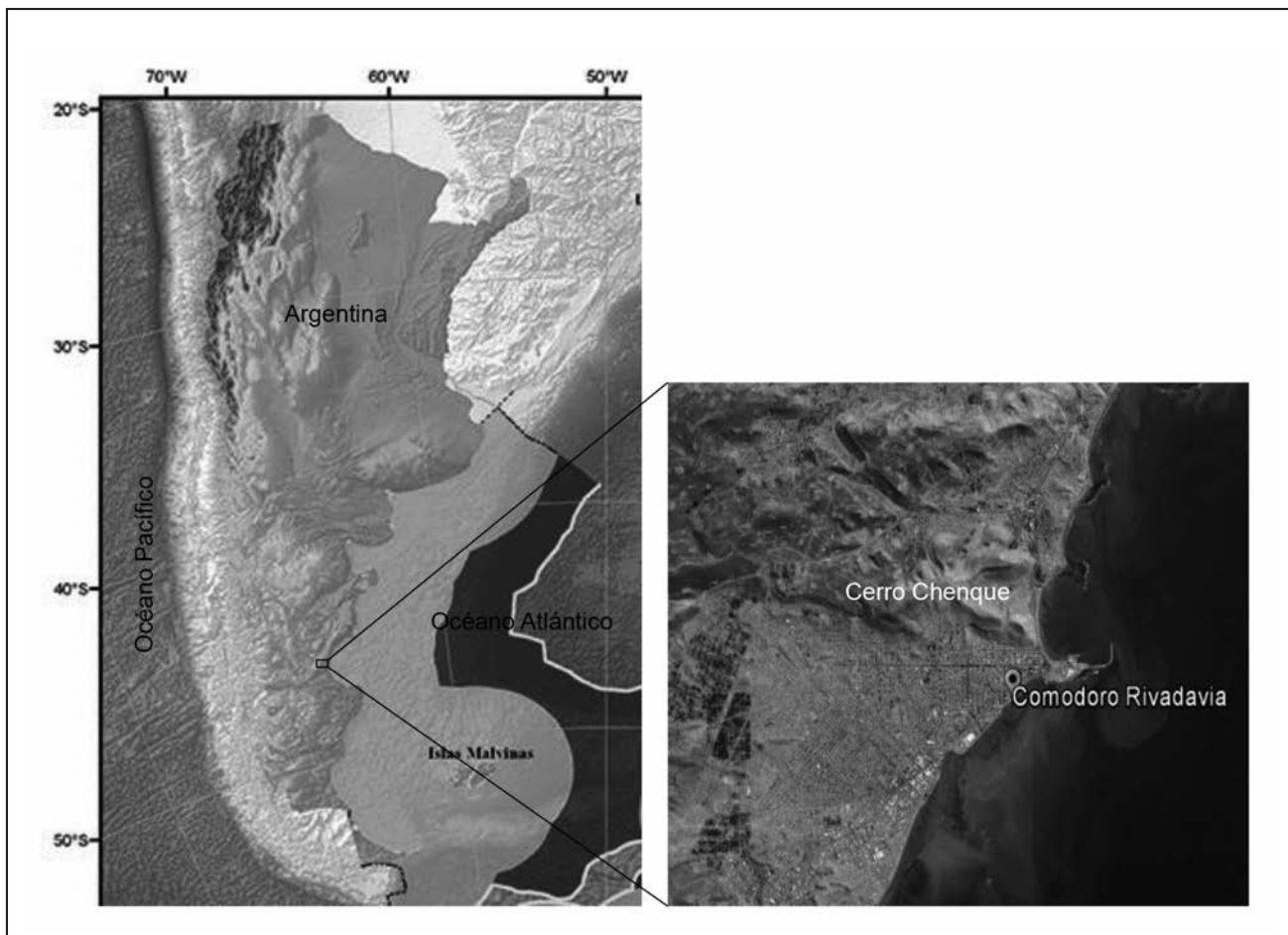


Figura 1. Ubicación del área en estudio.

La ocurrencia de numerosos movimientos registrados fue muy importante en términos geológicos, por lo cual la amenaza frente a posibles nuevos deslizamientos fue considerada como elevada. Por otra parte, la ocupación del suelo en áreas marginales de la ciudad, particularmente vulnerables al respecto, provoca una situación de alta sensibilidad que ha sido advertida ya por las autoridades y obliga a su consideración socioeconómica urgente.

Este estudio evalúa la amenaza de deslizamientos en el faldeo sur del cerro Chenque y explicita un proyecto de estabilización que comprende las intervenciones necesarias para evitar futuros episodios. En general, los problemas a resolver se han centrado en disminuir la infiltración en los sedimentos y favorecer el rápido escurrimiento de las aguas superficiales y la disminución de las pendientes.

El objetivo del trabajo es analizar la información existente y a partir de estudios geotécnicos, topográficos y geológico-geotécnicos desarrollar el proyecto ejecutivo para la estabilización del faldeo sur del cerro Chenque. Las soluciones propuestas consistieron en un reperfilado de la ladera mediante un sistema de bermas, muros de hormigón proyectado y anclajes. En este trabajo se discuten distintos diseños alternativos, presentándose una descripción de los análisis realizados y los resultados de modelaciones numéricas de las soluciones propuestas para la alternativa seleccionada, la cual fue construida en los años 2012 a 2015.

## GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Con referencia al marco geológico regional, Comodoro Rivadavia se ubica hacia el centro de la llamada Cuenca San Jorge (Figura 1), que posee un área de deposición cuya historia geológica está dada por sucesivas etapas de deposición marinas y continentales. La última de ellas es precisamente de naturaleza continental y se encuentra representada por los conocidos rodados patagónicos, que cubren las zonas altas de la meseta.

En la Hoja Geológica Comodoro Rivadavia, 4566-III. Provincia del Chubut se describe detalladamente la secuencia estratigráfica de la zona. En las costas se hace presente la Formación Salamanca (marina), con una sección inferior de coquinas y una superior de carácter epiclástico, con areniscas y pelitas del tipo de las arcillas bentónicas, de comportamiento plástico. A continuación, se localiza la Formación Río Chico, continental, de areniscas, arcillitas, piroclastitas y algunos conglomerados (González Díaz 2004). La Formación Sarmiento sobreyace a la anterior y se encuentra integrada por tobas, chonitas, algunos conglomerados y paleosuelos. Sucede a la anterior un conglomerado basal que corresponde a la formación Chenque, de origen marino, seguida por areniscas y tobas con yeso en sus grietas, areniscas y arcillitas tobáceas. La secuencia culmina con arcillitas calcáreas que gradan a areniscas. Por encima de la formación Chenque se halla la Formación Santa Cruz, conformada por areniscas poco consolidadas, fangolitas tobáceas, tobas cineríticas, algunos conglomerados y paleosuelos.

El mapa de zonificación sísmica de la Argentina (INPRES), presenta un coeficiente sísmico zonal (a nivel provincia) muy bajo en la costa (0,013) hacia valores medios al Oeste. La intensidad sísmica máxima que podría tener un sismo en el término de 100 años corresponde a un valor menor a VI.

Las formaciones geológicas sedimentarias que condicionan la situación son la formación Sarmiento (Eoceno Oligoceno)

(Feruglio 1949; Frenguelli 1929) y la formación Patagonia (Oligoceno) (Sciutto et al., 1999), designada luego como formación Chenque (Bellosi, 1990; Paredes y Colombo 2001). La Formación Sarmiento es de origen continental y la componen tobas finas, blanquecinas, amarillentas y grises mientras que la formación Chenque, que suprayace a la anterior a partir de una superficie de erosión, es de origen marino y está compuesta por una secuencia inferior, predominantemente arcillosa y profusamente diaclasada, y una superior más arenosa. Dichas formaciones se caracterizan por finalizar en bancos de areniscas calcáreas con matriz pelítica y bancos fosilíferos y por presentar sedimentos en disposición sub-horizontal con suave inclinación regional hacia el sureste. La Formación Sarmiento aflora desde la base del cerro Chenque (sobre la costa) y permite el desarrollo de lomadas, faldeos y bordes de cañadones y barrancos, asociados con restingas sobre la franja costera (Hirtz et al., 2000).

La geomorfología resultante en el faldeo Sur del cerro Chenque corresponde a un relieve estructural disectado consecuencia de diferentes condiciones climáticas, y erosión eólica intensa (se destacan procesos de remoción en masa que pueden ser verificados en laderas (Schillizzi et al., 2004).

Geotécnicamente, si bien el riesgo geológico actual se encuentra reconocido como circunscripto al tipo de los llamados *deslizamientos súbitos*, dentro del género de los fenómenos de remoción en masa no deben dejar de tenerse en cuenta las pequeñas situaciones de arroyada ni los lentos flujos de arrastre (*creep*) que pueden tanto quedar en ese ámbito o ser el anuncio de despegues súbitos de la masa de suelo comprometida. De acuerdo con lo expresado por González Díaz (2004), que observara una serie de avalanchas hacia el Norte de Comodoro Rivadavia, el factor inductor de estos fenómenos estaría supelementalmente relacionado con precipitaciones bajo condiciones climáticas más húmedas que asigna a tiempos indeterminados de la glaciación cuaternaria, incluyendo entre las probabilidades tiempos posglaciales. Si bien en el lugar hay escasas precipitaciones (aproximadamente unos 261 mm anuales), se destaca en ocasiones su elevada intensidad, lo cual se traduce en problemas de relevancia en particular en lo que se refiere al flujo de lodos y arrastre de sedimentos.

En cuanto a los deslizamientos de ocurrencia súbita o veloz, se verifican los de tipo rotacional y los ocasionados a manera de aluvión, ante las precipitaciones relativamente intensas para la zona. Los primeros se producen según las designadas superficies de rotura, superficies curvas cóncavas. En general estos deslizamientos afectan los estratos arcillosos y en muchas ocasiones se descalzan las areniscas produciéndose la caída de bloques y arcillas de la formación Chenque. Se verifica escasa deformación interna. De acuerdo a Vanes (1978) y Hung et al. (2014) los deslizamientos más frecuentemente observados serían del tipo traslacional (o poco profundos) materializándose eventualmente fallas del tipo rotacional o profundas cuando se moviliza los estratos de arcillitas y tobas. Sin embargo, como en muchos sectores costeros los deslizamientos son complejos observándose desde movimientos en masa de carácter súbito, como las avalanchas, y otros lentos como la reptación, hasta eventos donde se registran los fenómenos de flujo arriba descritos (Schillizzi et al., 2004). Como consecuencia de estos procesos de remoción en masa, la parte superior se desplaza hacia abajo por acción de la gravedad y su coronamiento bascula hacia el escarpe, que resulta en una pared prácticamente vertical y sin sustento, con posibilidad de nuevos movimientos que originan el constante retroceso de la geoforma (Barletta et al., 2009).

## DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS REALIZADAS

El estudio consistió en una recopilación de antecedentes generales y específicos del área de estudio necesarios para analizar la estabilidad de taludes, anclajes y muros propuestos en la etapa de anteproyecto. Para los estudios geológicos, geomorfológicos, topografía general, drenaje, clima, hidrología y vegetación se recurrió al análisis de información disponible en diferentes documentos públicos y a las notas y experiencias previas al estudio elaborado en la Terminal YPF (Abril, 2010), consultándose además pares estereoscópicos (Esc: 1:40000) y diferentes escenas Quick Bird disponibles en el servidor Google Earth. El procesamiento digital de imágenes se efectuó utilizando el *software* IDRISI con el solo objeto de analizar y detectar deslizamientos históricos.

La topografía de la zona fue obtenida a partir de un levantamiento planialtimétrico realizado con estación total generándose curvas de nivel cada 1 metro y con cotas IGM y los datos fueron discretizados mediante *software* específico (CivilCAD) y las coordenadas obtenidas en la etapa de anteproyecto.

El estudio geotécnico fue realizado a partir de seis perforaciones, de las cuales 3 están ubicadas sobre la carretera "Centenario" y 3 en el faldeo Sur del cerro Chenque. A partir de este estudio, complementario de los antecedentes preexistentes del anteproyecto, y a partir del estudio geológico, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los estratos y formaciones que conforman el cerro Chenque (Formación Chenque). La Figura 2 presenta una imagen satelital del sector en estudio donde puede verse la posición de la calle Centenario, el cerro Chenque, el mirador del mismo y al sur la ciudad de Comodoro Rivadavia.

La Figura 3 muestra que el perfil transversal tipo, compuesto por un primer estrato de limo-arcilla con  $N_{spt} < 10$ , un segundo estrato de arcilla con  $N_{spt}$  entre 10 - 25, un tercer estrato de arena con presencia de arenisca con  $N_{spt} > 50$ , el cuarto estrato de arcilla consolidada con  $N_{spt} > 50$  y un estrato de arcilla con  $N_{spt}$  entre 4 y 25. Este último estrato fue dividido en dos, adoptando el criterio del  $N_{spt} < 10$  para uno de ellos y  $10 < N_{spt} < 25$  para el otro (sedimento deslizado 1 y sedimento deslizado 2). Las principales propiedades físicas y mecánicas de cada uno de estos estratos se presentan en la Tabla 1 y los valores fueron adoptados a partir de datos directos y correlaciones utilizando los resultados del estudio de suelo y valores recopilados en el estudio de antecedentes para este lugar (Francisca y Rinaldi, 1997; y Barleta et al., 2009).

Las verificaciones geotécnicas se realizaron en 53 perfiles transversales que se extienden sobre la carretera y que presenta amenaza de inestabilidad (Av. Alsina, Carretera Centenario y camino de acceso al Mirador). Los perfiles se ubicaron de manera prácticamente regular a lo largo de todo el desarrollo del faldón sur del cerro Chenque, lo cual significó generar un modelo numérico cada 25 metros. Para cada uno de los perfiles se realizaron verificaciones de estabilidad, adoptándose parámetros resistentes para cada uno de los estratos. La verificación de la estabilidad global se realizó a partir de la modelación numérica de cada uno de los 53 perfiles considerados inestables. Esta verificación fue elaborada para cada perfil, tanto a corto como a largo plazo. El modelo constitutivo se considera como elastoplástico perfecto para el suelo del tipo Mohr-Coulomb, asignando las propiedades tenso-deformacionales y resistentes de los suelos, en función de los estudios de suelo disponibles.

La herramienta de cálculo utilizada para las verificaciones de estabilidad fue un *software* de cálculo de equilibrio



Figura 2. Vista del faldeo sur del cerro Chenque previo a la intervención proyectada [imagen satelital capturada el 24 de febrero de 2011].

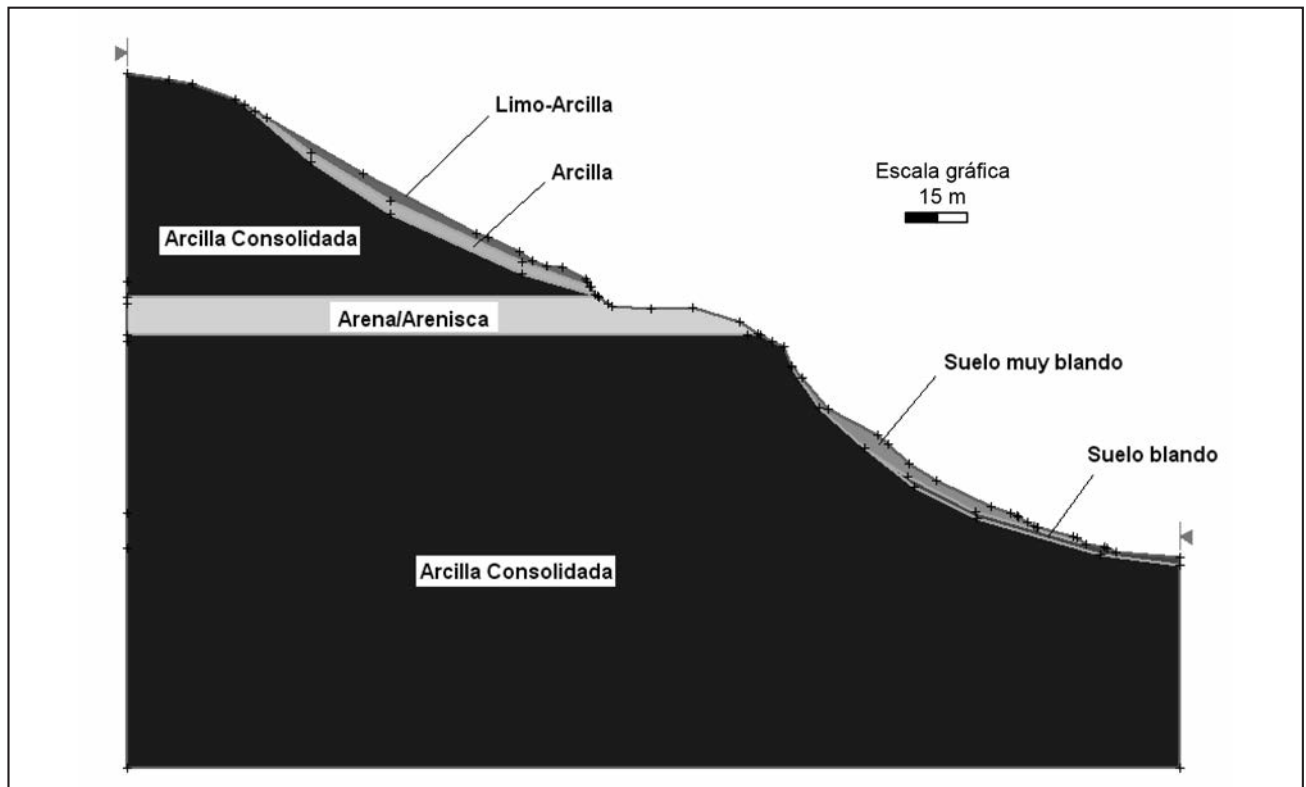


Figura 3. Perfil transversal típico de los modelos desarrollados (se corresponde con el perfil de la latitud 67°29'18.86"O).

Tabla 1. Propiedades físicas y mecánicas adoptadas durante la modelación.

Propiedades de los materiales para verificación a corto plazo			
Estrato	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi$ [°]
Limo - Arcilla	14,1	59	0
Arcilla	14,8	133	0
Arena/Arenisca	19,1	225	0
Arcilla Consolidada	20,0	200	40
Suelo muy blando	15,2	76	0
Suelo blando	18,1	156	0
Propiedades de los materiales para verificación a largo plazo			
Estrato	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]
Limo - Arcilla	14,1	11	31
Arcilla	14,8	11	31
Arena/Arenisca	19,1	10	39
Arcilla Consolidada	20,0	200	40
Suelo muy blando	15,2	12	28
Suelo blando	18,1	15	28

límite, y de análisis de estabilidad de taludes/laderas que trabaja con análisis de estado plano (2D). Se caracteriza por tener un CAD basado en interfaz gráfica, con una amplia variedad de modelos y opciones de interpretación de datos, las que permiten realizar análisis completos y rápidos. El programa analiza la estabilidad en superficies de deslizamientos usando métodos determinísticos de equilibrio límite con slicings verticales y

permite aplicar diferentes métodos de análisis para el cálculo del factor de seguridad. El método utilizado en este trabajo para la obtención de los factores de seguridad en los modelos realizados es el propuesto por *Spencer (1967)*. Como criterio de diseño, se adoptó un factor de seguridad de 1,50 bajo condiciones de cargas permanentes para todas las obras proyectadas por debajo de la carretera Centenario y un factor de seguridad de

1,30 para los estratos que están por encima de la misma. La Figura 3 muestra una sección tipo modelada.

Por otro lado, se desarrollaron modelos más sofisticados para lo cual se utilizó el método de elementos finitos. A partir de estos modelos, se pudo verificar además el comportamiento de los muros propuestos, evaluar la influencia de la interacción suelo-estructura y cuantificar los desplazamientos esperados en los muros con bulones. La ventaja de estos modelos radica en la posibilidad de determinar, además del factor de seguridad frente a potenciales deslizamientos, el comportamiento tenso-deformacional de todos los elementos componentes del sistema modelado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto de estabilización del cerro Chenque en el sector considerado comprende tareas de movimiento de suelo y roca, con el objeto de obtener un perfil estable en el faldeo Sur, diseñándose perfiles consistentes en bermas y muros de contención. El diseño se caracteriza por tener un ángulo medio de inclinación de  $29^\circ$  para el sistema, estando constituido por bermas de 4,5m de ancho con taludes con una pendiente 1:1,15 y una altura de 8,25m entre bermas. En todos los casos, los perfiles de diseño se obtienen con excavación (no hay relleno) y, cuando la pendiente natural de las laderas en el cerro resulta

satisfactoria desde el punto de vista de la seguridad, no se realizan obras de reperfilado sobre el mismo.

Como condicionantes del diseño, se consideró la imposibilidad de mover la línea de edificación o construcciones actuales, minimizar el movimiento de suelo para lograr los factores de seguridad recomendados en la ingeniería geotécnica, la imposibilidad de modificar la traza de la calle Centenario y minimizar los movimientos de suelo asociados a la reubicación del mirador y sus accesos. Debido a la limitación física de cambiar la traza de la calle y posición del mirador en sectores fue necesario el perfilado del talud mediante un corte prácticamente vertical. Debido a esto, se generó un corte en roca con altura variable de hasta 20m en zonas próximas al camino mencionado. A pesar de que el sector es estable sin tratamiento alguno debido a la presencia del banco de areniscas, se colocó un muro de hormigón proyectado para evitar los procesos de alteración en la roca observados regionalmente.

La Figura 4 presenta los resultados de modelos de estabilidad global utilizando el método de equilibrio límite de una sección típica sin muro de contención. La Figura 4a presenta los resultados de un modelo de la configuración o geometría original de la ladera donde el factor de seguridad obtenido FS fue de 1,009 (menor a lo recomendado), mientras que la Figura 4b presenta los resultados obtenidos para la sección proyectada

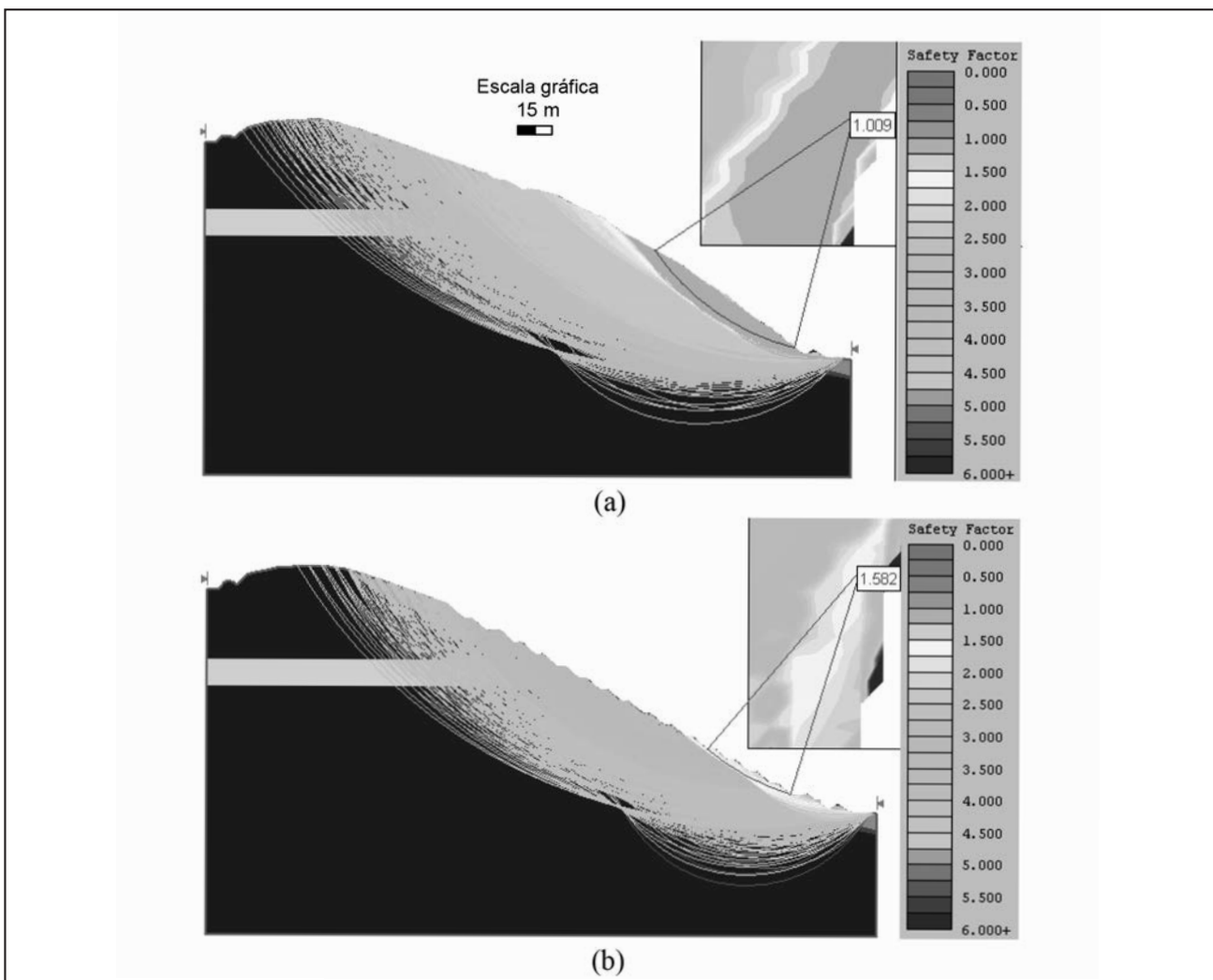


Figura 4. Verificación de estabilidad a largo plazo en sección sin muro de contención: (a) terreno natural y (b) sección propuesta.

resultando un  $FS = 1,582$ . La presencia de las bermas permitió mantener una pendiente media que satisfaga los niveles de seguridad adecuados y minimizar el movimiento de suelo. La altura de las bermas se determinó evaluando la posibilidad de ocurrencia de fallas de tipo local en las bermas cuya pendiente en los taludes es más elevada como se mencionara precedentemente.

Los muros de contención planificados consisten en cortes en la roca con una pendiente de  $10^\circ$  con respecto a la dirección vertical, y la posterior construcción de un muro con hormigón proyectado con malla.

Estos muros son de altura variable, con un máximo de 20m, y se encuentran reforzados con anclajes pasivos consistentes en barras de acero de 32mm, con una longitud máxima de 12m. La Tabla 2 presenta la separación adoptada para los anclajes en muros de distintas alturas. La separación y longitud de los anclajes se fijó de manera de minimizar los metros de anclaje y garantizar la estabilidad de los cortes frente a posibles fallas locales (del propio muro) y globales (del talud en general). Estos muros se generan con el objeto de no replantar la calle Centenario, ubicada en la parte alta de la ladera, y con el objeto de minimizar el movimiento de suelo aprovechando la presencia del estrato de areniscas (en gran parte del desarrollo de la ladera) cuyas características geológicas y geotécnicas indican que resulta factible mantener este tipo de corte si se realiza una protección contra la erosión, función que se cumple con el muro proyectado.

El proyecto especifica que los taludes deben ser revestidos y protegidos contra la erosión mediante un sistema de hidrosiembra, pudiendo colocarse geosintéticos que cumplan la función de protección temporaria hasta tanto la hidrosiembra permita el desarrollo de vegetación autóctona que proteja el talud. Para evitar la acumulación de agua detrás del hormigón, se colocarán sistemas de drenes que cumplirán la función de evacuar el agua que acumulada en la arenisca y la arcilla, detrás del hormigón. Consistirán en perforaciones inclinadas  $20^\circ$  con respecto a la horizontal, siendo el punto más bajo el lugar por donde afloraría el agua en el faldeo del cerro. Estas perforaciones tendrán un diámetro mínimo de 65mm y una longitud mínima de 4m, pudiendo extenderse hasta una longitud

máxima aproximada de 7m en la posición de los muros de mayor altura y con una separación de 5m entre sí. En estas perforaciones se colocará un tubo de PVC ranurado protegido por un geotextil que cumple la función de separación y filtro.

Para tener en cuenta posibles acciones transitorias durante la construcción, se verificaron las secciones y bermas a corto plazo, suponiendo una carga de  $W_{m\acute{a}q} = 100$  kN aplicada sobre una superficie de  $10m^2$ . La tensión equivalente ( $\sigma_{equiv}$ ) aplicada sobre la berma es de  $10$  kN/m<sup>2</sup>. Los resultados indican que la berma es estable frente a cargas temporales, obteniéndose un factor de seguridad adecuado en todos los casos. De la misma manera, se verificó la capacidad portante de la berma de ancho 4,50m y el peso de la maquinaria  $W_{m\acute{a}q}$  para lo cual se utilizó la solución *Meyerhof (1957)* y las formulaciones propuestas por *Hansen (1970)* y *Vesic (1975)*. En todos los casos, los factores de seguridad resultaron satisfactorios.

La Figura 5 presenta los resultados de modelos de estabilidad global utilizando el método de equilibrio límite de una sección típica con muro de contención. La Figura 5a presenta los resultados para la geometría original de la ladera, obteniéndose un  $FS=1,195$  (menor a lo recomendado). La Figura 5b presenta los resultados obtenidos para la sección proyectada resultando un  $FS = 2,212$ .

La verificación de la estabilidad local del sistema muro-anclaje se realizó a partir de la modelación numérica de perfiles transversales considerados como inestables previo a la construcción del muro y anclajes. Dichos modelos consideran un modelo constitutivo elastoplástico perfecto para el suelo de tipo Mohr-Coulomb. La herramienta de cálculo utilizada para las verificaciones fue un modelo numérico en elementos finitos.

La Figura 6 presenta un resultado de las verificaciones mediante elementos finitos de la estabilidad muro-anclaje. En todos los casos modelados, los factores de seguridad resultaron  $FS > 1,5$ , debiendo colocarse mayor cantidad de anclajes y de mayor longitud a medida que el corte vertical se hace más alto (Tabla 2). De esta manera, las secciones con muros de hormigón proyectado se diseñaron con una inclinación de  $10^\circ$  con relación a la vertical, mientras que la inclinación adoptada para los anclajes fue de  $25^\circ$  y el espesor del muro necesario es de 20cm (Ver detalles en Figura 7).

**Tabla 2. Resultados obtenidos en modelaciones evaluadas.**

$H_{muro}$ [m]	Nº de anclajes	Separación horizontal [m]	Separación vertical [m]	$L_{anclaje}$ [m]	Anclaje	$F_{axial}$ [T]
11 m < H < 14 m	3	4	3	8	Superior	3,4
					Medio	8,6
14 m < H < 17 m	4	3	3	10	Superior	4,1
					Medio	13,7
17 m < H < 19 m	5	3	3	12	Superior	3,7
					Medio	9,5
19 m < H < 20 m	6	3	3	12	Superior	3,7
					Medio	13,9



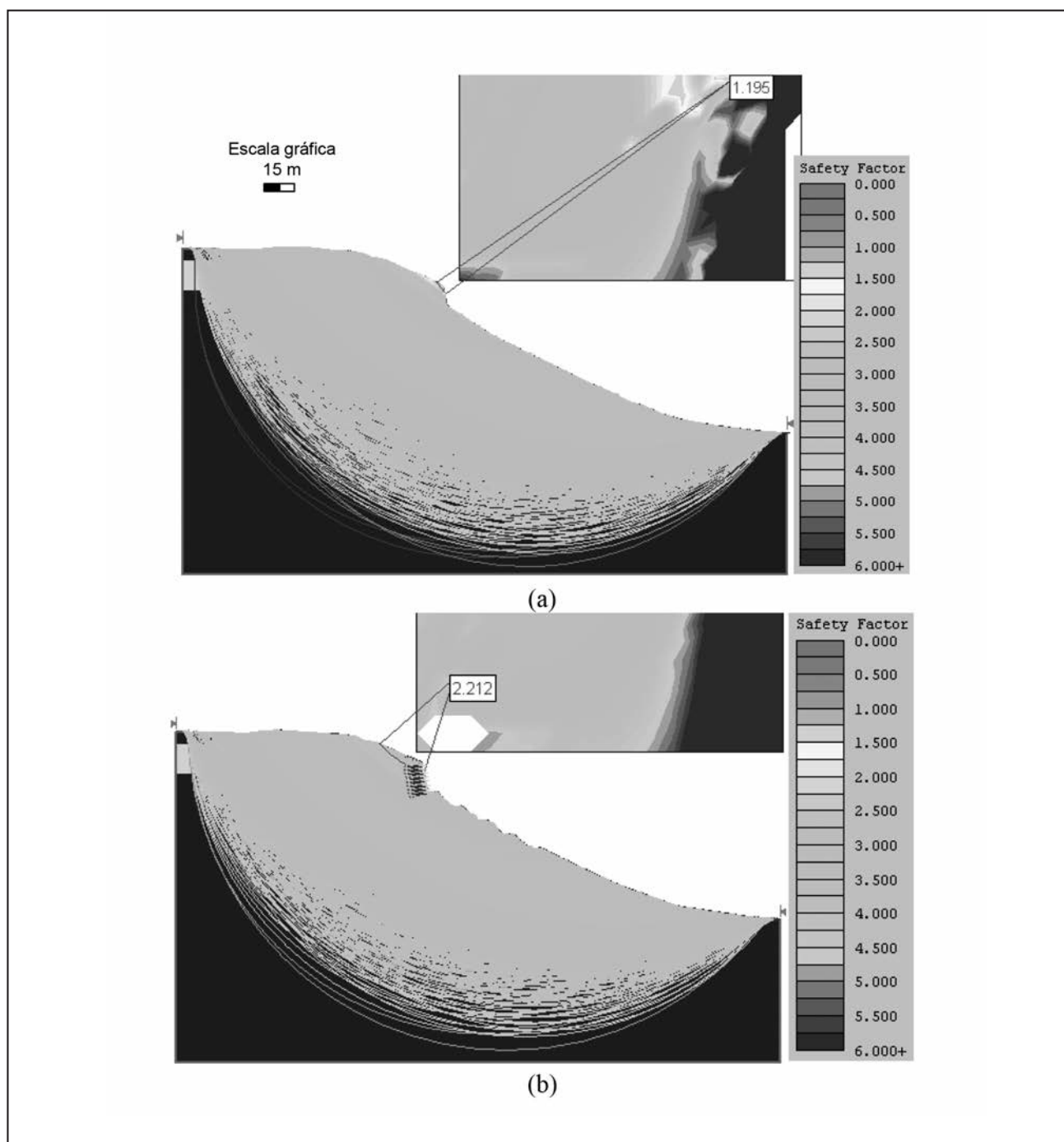


Figura 5. Verificación de estabilidad a largo plazo en sección con muro de contención: (a) terreno natural y (b) sección propuesta.

El diseño de los anclajes incluyó además verificaciones del área de acero mecánica, para lo cual se mayoraron (aumentaron) las cargas de tracción obtenidas en el modelo de elementos finitos mediante un factor de 1,50 (lo cual supone anclajes permanentes). Se realizó además la verificación frente al deslizamiento de la barra de anclaje-bulbo, el arrancamiento del bulbo y la resistencia de la placa de apoyo del anclaje, verificando que la tensión de corte actuante sea menor a la tensión de corte admisible del acero. La Figura 8 muestra un detalle de la geometría propuesta para los anclajes, placa de apoyo y muro de hormigón proyectado.

Finalmente, se destaca que el proyecto resultó aprobado y se comenzó a materializar la construcción desde el 2012 hasta fines del 2014. La Figura 9 presenta una imagen satelital donde puede verse el faldeo Sur del cerro Chenque con las bermas propuestas construidas. La comparación entre las Figuras 9 y 2 permite evidenciar la magnitud del proyecto. La solución implementada ha contribuido a reducir la amenaza de deslizamientos que pongan en riesgo a las personas y construcciones civiles en el Norte de la ciudad de Comodoro Rivadavia.

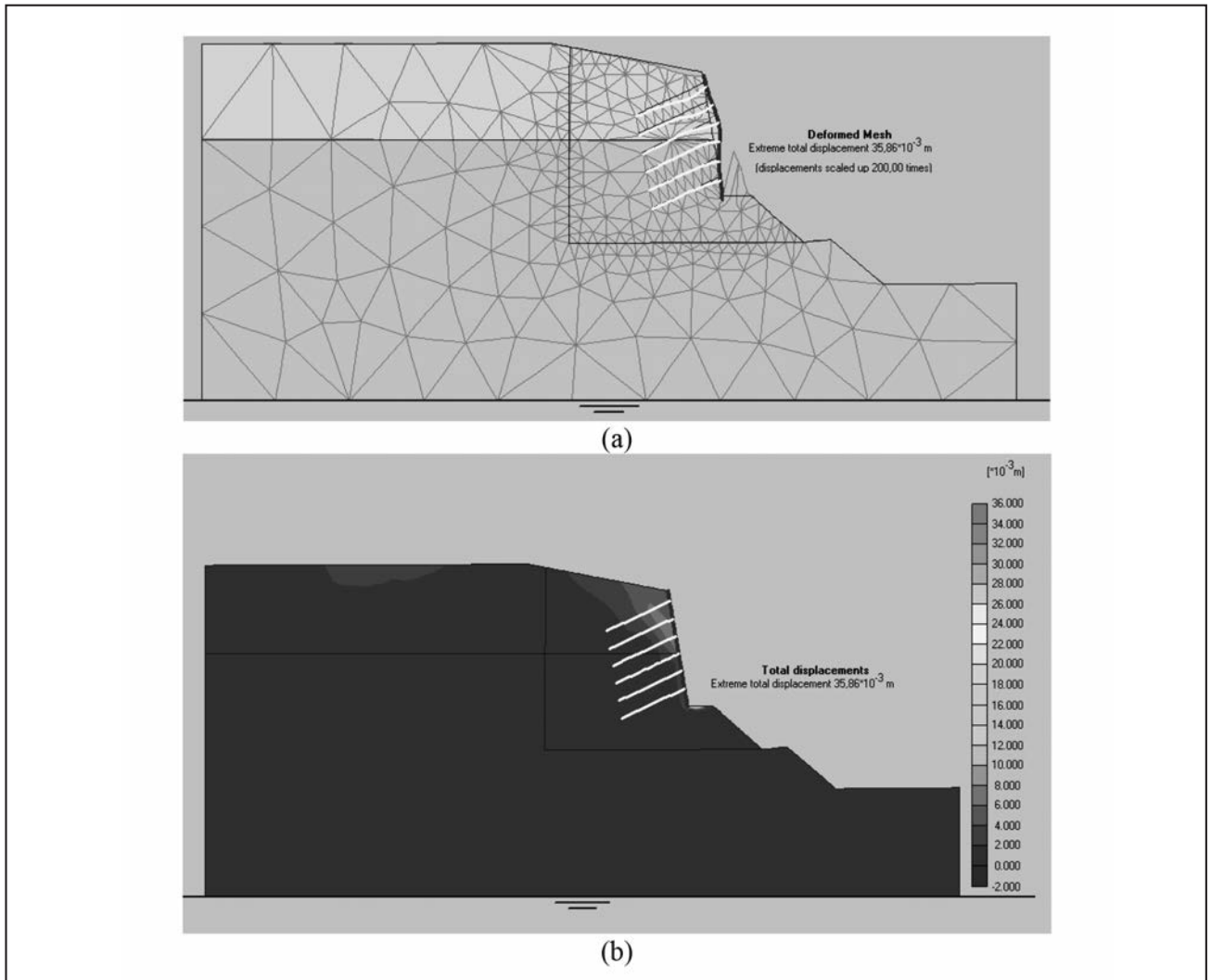


Figura 6. Verificación de estabilidad a largo plazo del Perfil 1 (P1). (a) deformación de la malla =  $35,86 \times 10^{-3} \text{ m}$ ; (b) desplazamientos totales =  $35,86 \times 10^{-3} \text{ m}$  (Altura del muro con anclajes = 20 m).

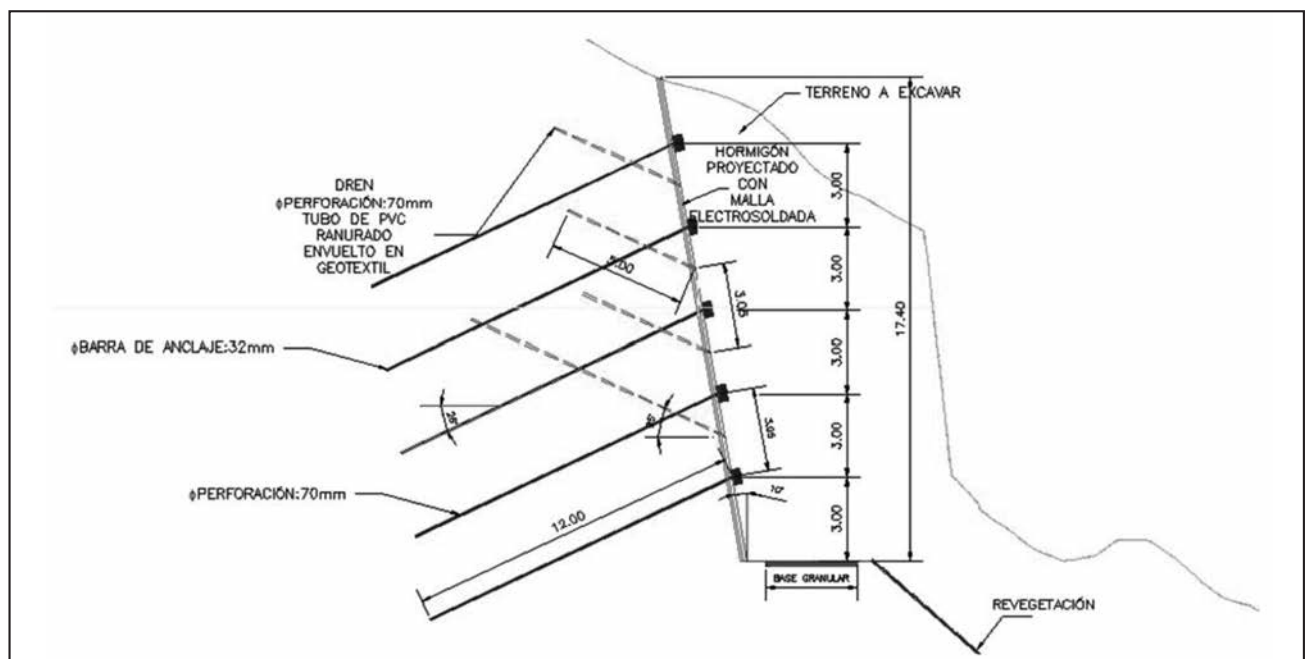


Figura 7. Distribución de bulones propuesta para muros con altura entre 14 y 17m.

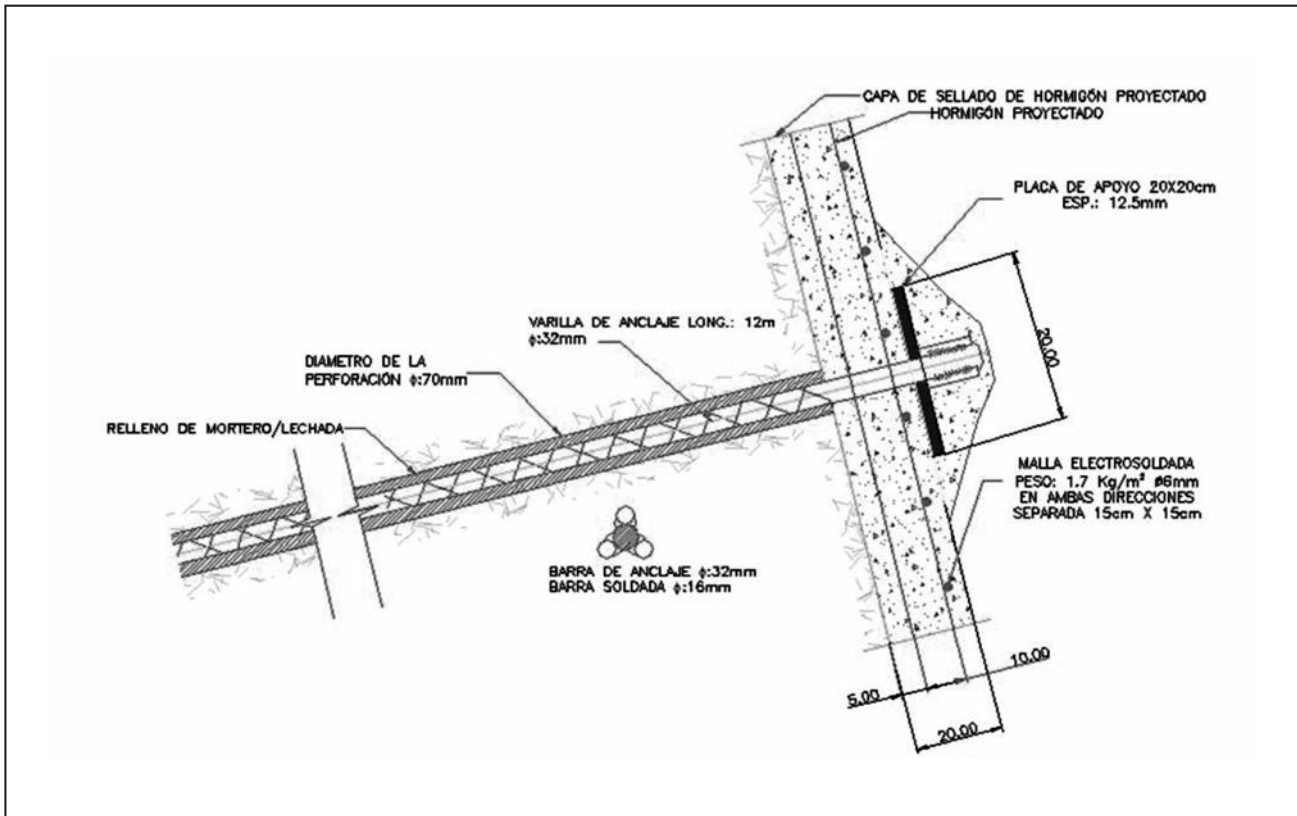


Figura 8. Detalle de los anclajes propuestos..

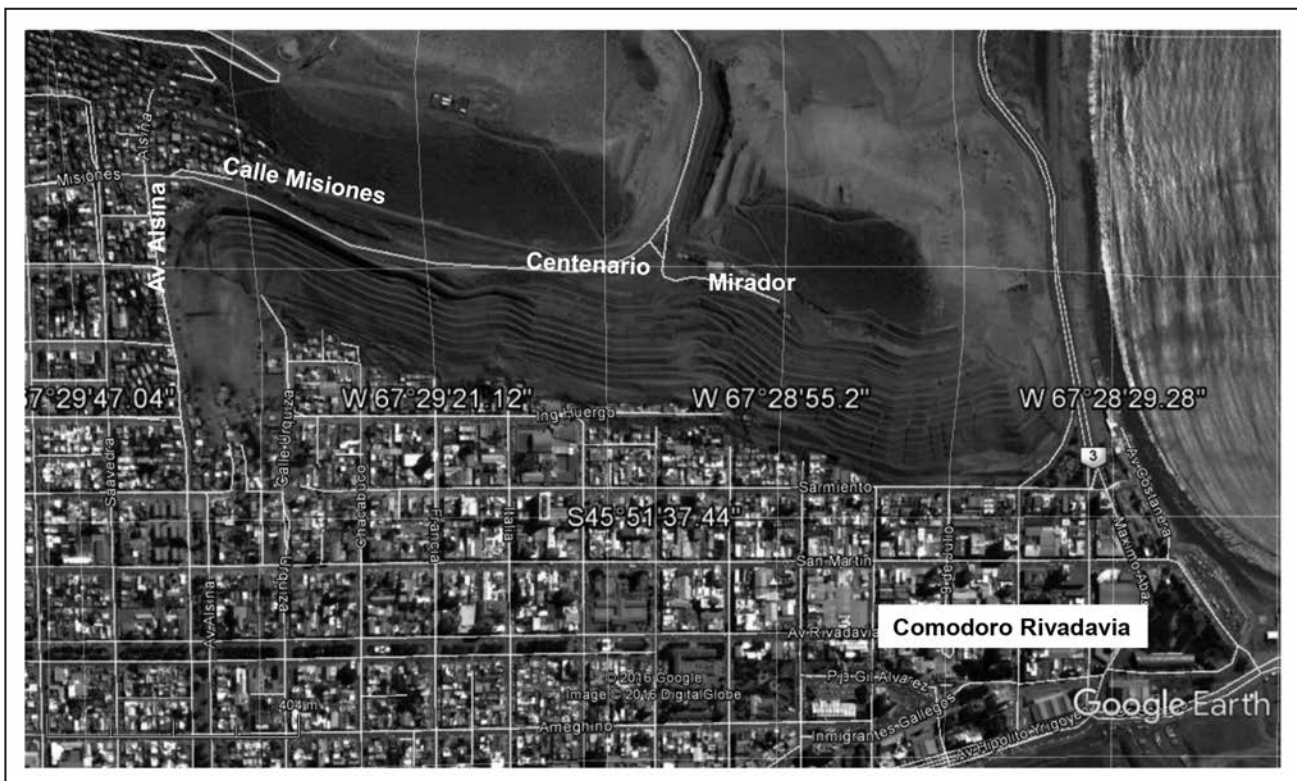


Figura 9. Vista del faldeo sur del cerro Chenque con los resultados de la intervención proyectada (imagen satelital capturada el 3 de octubre de 2016).

## SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta un caso histórico de solución a problemas de inestabilidades de laderas que han venido ocurriendo en el cerro Chenque desde el siglo pasado. El trabajo consistió en analizar información geotécnica, geológica, geomorfológica, topográfica, hidrológica y de anteproyecto, con el objeto de desarrollar el proyecto ejecutivo para la estabilización del cerro. Se realizaron modelaciones numéricas de los taludes proyectados con el objeto de verificar la estabilidad global y local. El proyecto consistió en modificar el perfil natural de la ladera sur del cerro, diseñando aterrazamientos y protecciones con muros de hormigón proyectado y anclajes metálicos. Los resultados obtenidos permitieron diseñar los taludes con pendientes que eviten el desarrollo de fallas tanto del tipo planas como en cuña. En los sectores más comprometidos se debió proyectar muros de hormigón proyectado con anclajes pasivos para lograr la seguridad necesaria frente a posibles deslizamientos locales. Los factores de seguridad calculados para el escenario sin intervención resultaron en todos los casos menores a los recomendados. A modo de ejemplo, la intervención proyectada permitió mejorar la seguridad frente a posibles deslizamientos de un  $FS = 1,195$  (menor a lo recomendado) hasta un  $FS = 2,212$  luego de la intervención proyectada (Figura 5).

Los taludes propuestos tienen un ángulo medio de inclinación de  $29^\circ$ , y comprende bermas de 4,5 metros de ancho con taludes que poseen una pendiente 1:1,15 separadas cada 8,25 metros de altura. En los sectores más comprometidos donde debió colocarse muros de hormigón proyectado, los mismos presentaron una inclinación de  $10^\circ$  con respecto a la vertical, mientras que la inclinación de los anclajes adoptada fue de  $25^\circ$

con respecto a la horizontal. Las soluciones propuestas permitieron lograr una geometría nueva para el faldeo con factores de seguridad frente a fallas locales y deslizamientos globales adecuados de acuerdo a lo recomendado en la práctica de la ingeniería geotécnica, tanto para verificaciones a largo plazo como a corto plazo. Todos los factores de seguridad frente a posibles fallas o deslizamientos con la geometría propuesta resultaron  $FS > 1,5$ . De igual modo, en las verificaciones de estabilidad local del sistema muro-anclaje en todos los casos los factores de seguridad también resultaron  $FS > 1,5$ .

El diseño de los anclajes incluyó además verificaciones del área de acero mecánica, para lo cual se mayoraron (aumentaron) las cargas de tracción obtenidas en el modelo de elementos finitos mediante un factor de 1,50 (lo cual supone anclajes permanentes). Se realizó además la verificación frente al deslizamiento de la barra de anclaje-bulbo, el arrancamiento del bulbo y la resistencia de la placa de apoyo del anclaje, verificando que la tensión de corte actuante sea menor a la tensión de corte admisible del acero. La Figura 8 muestra un detalle de la geometría propuesta para los anclajes, placa de apoyo y muro de hormigón proyectado.

Para que las soluciones proyectadas puedan materializarse se requiere de la protección de los taludes frente a posibles mecanismos de erosión por el escurrimiento superficial de agua de lluvia.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba y al CONICET.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ABRIL, E.G., 2010.

Consideraciones geotécnicas sobre el riesgo geológico en la ladera Sur del Co Chenque (Chubut).  
*Informe técnico inédito. Laboratorio de Geotecnia - Área Sensores Remotos. Universidad Nacional de Córdoba.*

BARLETTA, R.H., CAPDEVILA, E.O., FLORES, R.M., GALAZZI G.A. Y MASSABIE, A.C. 2009.

Estabilidad de taludes del faldeo Sur del Cerro Chenque.  
*Informe Técnico IATASA.*

BELLOSI, E.S., 1990.

Formación Chenque: registro de la transgresión patagónica en la Cuenca San Jorge.  
*Actas XI Congreso Geológico Argentino, Vol. 2: 57-60.*

FERUGLIO, E., 1949.

Descripción Geológica de la Patagonia.  
*Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, 334 pp. Coni.*

FRANCISCA F.M. Y RINALDI V.A., 1997.

Evaluación del Deslizamiento de un Talud Mediante Métodos no Destructivos,  
*XIII Congreso Anual de Ingenieros Geotécnicos Argentinos GT'97, Vol. 1: II.1/1-II.1/16.*

FRENGUELLI, J., 1929.

Apuntes de geología patagónica. Descripción de algunos perfiles de la zona petrolífera de Comodoro Rivadavia.  
*Boletín de Informaciones Petroleras Vol. 59: 575-605.*

GONZÁLEZ DÍAZ, E.F., 2004.

La extensa zona de deslizamientos de la escarpa oriental de la Pampa de Salamanca, Chubut, entre los  $45^\circ 00' S$  y  $45^\circ 45' S$ .  
*Rev. Asoc. Geol. Argent. Vol. 59(4): 743-762.*

HANSEN, J.B., 1970.

A revised and extended formula for bearing capacity,  
*Highway Capacity Manual Bulletin 28: 5-12.*

HIRTZ, N., GRIZINIK M. Y BLACHAKIS, A., 2000.

Evaluación geohidrológica aplicada al desarrollo urbano de la ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.  
*XI Congreso Brasileiro de Águas Subterráneas, Vol.1: 1-17, San Pablo.*

- HUNGR, O., LEROUÉIL, S. Y PICARELLI, L., 2014.  
The Varnes classification of landslide types, an update.  
*Landslides*, Vol. 11(2): 167-194.
- MEYERHOF, G.G., 1957.  
The ultimate bearing capacity of foundations on slopes,  
*IV International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.1: 384-386, London.
- PAREDES, J. Y COLOMBO, F., 2001.  
Sedimentología de la Formación Chenque (Oligoceno-Mioceno) en Comodoro Rivadavia. Argentina.  
*Geogaceta*, 30: 103-106.
- SCHILLIZZI, R., GELOS, E.M. Y SPAGNUOLO, J., 2004.  
Procesos de retracción de los acantilados patagónicos entre la desembocadura de los ríos Negro y Chubut. Argentina.  
*Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 11(1): 17-26.
- SCIUTTO, J.C., CÉSARI, O. Y ESCRIBANO, V., 1999.  
Hoja Geológica 4566-III. Comodoro Rivadavia, Provincia de Chubut.  
*Servicio Geológico Minero Argentino*.
- SPENCER, E., 1967.  
A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces.  
*Geotechnique*, Vol. 18: 11-26.
- VARNES, D.J., 1978.  
Slope movement types and processes.  
*Transportation Research Board Special Report No. 176*.
- VESIC, A.S., 1975.  
Bearing capacity of shallow foundations,  
*in Foundation Engineering Handbook*, H.F. Winterkorn & H.Y. Fang (Eds.), Van Nostrand Reinhold, New York.



## Evaluación de las concentraciones de fluoruro en el agua subterránea del valle central de Catamarca

## Evaluation of fluoride concentrations in the groundwater of the central valley of Catamarca

Segura, Luis<sup>1,4</sup> ✉ - Saracho, Marta<sup>2,4</sup> - Lobo, Patricia<sup>3,4</sup> - Agüero, Nahuel<sup>2,4</sup>

Recibido: 18 de marzo de 2017 • Aceptado: 02 de mayo de 2017

### Resumen

*La población del Valle Central de Catamarca (VCC), por el déficit hídrico, utiliza principalmente el agua subterránea para su abastecimiento. La concentración de fluoruro en el agua de bebida previene las caries dentales, pero en exceso puede provocar serios daños en la salud. Los objetivos del trabajo son conocer las concentraciones de fluoruro en el agua subterránea del VCC y determinar si se ajustan a las normas vigentes sobre agua potable, según la temperatura media anual del área de estudio. El monitoreo fue realizado por un período de dos años. Se analizaron las características de las perforaciones y la litología de los acuíferos en explotación. La temperatura media anual en VCC varía entre 18°C en las zonas serranas norte y oeste y 22°C en las zonas deprimidas central y sur. Las concentraciones de fluoruros según departamento oscilan en Paclín entre 0,5 mg.l<sup>-1</sup> y 2,0 mg.l<sup>-1</sup>; en Capayán entre 0,4 mg.l<sup>-1</sup> y 1,9 mg.l<sup>-1</sup>; en Valle Viejo entre 0,5 mg.l<sup>-1</sup> y 1,1 mg.l<sup>-1</sup>; y en Capital entre 0,4 mg.l<sup>-1</sup> y 0,9 mg.l<sup>-1</sup>. Las concentraciones medias de fluoruro en el agua subterránea varían entre 0,4 mg.l<sup>-1</sup> y 0,9 mg.l<sup>-1</sup> con valores extremos de 1,9 mg.l<sup>-1</sup> y 2,0 mg.l<sup>-1</sup> en coincidencia con las características litológicas del acuífero en estudio. Se determinó, en función de los límites fijados por el Código Alimentario Argentino para este ion, de acuerdo a la temperatura media anual del área de estudio, que el 23,7% de las concentraciones detectadas en las perforaciones monitoreadas se ajustan a dicha normativa, mientras que el 12% exceden el límite superior.*

**Palabras Clave:** Fluoruro - Agua Subterránea - Valle Central de Catamarca.

### Abstract

*The population of the Central Valley of Catamarca (VCC), by water deficit, mainly uses groundwater for its supply. The concentration of fluoride in drinking water prevents tooth decay, but in excess can cause serious health damage. The objectives of the study are to know the concentrations of fluoride in the VCC groundwater and to determine if they comply with current standards on drinking water, according to the average annual temperature of the study area.. Monitoring was conducted for a period of two years. The characteristics of the perforations and lithology of aquifers in operation were analyzed. The average annual temperature in*

1. Facultad de Humanidades, UNCa. Avda Belgrano 300. 4700 Catamarca, Argentina. Tel. 0383 154674335.

✉ geosegura\_luis@yahoo.com.ar

2.. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

3. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. UNCa.

4. Subsecretaría de Planificación de los Recursos Hídricos de Catamarca. Gobierno de la Provincia de Catamarca.

VCC varies between 18°C in the north and west mountain areas and 22°C in the central and southern depressed areas. Fluoride concentrations per department range from 0.5 mg.l<sup>-1</sup> to 2.0 mg.l<sup>-1</sup> in Paclín; In Capayán between 0.4 mg.l<sup>-1</sup> and 1.9 mg.l<sup>-1</sup>; In Valle Viejo between 0.5 mg.l<sup>-1</sup> and 1.1 mg.l<sup>-1</sup>; And in Capital between 0.4 mg.l<sup>-1</sup> and 0.9 mg.l<sup>-1</sup>. The average concentrations of fluoride in groundwater range from 0.4 mg.l<sup>-1</sup> to 0.9 mg.l<sup>-1</sup> with the extreme values of 1.9 mg.l<sup>-1</sup> and 2.0 mg.l<sup>-1</sup> in coincidence with the lithological characteristics of the aquifer under study. According to the limits established by the CAA for this ion, according to the average annual temperature of the study area, 23.7% of the concentrations detected in the monitored perforations were found to conform to this norm, while 12% exceed the upper limit.

**Keywords:** Fluoride - groundwater - Central Valley of Catamarca.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Una de las preocupaciones de la salud pública es la prevalencia de caries dentales en la población, fundamentalmente en niños y adolescentes. La Organización Mundial de la Salud (OMS) plantea que las caries continúa siendo un importante problema de salud a nivel mundial, tanto por su magnitud, como por el impacto que provocan en la calidad de vida de la población. Uno de los factores que incide en esta problemática es la concentración de flúor en el agua de bebida (*United States Environmental Protection Agency, 2010*).

El flúor es el 14° elemento más abundante en la litósfera, participando en la composición de todo tipo de rocas. Las mayores concentraciones (3%) se dan en rocas magmáticas ricas en sílice y álcali. En rocas sedimentarias la concentración de fluoruro depende mucho de la presencia de minerales micáceos y fosfatos. En la hidrósfera el fluoruro se presenta principalmente en forma iónica como fluoruro. Los tenores de calcio y magnesio son los principales factores que controlan la concentración de fluoruro en las aguas naturales, la presencia de calcio inhibe mientras que la de sodio facilita una mayor concentración de fluoruro (*Seoane Borracer y Silva Busso, 2005*). Estudios epidemiológicos en comunidades que consumen agua con una concentración de fluoruro de 1ppm, reportan una menor incidencia de caries dentales (*Guerrero et al., 1983; Miñana, 2010*).

Los principales procesos de aporte de fluoruro al agua son: disolución / precipitación de fluoruro de calcio (CaF<sub>2</sub>) o la apatita Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(F,OH) (*Custodio y Llamas, 1983*) y/o a través del intercambio iónico en sedimentos arcillosos o ricos en materia orgánica (*Labermo, 1987*).

El Valle Central de Catamarca está integrado por los departamentos Paclín, Capital, Valle Viejo, Capayán, Fray Marmerto Esquiú y Ambato. Estos dos últimos no cuentan con explotaciones subterráneas para agua potable. El área de estudio forma parte de la diagonal árida sudamericana caracterizada por predominio de aire seco, altos coeficientes de heliofanía y precipitaciones escasas de régimen pluvio-estival, en el marco de la Provincia Geológica de las Sierras Pampeanas Occidentales.

El valle de Paclín, apéndice norte del Valle Central de Catamarca, tiene un origen tectónico y se encuentra delimitado al este por la Sierra de Guayamba y al oeste por la Sierra Graciana, ambas constituidas por rocas metamórficas de alto grado de metamorfismo, gneises, migmatitas y esquistos inyectados. Al pie de ambas sierras se han identificado fanglomerados del Pleistoceno de la Formación (Fm) Concepción (*Nulló, 1981; Blanco et al., 1995*). Al sur de la localidad de Amadores se han

observado también sedimentos constituidos por fanglomerados, arenas y limos de la Fm Coneta (*Nulló, 1981*), correspondiente al Holoceno Inferior. Las captaciones subterráneas ubicadas en el departamento Paclín explotan sedimentos constituidos por depósitos aluviales aportados por el río homónimo y algunos escasos afluentes.

Los departamentos Capital, Valle Viejo y Capayán se sitúan en una depresión de origen tectónico, delimitada al naciente por las sierras El Alto-Ancasti constituidas principalmente por rocas metamórficas de alto grado del Precámbrico-Paleozoico inferior y de alto grado de metamorfismo y plutonitas graníticas del Paleozoico medio (*Blasco et al., 1995*). Al poniente se ubica la sierra de Ambato-Manchao de similar composición litológica que las de El Alto-Ancasti y por el norte las serranías del Fariñango constituidas por esquistos, gneises y migmatitas del Precámbrico-Paleozoico inferior. El límite sur del Valle Central de Catamarca está dado por los valles riojanos compuestos por depósitos aluviales y eólicos del Cuaternario.

En la depresión tectónica del Valle Central de Catamarca y adosados al pie de las sierras El Alto-Ancasti y Ambato-Manchao se encuentran sedimentos fanglomerádico de la Fm Concepción del Pleistoceno. En niveles topográficos más bajos a ésta se ubican fanglomerados, arenas y limos de la Fm Coneta del Holoceno inferior. Paralelo a los ejes longitudinales de los cursos superficiales más importantes se identifican depósitos aluviales y en menor medida depósitos eólicos del Holoceno superior. Cubriendo la mayor superficie del VCC se encuentran depósitos cuaternarios indiferenciados del Holoceno. El Terciario aflorante constituido por areniscas y tobas del Araucanense (Mioceno superior) está muy restringido al pie de las sierras El Alto-Ancasti (*Blasco et al., 1995*).

Considerando la problemática originada por la concentración del fluoruro en agua de consumo, los objetivos de este trabajo son conocer las concentraciones de fluoruro en las fuentes de aguas subterráneas del Valle Central de Catamarca y determinar si las mismas se ajustan a las normas vigentes sobre agua para consumo humano, teniendo en cuenta la temperatura media del área geográfica de estudio.

## METODOLOGIA

El monitoreo fue realizado en 42 captaciones subterráneas utilizadas como fuente de abastecimiento para consumo humano, ubicadas en los departamentos Paclín, Capayán, Valle Viejo y Capital que integran el Valle Central de Catamarca, por un período de dos años.

En la figura 1 se muestra la ubicación georeferenciada de las perforaciones estudiadas en el área de estudio.

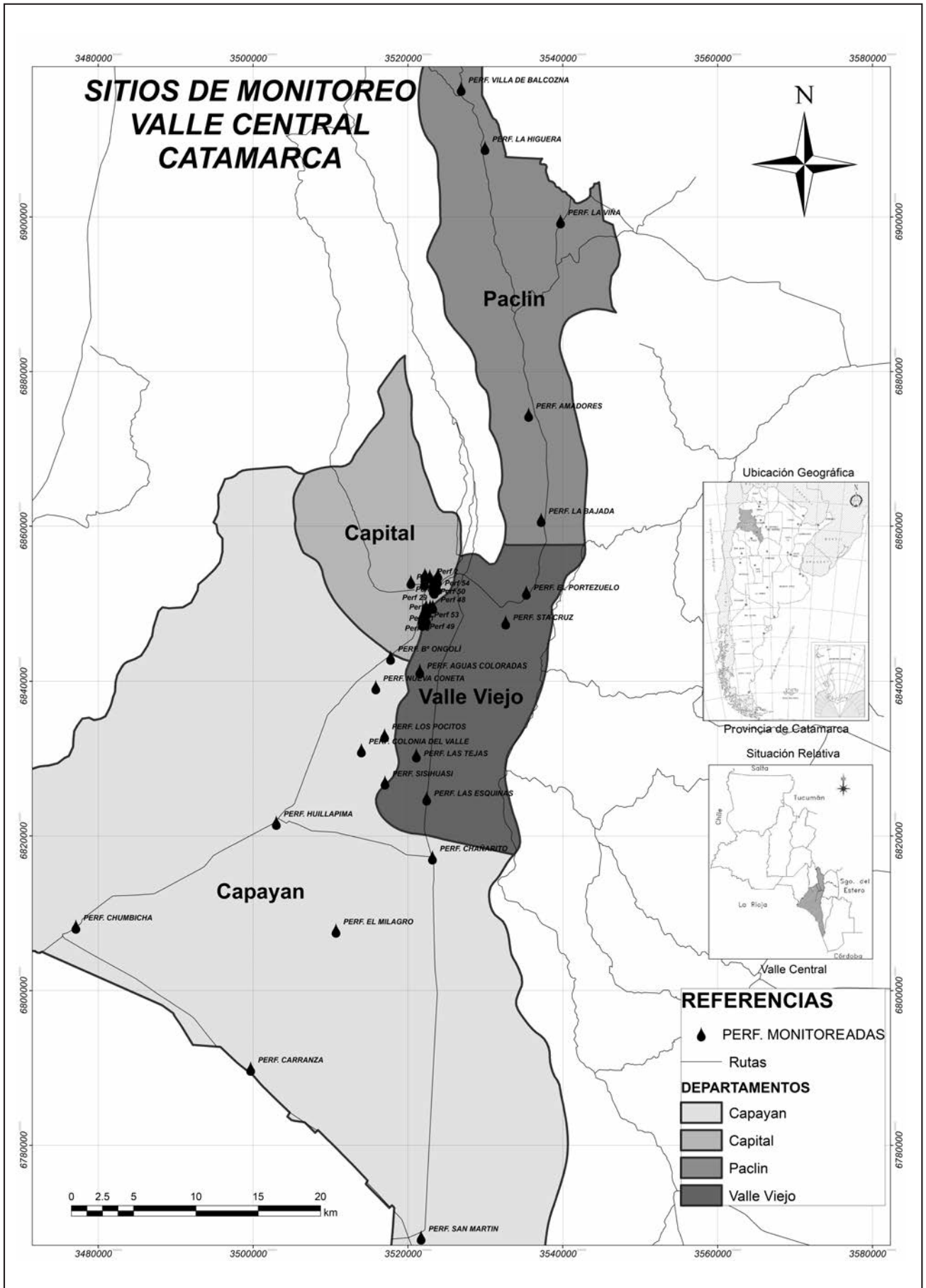


Figura 1. Área de estudio. Perforaciones monitoreadas.



Se analizaron las características generales de las perforaciones y la litología de los acuíferos en explotación. Los datos de temperatura fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional y del INTA Sumalao-Valle Viejo. Las muestras fueron extraídas con una frecuencia cuatrimestral y analizadas según técnicas estándares.

Los resultados obtenidos fueron procesados estadísticamente y analizados en función de las guías para la calidad de agua potable de la OMS (2006) y del Código Alimentario Argentino (1994 y su modificación del 2012). Se consideró los límites fijados para la concentración de este ión por la legislación argentina, en función de la temperatura media anual del área estudiada, que tiene en cuenta el consumo diario del agua de bebida.

### RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION

Las captaciones subterráneas en el Valle Central de Catamarca presentan materiales permeables de origen aluvial, litológicamente constituidos por rodados, gravas, gravillas y arenas compuesto principalmente de cuarzo, feldespato, mica y restos de rocas graníticas y metamórficas, con muy escasa proporción de fracciones finas conformadas por limos y arcillas de origen eólico (Segura et al., 2005). Las profundidades de las perforaciones en explotación para abastecimiento de agua potable en el área de estudio, oscilan entre los 40 m en el departamento Paclín y los 220 m en el departamento Capital. La temperatura media

anual en el Valle Central de Catamarca varía entre los 18°C en las zonas serranas norte y oeste y los 22°C en las zonas deprimidas central y sur.

En la figura 2 se muestran las concentraciones medias del ión flúor en las perforaciones estudiadas del departamento Paclín, utilizadas como fuente de abastecimiento para consumo humano. El valor medio de la concentración del ión analizado en las muestras extraídas de la perforación ubicada en la localidad de Amadores, con 2 mg.l<sup>-1</sup>, supera tanto el límite superior fijado por el CAA para una temperatura media anual de 17,7°C que es de 1,2 mg.l<sup>-1</sup>, como el valor recomendado por la OMS (1,5 mg.l<sup>-1</sup>).

El valor de la concentración media de fluoruro en la perforación de la localidad de Amadores se corresponde con una salinidad media del agua dada por la conductividad de (970±10)  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ; ligeramente alcalina: pH = 7,8 ± 0,4 y concentración media del catión sodio de (220 ± 9) mg.l<sup>-1</sup>; ion móvil y persistente, muy afectado por el intercambio iónico. Estas características del agua son necesarias para la adsorción y sustitución del anión flúor en la superficie de los minerales (Seoane Borracer y Silva Busso, 2005).

El valor medio del ión flúor obtenidos en las perforaciones de La Viña y Balcozna se encuentra por debajo del límite inferior fijado por el CAA (0,7 mg.l<sup>-1</sup>) para una temperatura media anual la zona de 17,7 °C.

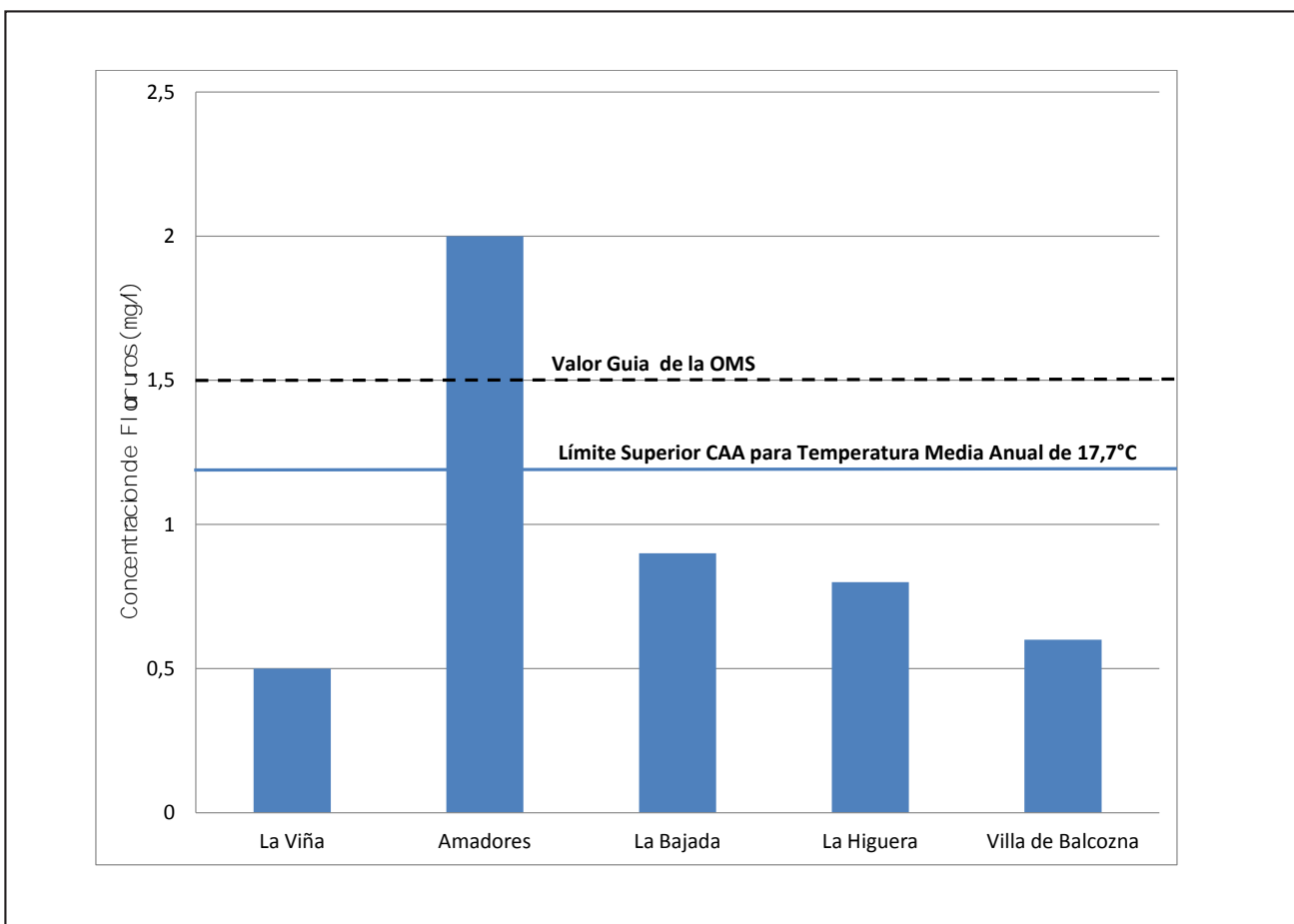


Figura 2. Concentración media del ion fluoruro en perforaciones del departamento Paclín.

En la figura 3 puede observarse los valores medios del ion Fluoruro detectados en las perforaciones monitoreadas del departamento Capayán.

La concentración media del ion estudiado en las perforaciones ubicadas en las localidades de San Martín (1,9 mg.l<sup>-1</sup>); Chañarito (1,4 mg.l<sup>-1</sup>) y Chumbicha (1,1 mg.l<sup>-1</sup>) superan el valor máximo fijado por el CAA para una temperatura media anual de 21,5°C que es de 1 mg.l<sup>-1</sup>. Se encuentran por debajo del mínimo exigido por dicha normativa para agua potable (0,7mg.l<sup>-1</sup>), los valores medios detectados en las perforaciones de El Milagro, Huillapima, Colonia del Valle, SisiHuasi, Nueva Coneta y Los Pocitos.

Las perforaciones en explotación para consumo humano del departamento Valle Viejo, con los niveles medios de ion fluoruro obtenidos, se muestran en la figura 4.

En el agua de las captaciones subterráneas ubicadas en las localidades de Las Esquinas,  $F^-_{Med} = (0,5 \pm 0,1) \text{ mg.l}^{-1}$ , Las Tejas,  $F^-_{Med} = (0,5 \pm 0,2) \text{ mg.l}^{-1}$ , y Agua Colorada  $F^-_{Med} = (0,6 \pm 0,2) \text{ mg.l}^{-1}$  se detectaron concentraciones medias del ion fluoruro, inferiores al límite establecido en la legislación argentina para consumo humano para una temperatura media anual de 21,5°C.

El valor medio del ión en estudio encontrado en el agua de la perforación ubicada en la localidad El Portezuelo (1,15 mg/l) supera el valor máximo admitido por el CAA, para una temperatura media anual de 21,5°C (1mg.L<sup>-1</sup>).

Se muestra en la figura 5, los valores medios de las concentraciones del ion flúor en las veinte captaciones subterráneas monitoreadas del departamento Capital.

El 80 % de las perforaciones estudiadas en el departamento Capital y utilizadas para abastecimiento a la población presentan valores medios del ión estudiado entre 0,4 mg.l<sup>-1</sup> y 0,5 mg.l<sup>-1</sup>, inferiores al mínimo fijado por el CAA (0,7 mg.l<sup>-1</sup>) para una temperatura media anual de 21,5 °C.

El origen y enriquecimiento del ión fluoruro en las aguas subterráneas del VCC se puede atribuir principalmente a la disolución de fluorita (CaF<sub>2</sub>) que es el mineral principal de flúor y que se encuentra en yacimientos hidrotermales, muy presente en las pegmatitas graníticas de las sierras de El Alto – Ancasti, explotadas en las décadas del 70' y 80' (mina Dal), presente también en otras serranías circundantes a la depresión tectónica del Valle de Catamarca. Otra posible fuente de flúor es la biotita –abundante también en los afloramientos rocosos circundantes al Valle de Catamarca- dado que puede contener este ión en su estructura cristalina y es probable que se presente saturado en el agua subterránea.

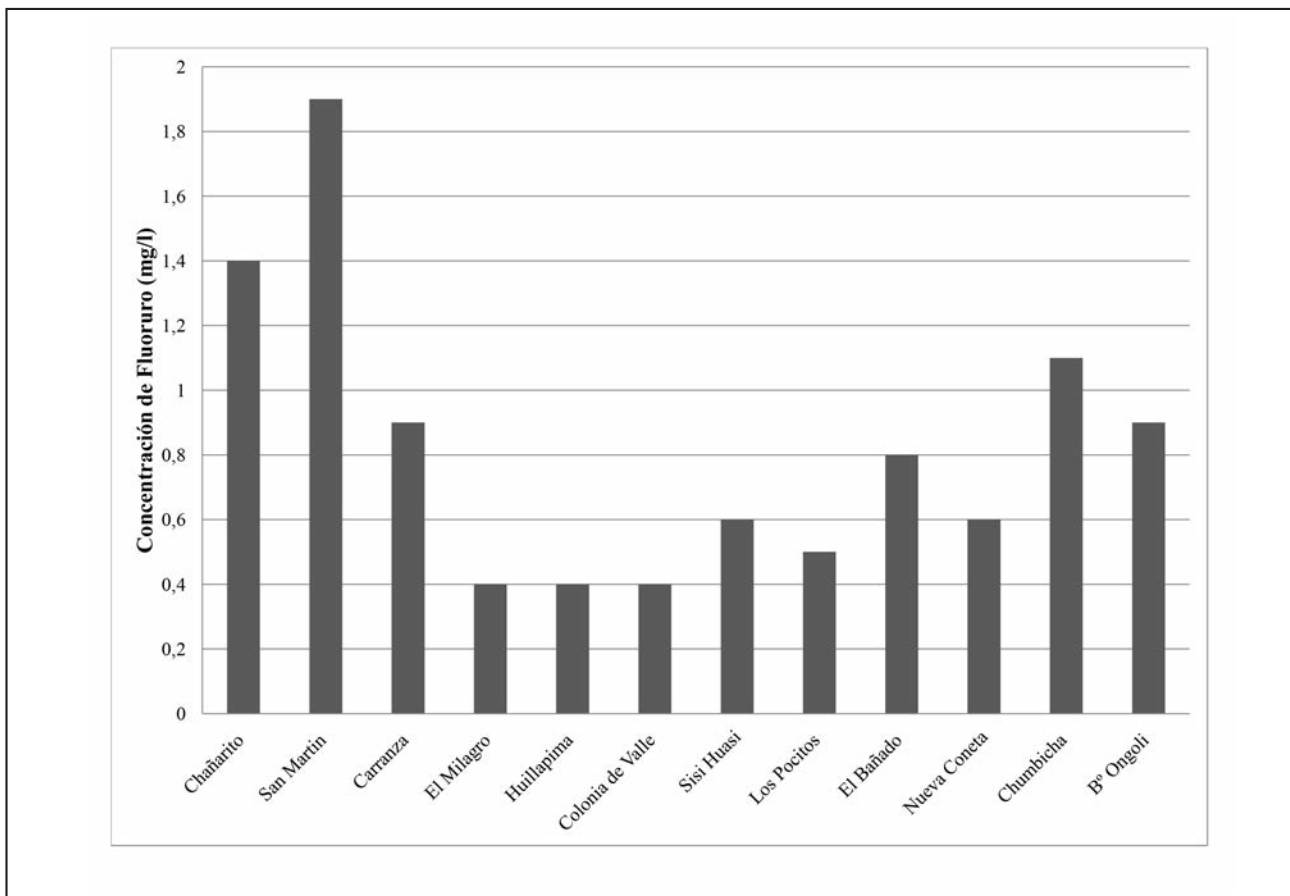


Figura 3. Concentración media del ion flúor en perforaciones del Departamento Capayán.

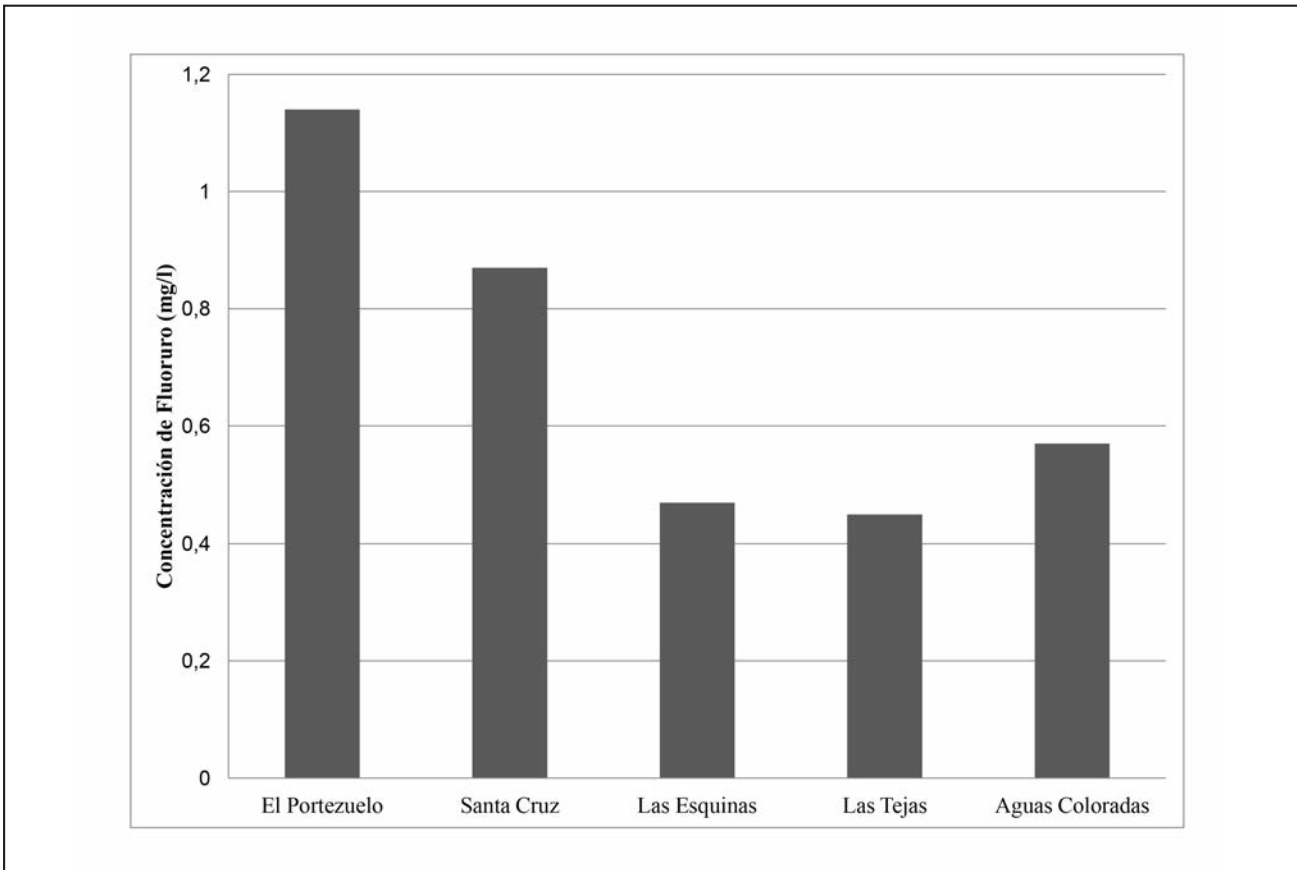


Figura 4. Concentración media del ion flúor en perforaciones del Dpto. Valle Viejo.

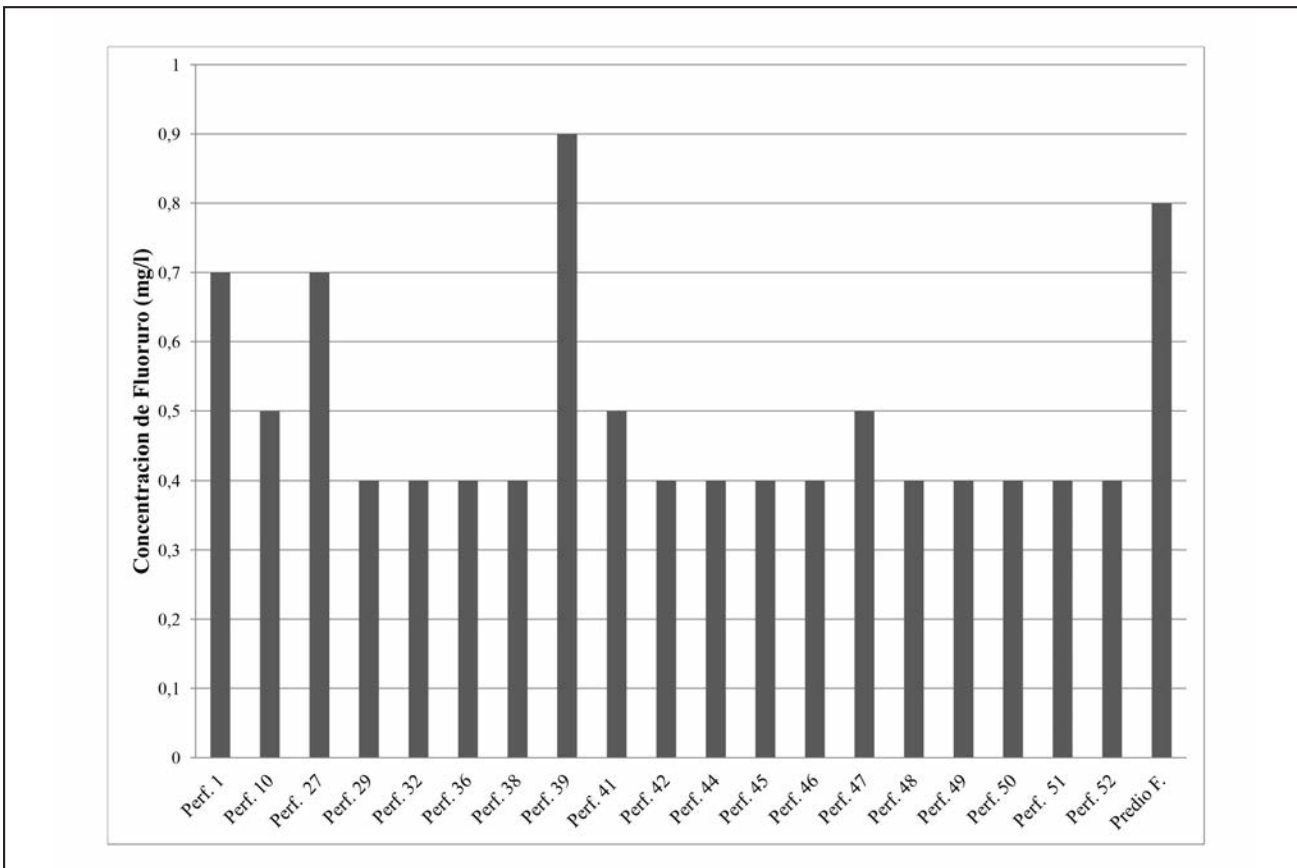


Figura 5. Concentración media del ion flúor en perforaciones del Departamento Capital.

## CONCLUSIONES

Las captaciones subterráneas ubicadas en el Valle Central de Catamarca, cuyas profundidades oscilan entre los 40m y 220m -utilizadas para abastecimiento a la población- explotan diferentes horizontes productivos de un sistema multicapa, constituidos por sedimentos cuaternarios integrados en diferentes porcentajes por gravas, gravillas, arenas gruesas, medianas y finas y limos. En su mineralogía se observan minerales de cuarzo, feldespato, plagioclasas, moscovita y biotita.

Las concentraciones del ión fluoruro en el agua subterránea de las perforaciones monitoreadas en el VCC oscilan entre 0,4 mg.l<sup>-1</sup> y 0,9 mg.l<sup>-1</sup> con valores extremos de 1,9 mg.l<sup>-1</sup> a 2,0 mg.l<sup>-1</sup>.

Dos de las perforaciones estudiadas, que representan el 4,8% del total de las captaciones subterráneas monitoreadas en el área de estudio presentan concentraciones medias del ion fluoruro superior al límite recomendado por la OMS. Si se considera el límite superior fijado por el CAA en función de la temperatura media anual, el porcentaje se eleva al 12 %.

La ubicación de las perforaciones con esta problemática se corresponde con áreas de acuíferos con presencia de minerales de fluorita y principalmente biotita, que son abundantes en los afloramientos rocosos circundantes al VCC.

En función de la temperatura media anual, se ajustan a los límites fijados por CAA para el ion fluoruro en el agua de bebida las concentraciones detectadas en el 23,7% de las perforaciones monitoreadas del Valle Central de Catamarca y utilizadas para consumo humano.

El 64,3 % de las captaciones subterráneas monitoreadas del VCC presentan concentraciones medias del ion en estudio inferiores al mínimo 0,7 mg.l<sup>-1</sup> fijado por la legislación argentina para agua potable de acuerdo a la temperatura del área geográfica estudiada.

Dado el elevado porcentaje de fuentes de agua subterránea, destinadas al consumo humano, con concentraciones del ion fluoruro por debajo de lo normado por el CAA, se recomienda informar a las autoridades sanitarias para que se adopten las medidas correspondientes.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BLASCO G., CAMINOS R., LAPIDO O., LIZUAÍN A., MARTÍNEZ H., NULLO F., PANZA J. Y SACOMANI L., 1995.  
Hoja Geológica 2966-II. San Fernando del Valle de Catamarca.  
*Boletín N° 212. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Ed. SERVICOP. Editorial Universitaria de la Plata. Buenos Aires. Argentina.*
- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO. 1994.  
Capítulo XII. Art. N° 982. Resolución 494/94. Modificación 2012. Resolución N°68/2007 y N°196/2007.  
*Ministerio de Salud. Bs. As. Argentina.*
- CUSTODIO E. Y R. LLAMAS. 1983.  
Hidrología Subterránea.  
*Editorial Omega. 2° Edición. Tomos I y II. Barcelona. España.*
- GUERRRERO R., CISTERNA P, GONZÁLES S. Y UAUY D., 1983.  
Contenido de Flúor de las Aguas Naturales de Chile. Recomendaciones para la Suplementación.  
*Revista Chilena de Pediatría. Vol. 54. N°3. pp 162-166.*
- LAHERMO P.W., 1987.  
The occurrent and pathays of abnormally high fluoride concentrations in the environment and their impact on human health in northen Tanzania.  
*Elements and Disease Porc. On the first. Int. cont. on Elements. Pp. 30-43.*
- MIÑANA V. 2010.  
El flúor y la prevención de la caries en la infancia.  
*Nutrición Infantil. Valencia. España. Pp. 129-134.*
- NULLO F.E. 1981.  
Descripción geológica de la Hoja 15 f, Huillapima, provincia de Catamarca.  
*Servicio Geológico Nacional. Boletín 178.*
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DELA SALUD (OMS). 2006.  
Guías para la Calidad de Agua Potable.  
*Primer Apéndice de la Tercera Edición. Volumen I. Recomendaciones. Ginebra. Suiza.*
- SEGURA L., SARACHO M. Y MOYANO P. 2005.  
Hidroquímica y Vulnerabilidad de los Acuíferos de la Ciudad de Catamarca.  
*IV Congreso Argentino de Hidrogeología. Río Cuarto. Córdoba. Argentina. pp139-149.*
- SEOANE BORRACER N. Y SILVA BUSO A. 2005.  
Aspectos sobre la Distribución de Fluoruro en el Sistema Acuífero Guaraní en Argentina-Uruguay.  
*IV Congreso Argentino de Hidrogeología. Río Cuarto. Córdoba. Argentina. pp171-180.*
- UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 2010.  
Fluoride: Exposure and Relative Source Contribution Analysis.  
*Health and Ecological Criteria Division Office of Water. Washington D.C.*





## Regiones hidrogeológicas en la provincia de Tucumán

### Hydrogeological regions in Tucumán Province

García, Jorge W. <sup>1</sup> ✉ - Falcón, Carlos M. <sup>2</sup> - D'Urso, Carlos H. <sup>1</sup> - Rodríguez, Graciela V. <sup>2</sup>

Recibido: 14 de febrero de 2017 • Aceptado: 04 de mayo de 2017

#### Resumen

*En Tucumán el agua subterránea representa la principal fuente de abastecimiento para uso doméstico, agrícola e industrial. Los procesos geológicos que actuaron durante el Cenozoico modificaron profundamente la morfología de la región. El paisaje de grandes llanuras que predominó durante el Terciario se modificó de manera importante desde el inicio de los movimientos andícos, delineando un relieve que caracteriza al período Cuaternario con la elevación de cordones serranos limitados por fallas. La presencia de estas barreras ocasionó importantes cambios climáticos, que originaron una mayor pluviosidad y la formación de una densa red hidrográfica que drenó las serranías tucumanas rellenando los valles con depósitos clásticos durante el Plioceno y Cuaternario.*

*Se formaron así seis regiones hidrogeológicas que forman parte de la provincia de Tucumán. La llanura oriental tucumana con las regiones del Valle del Río Salí (1) al sur y la Llanura de Burruyacu (2) al norte, con importantes reservorios de aguas subterráneas con aguas termales y surgencia natural hacia Santiago del Estero. Los Valles del Taquí (3) y de Santa María (4), pertenecientes a los Valles Calchaquíes o Valles Intermontanos de Sierras Pampeanas, caracterizada por su escasas precipitaciones pero con excelentes reservorios desarrollados en sedimentos permeables que rellenan el valle. El Valle de Choromoro, o de Tapia-Trancas (5), perteneciente a los Valles Intermontanos de Sierras Subandinas, con un control tectónico que la limita y precipitaciones del orden de los 500 mm anuales. Se destaca una importante red de drenaje, que confluye en el colector principal, el Río Salí.*

*Los Valles de Burruyacu (6) pertenecen a los Valles Intermontanos de las Sierras Subandinas y se caracterizan por estar fuertemente controlados por la estructura y por presentar precipitaciones anuales del orden de los 600 a 800 mm. Se divide en tres valles: de Medina que desagua al río Salí y de los ríos Nío y Chorrillos que drenan a la llanura de Burruyacu.*

**Palabras clave: Hidrogeología - Explotación - Regiones - Tucumán.**

#### Abstract

*In the Tucumán province, the groundwater is the main source of supply for domestic, agricultural and industrial use. The geological events that acted during the Cenozoic profoundly altered the morphology of the region. Great Plains landscape that dominated the stage during the Upper Tertiary changed significantly since the beginning of andic movements,*

1. Cátedras Hidrogeología y 2 Geología de Combustibles -  
Proy. CIUNT 26G-518 y 26G-514  
Facultad de Ciencias Naturales e IML - UNT - INSUGEO -  
CONICET  
Miguel Lillo 205- T4000JFE. San Miguel de Tucumán,  
Tucumán, Argentina

✉ jowagarcia@yahoo.com.ar

outlining a new relief that characterizes the Quaternary period, with the elevation of mountains ranges in blocks limited by faults. The presence of these orographic barriers caused major climatic changes, which allowed an increase in rainfall and the formation of a river system that drains mountains, filling the intermountain valleys with powerful deposits during the Pliocene-Quaternary.

Six hydrogeological regions that are part of the Tucuman province constituted thus. The Tucuman plain comprises the Burruyacu plain to the north and the Salí river valley to the south, where potent groundwater reservoirs are located with levels of natural upwelling and thermal anomalies to the limit with the Santiago del Estero province. The Santa María and Tafi del Valle valleys, belonging to the intermontane valleys of the Pampeanas ranges, are characterized by low rainfall and excellent aquifers developed in permeable sediments that fill the bottom of the depressions. The Valley Choromoro or Tapia-Trancas, belonging to the Subandinas ranges, with a tectonic control and the limited rainfall of around 500 mm annually, an important network of drainage, which flows into the main collector, the Salí River stands.

The Burruyacu valleys belong to the Intermontane Valleys of the Subandinas ranges, and are characterized by being strongly controlled by the structure and by annual precipitations of the order of 600 to 800 mm. It is divided in three valleys: of Medina that drain to the Salí river and of the Nío and Chorrillos rivers that drain to the plain of Burruyacu.

**Keywords: Hydrogeology - Exploitation - Regions - Tucuman.**

## INTRODUCCIÓN

Numerosos autores han trabajado en temas de aguas subterráneas en la provincia de Tucumán. Entre ellos se destacan los aportes realizados por *Stappenbeck (1915-1921)*, destinados a establecer las generalidades de la hidrogeología en el ambiente de la llanura oriental tucumana.

Luego *Rabsium (1960)*, *Ruiz Huidobro (1965)*, *Haup (1968)*, *Vilela (1970)*, *Dirección Provincial del Agua (1978-2005)*. Desde los años 80 hasta la actualidad A. Tineo y otros; como G. Galindo, E. D'Urso, M. Fernández, E. de la Vega, J. García, C. Falcón, C. D'Urso, G. Rodríguez, Ponti, N. y H. Nicolli, realizaron importantes aportes a la hidrogeología, hidroquímica y geofísica de la provincia de Tucumán (*Cátedra de Hidrogeología, 1983-2016*).

La provincia de Tucumán, emplazada en el sector norte de la Argentina, se destaca por la abundancia de sus recursos hídricos superficiales y subterráneos. La particular disposición de los cordones montañosos occidentales y las características climáticas asociadas, determinan la formación de una densa red de ríos y arroyos en gran parte del territorio provincial.

En base a las características climáticas, geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas se reconocen seis regiones hidrogeológicas: 1) Región del Valle del Río Salí, en el centro-sur provincial hasta el límite con Santiago del Estero, 2) Región de la Llanura de Burruyacú, en el noreste provincial, que se extiende hacia Santiago del Estero, 3) Región del Valle de Santa María, al oeste entre Catamarca y Salta; 4) Región del Valle de Tafi, en el centro-oeste de la provincia; 5) Región del Valle de Choromoro o de Tapia-Trancas, en el centro-norte provincial; 6) Región de los Valles de Burruyacú, ubicado entre el Valle de Choromoro y la Llanura de Burruyacú. (Figura 1).

## REGIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL VALLE DEL RÍO SALÍ

El valle del Río Salí es una cuenca ovalada que se ubica en la porción central de la provincia de Tucumán, con una superficie del orden de los 10.000 km<sup>2</sup>. Está limitada por las Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaquíes por el Oeste; la Sierra de La Ramada, las Lomadas de Cañete-Tacanas y la Sierra de Guasayán por el Este; las Sierras de Medina y San Javier por el Norte; y las Cumbres de Los Llanos y la Sierra de Ancasti por el Sur (*Tineo, A. et al, 1984, 1998, 1999, 2007; García, J., 2012*) (Figura 2).

Presenta elevaciones variables, superiores a 5.000 m.s.n.m. en los Nevados del Aconquija, de 500 m.s.n.m. en el valle y de 250 m el Dique de Termas de Río Hondo.

Por esta razón el clima es muy variable; de tipo semiárido con precipitaciones de 600 mm anuales en el Este, que da paso a un régimen climático templado moderado con lluvias de 1.000 mm anuales en la zona central y un clima húmedo con 2.000 mm anuales de precipitación en las laderas de las sierras. Los balances hídricos calculados indican que existe un déficit hídrico en la zona oriental y un exceso en la zona occidental de la provincia. Se calcula una lámina media de 1.000 mm de agua precipitada en el valle y una recarga media anual de 10 % del agua precipitada (*García, J., 2005*).

Se han reconocido diferentes sistemas acuíferos, desde niveles libres a escasa profundidad, niveles semiconfinados hasta profundidades de 100 m y niveles confinados profundos, de más de 200 m, con presión de surgencia natural y aguas termales.

Desde el borde occidental de la cuenca al pie de las sierras presenta una serie de paleo-abanicos aluviales de gran magnitud que caracterizan esta cuenca hidrogeológica, siendo los principales los paleo-abanicos de los ríos Lules, Famaillá, Balderrama, Seco, Gastona, Medina, Marapa, San Ignacio y San Francisco, todos afluentes del río Salí.

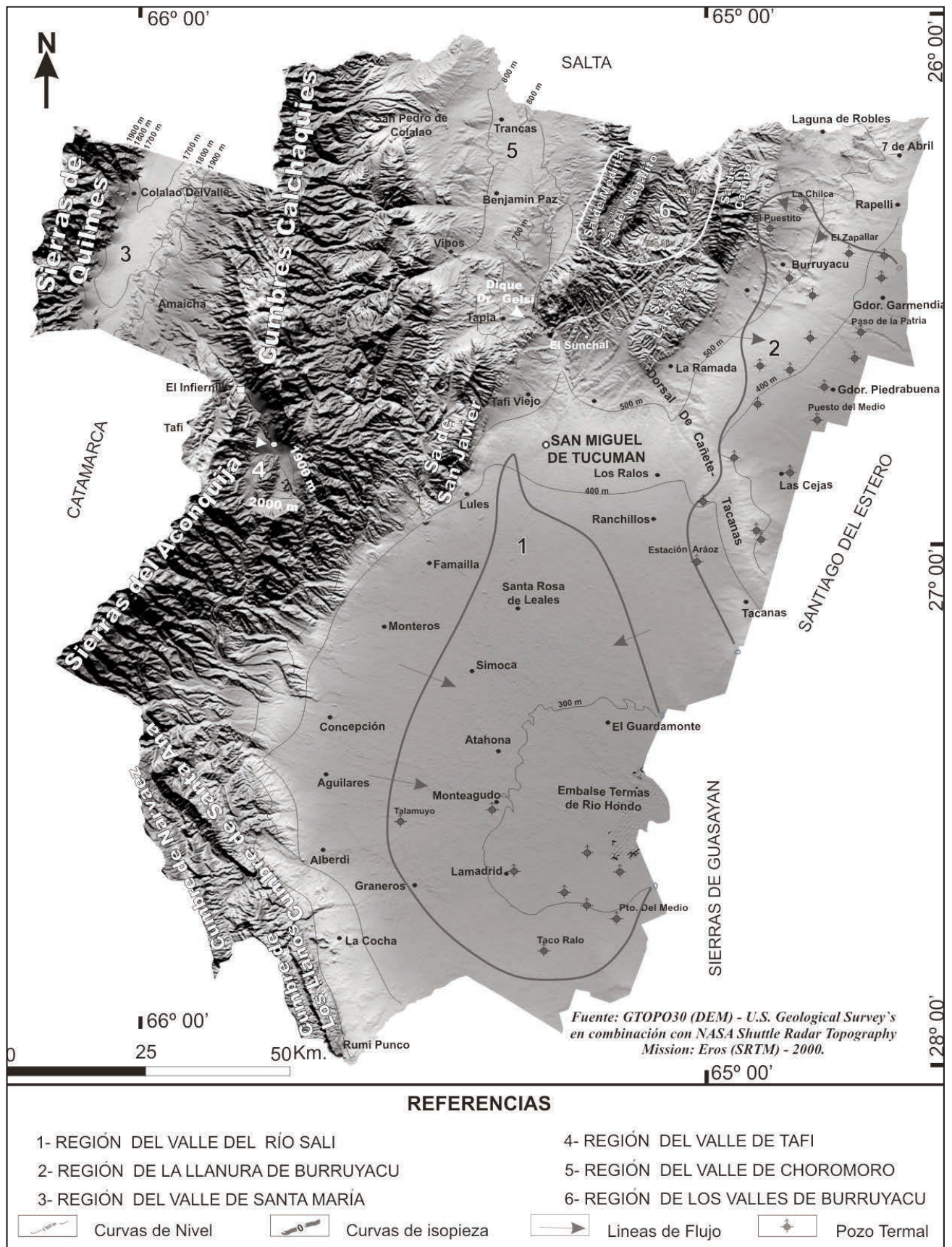


Figura 1. Imagen radar de regiones hidrogeológicas de Tucumán.



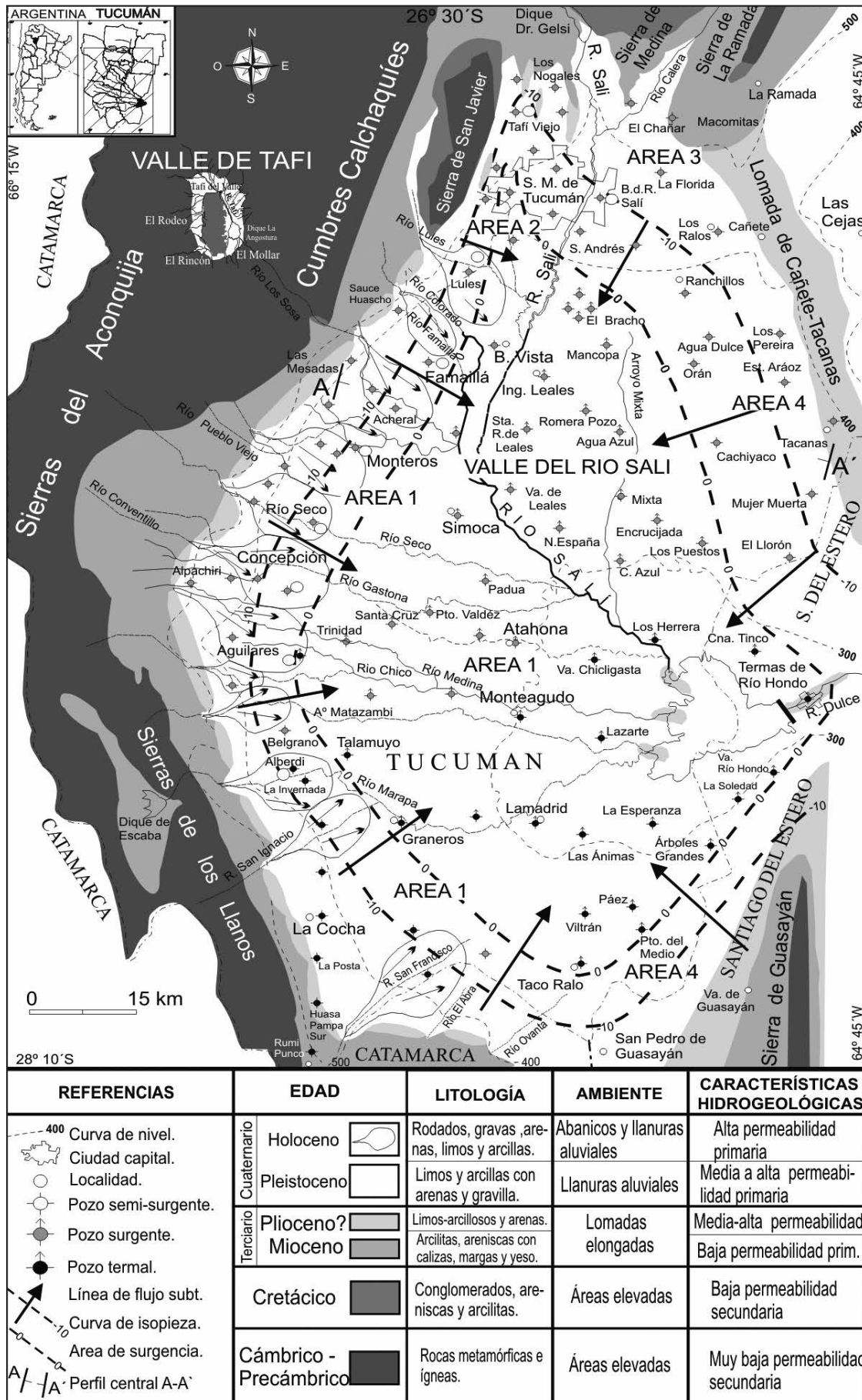


Figura 2. Mapa de región hidrogeológica del valle del Río Salí.

En el piedemonte de las sierras se registra una sucesión de niveles clásticos gruesos, gravas y arenas que se interdigitan con pelitas en profundidad hacia la llanura distal.

En la llanura hacia el límite con Santiago del Estero se encuentran las Lomadas de Cañete-Tacanas, hacia el norte, y la Sierra de Guasayán, hacia el sur, con núcleos de materiales geológicos impermeables, que limitan el flujo superficial y subterráneo y generan una cubeta hídrica con presiones de surgencia natural en los paquetes acuíferos.

Basados en las características hidrogeológicas se pueden diferenciar cuatro áreas hidrogeológicas con características distintivas:

#### **Área 1. Vertiente Oriental de las Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaquies**

La primera zona es la más grande por su distribución, con una superficie estimada de 6.000 km<sup>2</sup>. Abarca desde el río Lules en el norte hasta el río San Francisco en el sur y desde el pie de sierra hasta el río Salí y el arroyo Mixta por el este (*García, J; 2012*).

Los pozos son de profundidad variable, de 150 a 450 m, con caudales medios de 150 a 200 m<sup>3</sup>/h y buenos rendimientos de 10 a 15 m<sup>3</sup>/h/m. Predominan las aguas de buena calidad química, de tipo bicarbonatadas cálcica-sódicas con salinidades de 300 a 600 mg/L (*Nicolli, H. et al; 2000*).

Los niveles piezométricos varían entre 40 m de profundidad en áreas elevadas hasta niveles muy someros, de 2 a 5 m, en la llanura aluvial. En este sector hay surgencia natural para pozos de más de 200 m., con aguas termales a temperaturas del orden de 30 a 35 °C (Pozos de Talamuyo, con 450 m de profundidad y Aguilares con 270 m de profundidad).

Mediante la correlación litológica de perfiles de perforaciones y el análisis de la información hidrogeológica obtenida de informes técnicos fue posible diferenciar tres paquetes o unidades hidrogeológicas en el subsuelo del sector (*García, J., 2005, 2012*).

El paquete superior (A), predominantemente gravoso grueso del Holoceno, el paquete intermedio (B), con arenas medias a gruesas de Pleistoceno-Holoceno y el paquete inferior (C) de arcillas y limos con arenas medias plio-pleistocenas (Figura 3).

Todas las ciudades del sur tucumano emplazadas a la vera de las Rutas Nacionales N° 38 y N° 157 se abastecen de agua potable mediante pozos profundos. Allí también se asientan los polos industriales y agrícolas que se abastecen exclusivamente de agua de perforaciones de 200 m de profundidad.

En la zona de El Bracho, por la Ruta Nacional N° 9, existen en el orden de 10 pozos, con profundidades de 150 a 300 m, con caudales elevados 200 a 300 m<sup>3</sup>/h y excelentes rendimientos (20 a 30 m<sup>3</sup>/h/m).

La zona de llanura ubicada entre Famaillá y Monteros, se está transformando en un nuevo polo de desarrollo industrial debido a su riqueza hidrogeológica. Allí se han instalado en los últimos años empresas como Cervecería Quilmes (ex-Norte), Citrícola Citromax y Aguas Gaseosas Ives, que captan aguas mediante pozos de 200 m con excelente calidad y rendimientos (*García, J; 2012*).

La zona pedemontana alta ubicada entre Aguilares, Alberdi y La Cocha presenta algunas dificultades hidrogeológicas debido a la presencia de lomadas con sedimentitas miocenas a

poca profundidad, que salinizan las aguas con sulfatos de sodio y calcio.

Estas condiciones hidrogeológicas mejoran hacia la zona de llanura, donde los sedimentos cuaternarios son más potentes y las sedimentitas se profundizan en el subsuelo.

La calidad química del acuífero libre de toda la llanura tucumana se encuentra severamente comprometida, debido al vertido de efluentes cloacales e industriales (citrícolas, ingenios, papelería, levadura, energía eléctrica, frigoríficos, etc.) sin tratamiento previo en los ríos de la provincia.

Es de esperar que de modo inmediato los organismos de gobierno provincial arbitren los medios económicos y legales para exigir a las empresas, tanto públicas como privadas, la instalación y el funcionamiento eficiente de plantas de tratamiento de efluentes en todas las descargas de la provincia (*García, J; 2012*).

#### **Área 2. Vertiente Oriental de Sierra de San Javier**

Esta zona es de menor superficie que la anterior, con un área aproximada de 1.000 km<sup>2</sup> constituye un área de recarga septentrional del valle del río Salí. Allí se ubica San Miguel de Tucumán, con 800.000 habitantes, donde se hace una explotación intensiva del recurso subterráneo para usos múltiples, humano, agrícola e industrial (*García, J., 2012*).

Abarca desde Tafi Viejo por el norte hasta Lules por el sur y desde el piedemonte de la Sierra de San Javier por el oeste, hasta el río Salí por el este (*García, J., 2012*).

Los pozos son de profundidades variables de 150 a 180 m, con caudales promedios de 150 m<sup>3</sup>/h y buenos rendimientos de 5 a 10 m<sup>3</sup>/h/m. Los niveles piezométricos varían entre 40 m en áreas elevadas hasta niveles muy someros, de 4 a 8 m en la llanura distal. Las aguas son de buena calidad, de tipo bicarbonatadas-sulfatadas cálcica-sódicas y con salinidades de 400 a 800 mg/L.

En la zona del Gran San Miguel de Tucumán existen en el orden de 200 pozos, que se usan en mayor medida para abastecer de agua potable a la población.

En algunos sectores de la ciudad la elevada densidad de perforaciones y la geología del subsuelo desfavorable hacen que existan problemas hidrogeológicos por interferencias entre pozos, mermas de rendimientos y descensos de niveles entre otros procesos.

Las zonas particularmente problemáticas son Tafi Viejo, Villa Carmela, La Rinconada, El Manantial, Villa Mariano Moreno y el casco céntrico de San Miguel de Tucumán, donde no se hace una planificación urbana y las perforaciones se ubican de acuerdo a necesidades edilicias sin tener en cuenta los estudios del subsuelo profundo.

Para encontrar una solución a esta problemática, que se agravará en los próximos años debido al crecimiento inmobiliario, se deberán explorar áreas aún no explotadas, con buenas condiciones hidrogeológicas con el objeto de diseñar baterías de perforaciones y sus redes de distribución para el abastecimiento de las zonas más pobladas.

#### **Área 3. Vertiente Austral de las Sierras de Medina y La Ramada**

Esta zona tiene un área aproximada de 1.000 km<sup>2</sup>, donde se ubica el río Calera que es un afluente septentrional del río Salí. Abarca desde las zonas de El Timbó y El Chañar por el



norte, hasta las zonas de La Florida y Finca Mayo por el sur y desde del río Salí por el oeste, hasta las Lomadas de Cañete-Tacanas por el este (García, J., 2012).

Los pozos son en general de 80 a 120 m de profundidad, con caudales de 30 a 60 m<sup>3</sup>/h y rendimientos de 0,5 a 2 m<sup>3</sup>/h/m. Los niveles piezométricos van de -20 m, en áreas elevadas, hasta niveles de -2 a -4 m, en la llanura aluvial. La calidad química de las aguas es regular, con salinidades de 700 a 1.500 mg/l y de tipo iónico sulfatadas a cloruradas sódico-cálcicas (Nicolli, H. et al; 2000).

En estos sectores bajos ubicados en el valle del río Calera se encuentran las mejores condiciones hidrogeológicas para la explotación de aguas subterráneas, donde existe un mayor relleno cuaternario y los sedimentos terciario miocenos están más profundos.

En esta área existe un acuífero libre de poco espesor, en materiales aluviales con participación de sedimentos limo-loésicos hacia las zonas marginales del valle.

La zona cuenta con explotaciones agrícolas de citrus y caña de azúcar, que se abastecen de agua con perforaciones de 120 m. La población en general se concentra en pequeñas comunidades como el Timbó, El Chañar y Macomitas, que también cuentan con pozos del orden de 120 m de profundidad.

La población rural dispersa que no cuenta con red de agua potable se abastece mediante pozos cavados de 5 a 10 m de profundidad, con aguas de mala calidad debido a la presencia de flúor y arsénico por sobre de las normas de potabilidad.

Hacia el sector elevado de la cuenca del río Calera, como en el Arroyo La Perdíz, hay vertientes salobres con 3.000 µS/cm, o más, de conductividad eléctrica. Allí las aguas son de tipos sulfatadas y cloruradas sódicas, como en la localidad de El Timbó, donde la Planta de Celusal explota niveles acuíferos y bancos de halita del Mioceno, mediante pozos de 80 m.

#### **Área 4. Vertiente Occidental la Sierra de Guasayán y Lomadas de Cañete-Tacanas**

Esta zona con un área de 2.000 km<sup>2</sup>, abarca desde Cañete por el norte hasta Taco Ralo por el sur y desde el Arroyo Mixta, por el oeste, hasta Tacanas por el este (García, J., 2012).

Los pozos más productivos son de profundidades superiores a 200 m, con caudales de 80 a 130 m<sup>3</sup>/h y rendimientos de 1 a 2 m<sup>3</sup>/h/m. Los niveles piezométricos van de -20 m a la surgencia natural.

La calidad química de las aguas es regular a buena, con salinidades de 700 a 1.100 mg/l y con tipos iónicos sulfatadas cálcico-sódicas a sulfatadas-cloruradas sódico-cálcicas (Nicolli, H. et al; 2000).

En esta área también hay un sistema acuífero multicapa, con niveles clásticos que van desde el Plioceno al Cuaternario. El acuífero libre es limo-loésico profundo, con niveles de hasta 15 m, con aguas de regular a mala calidad, mientras que el acuífero confinado de tipo arenoso e intercalado con sedimentos finos es de buena calidad.

En la zona de Los Pereyra hay una población rural dispersa, que no cuenta con red de agua potable y que se abastece de pozos cavados del orden de 5 a 10 m de profundidad con aguas de mala calidad debido a elevados tenores de flúor y arsénico.

Entre la vertiente occidental de la Sierra de Guasayán y la Ruta Nacional N° 157 se identifican zonas con aguas termales surgentes, con temperaturas de 30 a 45 °C en pozos de más de 200 m, como los de Lamadrid, Taco Ralo, Viltrán, Páez y Puesto del Medio.

#### **REGIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA LLANURA DE BURRUYACÚ**

Se desarrolla en el sector nordeste de la provincia de Tucumán, desde la vertiente oriental de las sierras de La Ramada y Del Campo, o borde subandino por el oeste, hasta la llanura deprimida en Santiago del Estero por el este (Figura 4).

En Tucumán abarca una superficie aproximada de 2.700 km<sup>2</sup>. Su límite norte se extiende hacia la provincia de Salta y por el sur alcanza las Lomadas de Cañete-Tacanas, que son un alto estructural o prolongación en profundidad de la sierra de la Ramada, que la separa del Valle del Río Salí.

La región de Burruyacú se inserta en una región subtropical continental con marcada amplitud térmica. Las temperaturas medias anuales varían entre 14° y 18° C.

En las sierras de La Ramada y Del Campo las precipitaciones alcanzan los 900 a 1.000 mm anuales, que decrecen a 500 mm en el límite con Santiago del Estero.

Estas sierras tienen una orientación NNE-SSW con altitudes máximas de 1.200 y 2.000 m.s.n.m, respectivamente. Se encuentran desplazadas una respecto a la otra por una falla diagonal o transcurrente de rumbo NNW-SSE, por la que fluye el río Tajamar o Cajón.

Adosadas a las sierras, entre cotas de 500 a 700 m.s.n.m, se desarrollan lomadas elongadas y achatadas con un núcleo terciario y cubierta cuaternaria. Por debajo de los 400 m.s.n.m. y con una suave pendiente al este se desarrolla la llanura de Burruyacú, con presencia de suelos limo-loésicos.

Desde finales del Terciario la región se rellenó con potentes niveles de conglomerados, gravas y arenas, con paquetes de limos-arcillosos intercalados. Los horizontes clásticos tienen un buen desarrollo, desde decenas de metros en La Cruz, El Puestito y Requelme, hasta superar los 200 m en La Ramada, El Rodeo, Los Pempas y La Argentina, en el oeste de la zona (Falcón, 2004).

La red de drenaje está fuertemente controlada por la estructura que origina ríos y arroyos, la mayoría temporarios con orientación NNW-SSE. Solo los ríos Uruña-Horcones y Tajamar-Cajón, por ser más caudalosos y de carácter permanente logran alcanzar la llanura deprimida de Burruyacú, originando abanicos aluviales de gran importancia hídrica.

El río Cajón-Tajamar forma un extenso abanico aluvial entre los 600 y 350 m.s.n.m., con una marcada influencia hasta el límite con Santiago del Estero (Tineo y otros, 1998).

Estudios geológicos y geofísicos establecen la llanura de Burruyacú la presencia de tres Sistemas Acuíferos: 1. Libre, 2. Superior o Profundo y 3. Inferior o Termal Surgente (Falcón, 2004).

La llanura ondulada se prolonga al este del piedemonte y constituye un paisaje de lomadas bajas que alternan con valles de escaso relieve y fondo plano, de rumbo general oeste-este. Están formadas por material aluvional, gravas y arenas en su mayoría cubiertas por material loésico, con reservorios de agua de regular caudal y contenido salino.

La información aportada por perforaciones profundas y estudios geoelectrónicos establece para la zona pedemontana y de llanura deprimida, por debajo de los 200 m de profundidad, un notable incremento en la participación de sedimentos pelíticos limo-arcillosos rosados, intercalados con arenas cuarzosas, finas a medianas, de muy buena selección, asignadas al Plioceno.

En la zona de límite entre Tucumán y Santiago del Estero se encuentran los mayores rendimientos por surgencia natural con caudales de hasta 150 m<sup>3</sup>/h, en las localidades de Las Cejas, Isca Yacu, La Fortuna, Paso de la Patria y El Bobadal, entre otras.

Por debajo de los 300 m de profundidad se han determinado importantes manifestaciones hipertérmicas, con temperaturas de 30 a 42 °C, en Paso de La Patria, Santa Teresita, La Fortuna, San Arturo, Piedrabuena, Garmendia, Puesto del Medio, Las Cejas (Falcón y Tineo 2005 y 2006).

Los métodos eléctricos determinan al acuífero termal surgente con valores de resistividades de 20 a 60 Ω.m y que corresponden al Sistema Acuífero Inferior (Tineo y otros, 1999 y Falcón, 2004). En la zona pedemontana tiene piezometría negativa, caudales de bombeo hasta 200 m<sup>3</sup>/h y buenas transmisividades (Figura 5).

Le continúan extensos depósitos de abanicos aluviales y arenas finas de canales divagantes o paleocauces, que alojan los mejores acuíferos de la región, tanto por su rendimiento como por su calidad química. Aquí se desarrolla el Sistema Acuífero Superior, a profundidades de 20 a 150 m y resistividades de 40 a 150 Ω.m. Presenta piezometría negativa, caudales de bombeo y específicos de 100 a 200 m<sup>3</sup>/h y 7 a 10 m<sup>3</sup>/h/m respectivamente y transmisividades de 1.500 a 2.000 m<sup>2</sup>/día.

El relleno más somero de la región está representado por arenas finas y limos loésicos. En ellos se desarrolla el Sistema Acuífero Libre, presente en la zona pedemontana de Cañada de Alzogaray, El Espinillo, Mariño, Las Corzuelas y Los Pereyra. Su bajo caudal de extracción, solo posibilita el abastecimiento de grupos familiares reducidos. Los valores promedios de STD y CE son de 1.100 mg/L y 1.400 μmhos/cm respectivamente, con aguas bicarbonatadas y sulfatadas sódicas y cálcicas. Los valores de oligoelementos superan los límites establecidos para agua potable, como en Mariño, Cañada de Alsogaray y Colonia San Luis con 1.910, 1.780 y 873 μg/L de flúor y 45,7, 56,9 y 58,8 μg/L de arsénico (Nicolli 2009). En la llanura, el aumento de espesor de la cubierta loésica y la escasa participación de niveles arenosos intercalados lo restringe a los paleocauces del río Tajamar.

#### REGIÓN HIDROGEOLOGICA DEL VALLE DE SANTA MARÍA

La Región del Valle de Santa María constituye una amplia depresión tectónica situado entre bloques de las sierras de Quilmes, por el oeste y las Cumbres Calchaquies y Sierras del Aconquija por el este. Se extiende desde Catamarca al sur, hasta la provincia de Salta al norte, desarrollando su área central en territorio tucumano (Figura 6).

Las precipitaciones en el valle son del orden de los 200 mm anuales, decreciendo hacia el oeste hasta valores de 150 mm en el faldeo oriental de la sierra de Quilmes. El clima de la región es desértico y frío, tipo BW kwb con medias anuales de 18 °C.

El río Santa María es el colector principal del valle, donde escurre de sur a norte, recibiendo desde el oeste los afluentes de la sierra de Quilmes, siendo la mayoría de ellos estacionales

y de escaso caudal. Desde el este recibe los afluentes que provienen de las Sierras del Aconquija, siendo el río de Amaicha el más importante.

La cuenca de Santa María presenta déficit hídrico anual, las precipitaciones no superan los 200 mm anuales y la evapotranspiración es superior a 700 mm anuales.

La recarga natural ha sido estimada en 8,8 hm<sup>3</sup>/año, a lo que se deben agregar los aportes de la recarga artificial por efectos de riego de cultivos.

La zona de descarga del agua subterránea se ubica en el sector bajo del valle de Santa María. La dirección del flujo subterráneo es de sur a norte, coincidiendo a grandes rasgos con el flujo del agua superficial y con la pendiente regional de terreno.

En base a análisis geológicos, geomorfológicos, de información de perforaciones y a la prospección geofísica, realizada por García y otros (2011), se ha determinado la importancia de la cuenca hidrogeológica del valle del río Santa María en territorio tucumano.

Desde el punto de vista geológico se determinó un gran desarrollo de los abanicos aluviales en la zona de El Paso, Quilmes y Colalao del Valle, con otros menores en El Bañado y Anjuana. Están constituidos por sedimentos gruesos provenientes de las sierras de Quilmes, tienen un predominio de rodados de metamorfitas, con niveles de gravas y arenas gruesas con importante desarrollo en superficie y en profundidad que sobrepasan el límite del río Santa María hacia el este (Figura 7).

Se destacan los abanicos aluviales coalescentes desde El Paso hasta Quilmes y los de los ríos Pichao y Managua que forman el gran abanico de Colalao del Valle.

Existe una zona intermedia entre El Bañado y Anjuana, donde descargan las quebradas de Las Cañas, Las Chilcas y Talapaso, es donde se observa un menor desarrollo de estos abanicos, influenciados posiblemente por problemas estructurales profundos.

Las terrazas del río Santa María presentan material aluvial grueso de elevada permeabilidad constituyendo un excelente acuífero con agua de buena calidad

Los caudales de bombeo de los pozos son muy variables de acuerdo a las necesidades de abastecimiento de cada explotación y están en el orden de los 30 a 186 m<sup>3</sup>/h con un caudal de bombeo promedio de 67 m<sup>3</sup>/h. Las profundidades de captación van de 80 a 210 m.

Los pozos con mayores caudales de explotación son utilizados para el riego de fincas agrícolas de las colonias de Incallilla, con caudales de bombeo de 100 a 200 m<sup>3</sup>/h. Los caudales específicos de los pozos son también variables aunque no hay una relación directa con las profundidades de captación de los pozos y varían entre 1,8 y 25 m<sup>3</sup>/h/m. y el caudal específico medio es de 8,4 m<sup>3</sup>/h.

En Amaicha del Valle la tectónica local ha permitido una acumulación considerable de material permeable, aunque de menor rendimiento que la zona baja de la cuenca. En esta zona los rendimientos de los pozos disminuyen sensiblemente.

#### REGIÓN HIDROGEOLOGICA DEL VALLE DE TAFÍ

La región de Tafí del Valle se ubica a 100 km al oeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, es un valle tectónico elongado en dirección submeridional sobre el que escurre el río Tafí (Figura 8).

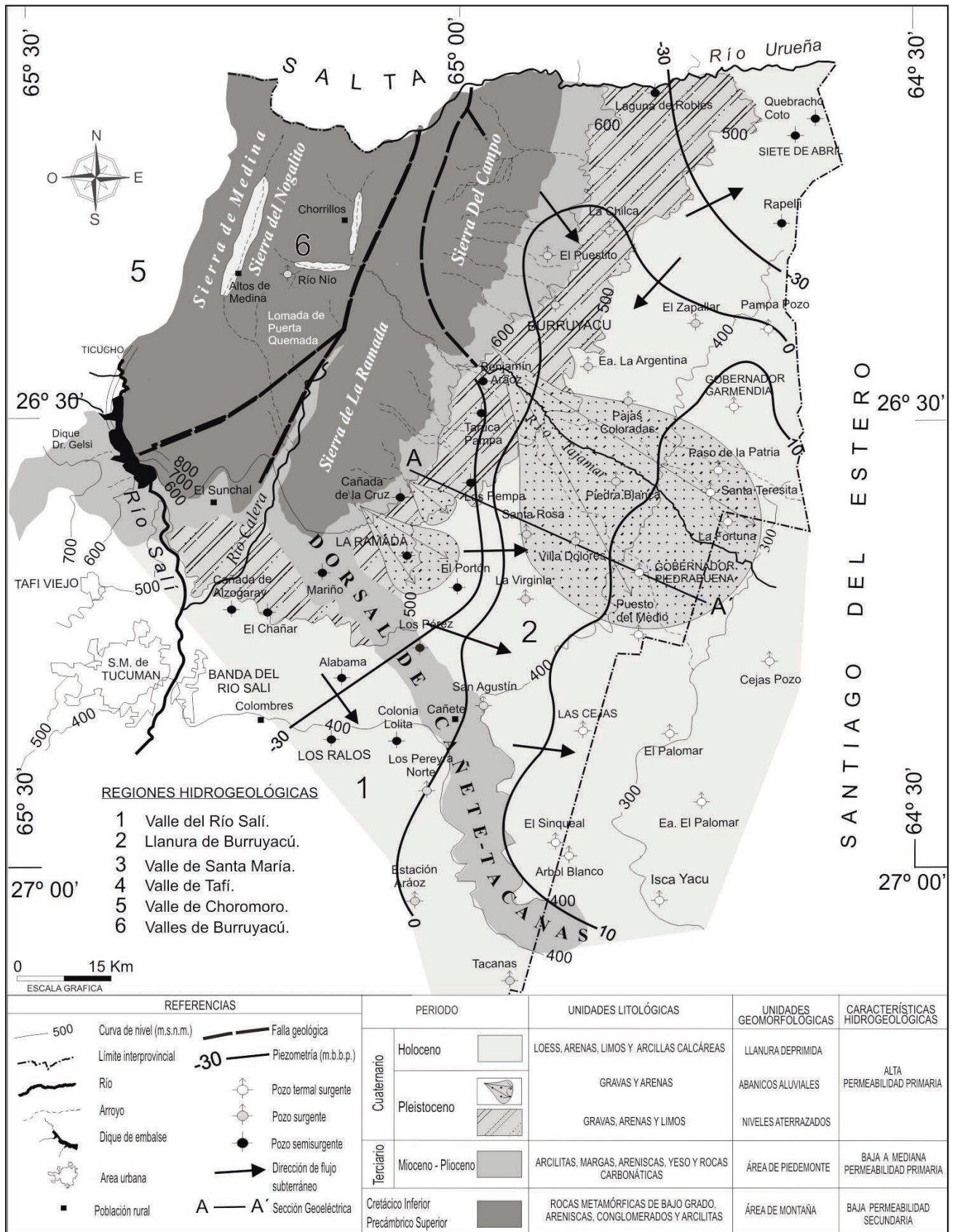


Figura 4. Mapa de región hidrogeológica de la Llanura de Burruyacú.

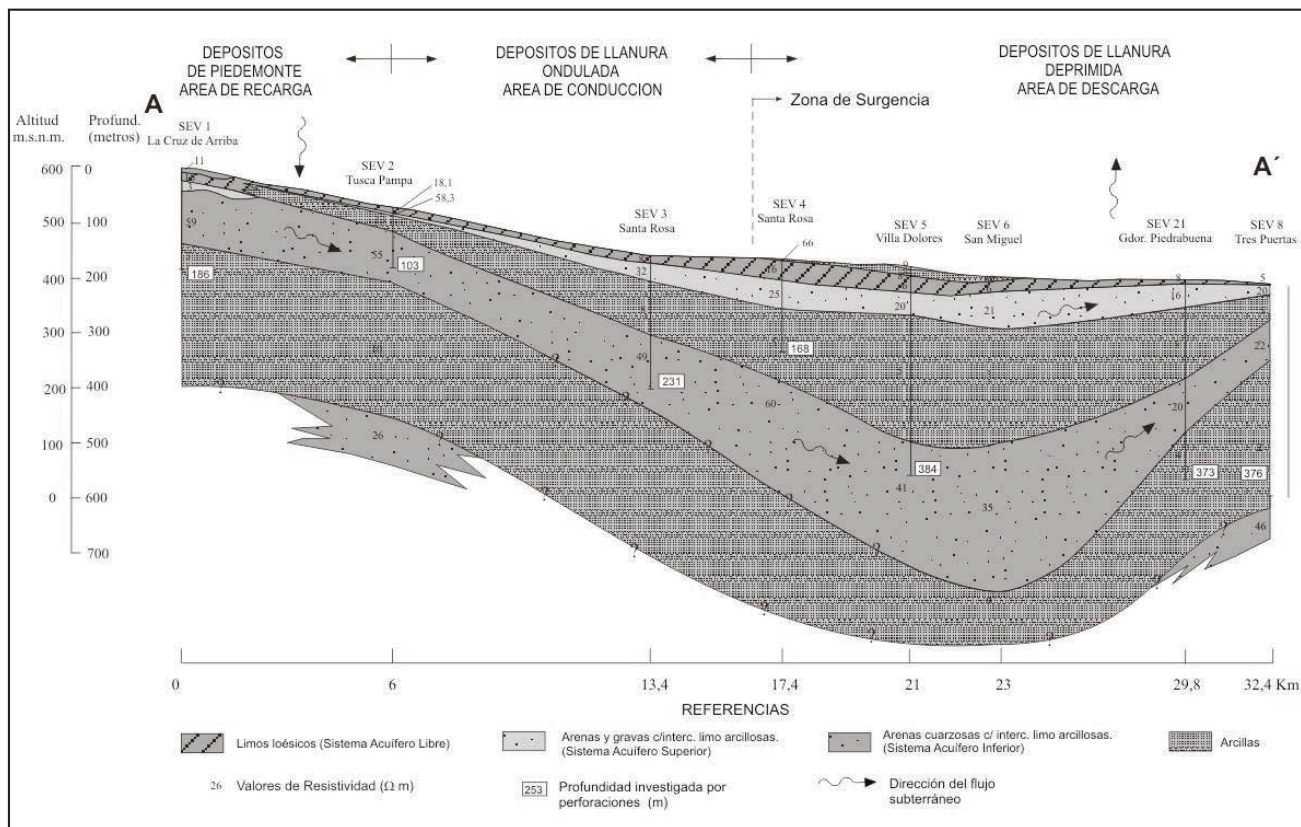


Figura 5. Perfil de región hidrogeológica de la llanura de Burruyacú.

En base a las características ambientales se identificaron tres áreas hidrogeológicas en la Región de Tafi del Valle. La primera área es de Tafi del Valle, ubicado entre la Loma Pelada al oeste y los bordes de Cumbres Calchaquíes y Mala Mala, al este. En este sector los ríos que bajan de las Cumbres Calchaquíes forman conos coalescentes hacia la parte baja, entre los que se destacan los de los ríos El Blanquito y La Puerta. Esta zona constituye una de las mejores áreas para la explotación y aprovechamiento del agua subterránea, con niveles entre los 20 y 30 m.b.b.p. y caudales del orden de los 100 a 150 m<sup>3</sup>/h. Los acuíferos son semiconfinados, formados por arenas y gravas gruesas intercalados con limos y arcillas de mediana a alta permeabilidad. La recarga se ubica en el borde de las Cumbres Calchaquíes y la descarga en la cuenca baja del río Tafi, que desemboca en el Embalse La Angostura (Figura 9).

La segunda es el Valle del Río Las Carreras-Los Alisos, con escasa información hidrogeológica, que constituye un valle estrecho, con pendientes abruptas, sobre el que se desarrollan los conos-glacis de los ríos Blanco, De La Ovejería y De Las Carreras en el piedemonte de las sierras del Aconquija.

La tercer área es la de El Mollar, ubicado sobre la ladera septentrional del Cerro Nuñorco Grande, caracterizada por la presencia de glacis cubiertos. Sobre la parte distal de estas paleoformas se ubican perforaciones, con niveles de 10 a 20 m.b.b.p. y caudales de 20 y 40 m<sup>3</sup>/h. Están formados por sedimentos gruesos, arenas y gravas, con intercalaciones de una matriz fina limo-arcillosa.

La recarga se produce en los faldeos del Cerro Nuñorco y la descarga es en el Embalse La Angostura. Esta zona presen-

ta características favorables para la explotación del agua subterránea, principalmente en las regiones intermedia y distal de los glacis.

Las aguas superficiales y subterráneas en el Valle de Tafi son de tipos bicarbonatadas cálcicas-magnésicas, de muy buena calidad para uso humano y para riego.

#### REGIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL VALLE DE CHOROMORO

Esta región que se ubica al norte de la provincia de Tucumán, en el departamento Trancas, es un valle tectónico, limitado al oeste por las Cumbres Calchaquíes pertenecientes al sistema de Sierras Pampeanas al este, por la Sierra de Medina, perteneciente al sistema de Sierras Subandinas al sur por el Morro del Cadillal y los Bordes del Saladillo y al norte por la divisoria de aguas que coincide con el límite interprovincial con Salta (Figura 10).

El río Salí es el colector principal del valle, nace en el río Tala y escurre de norte a sur en la parte central de la región. Reúne las aguas de los ríos Acequiones, Choromoro, Vipos y Tapia, que descienden de las Cumbres Calchaquíes con rumbo oeste-este. También recibe aportes menores desde las sierras del nordeste.

Las precipitaciones son escasas; apenas superan los 400 mm en el fondo del valle y van aumentando a medida que se asciende el piedemonte, hasta un máximo de 800 mm anuales. En la mayoría de los casos la evapotranspiración excede a la precipitación, incluso llega a duplicarla. El déficit anual de precipitación determina que la infiltración sólo se hace efectiva en verano y principalmente en los cauces de los ríos y arroyos.

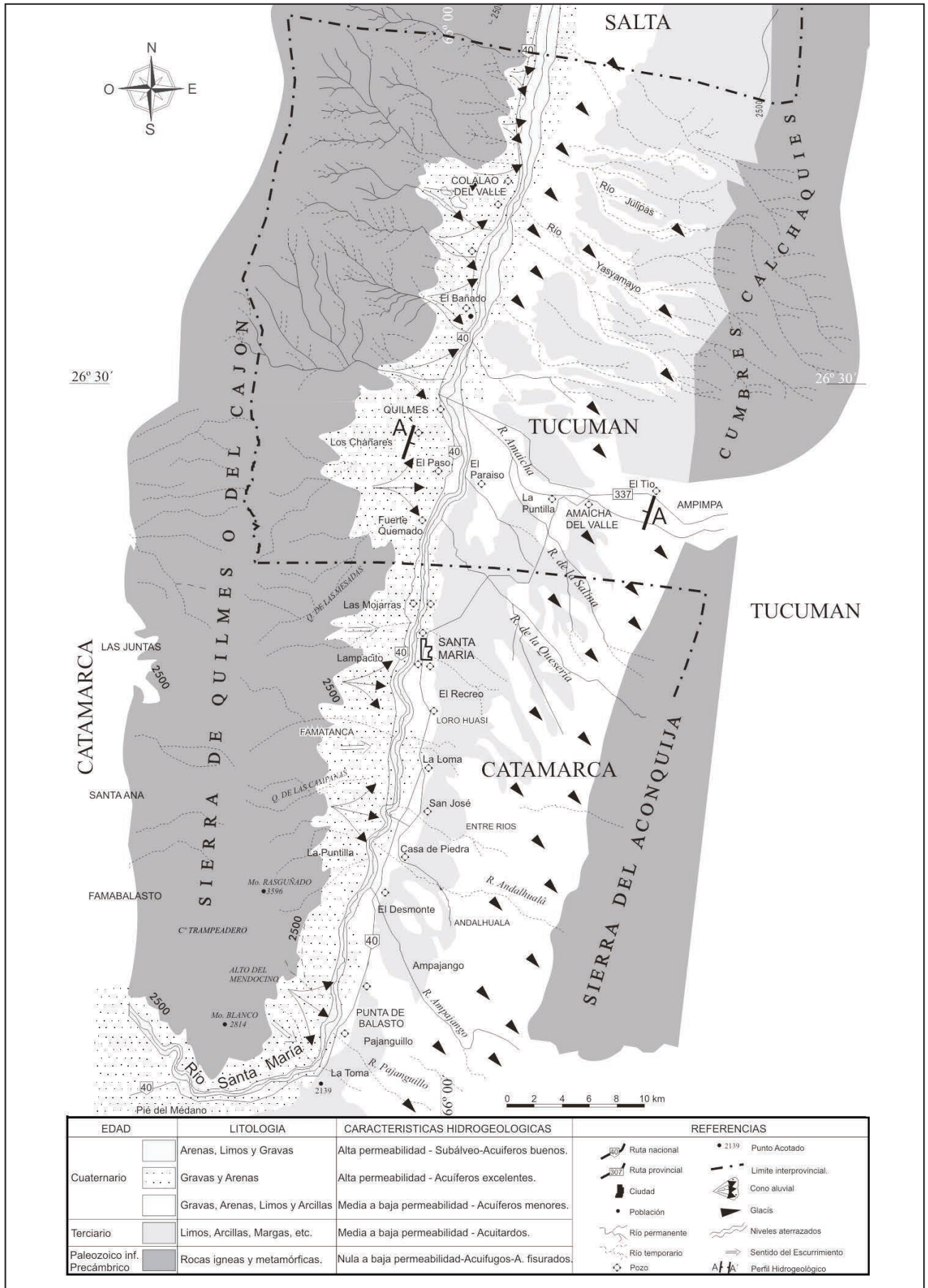


Figura 6. Mapa de región hidrogeológica del valle de Santa María.



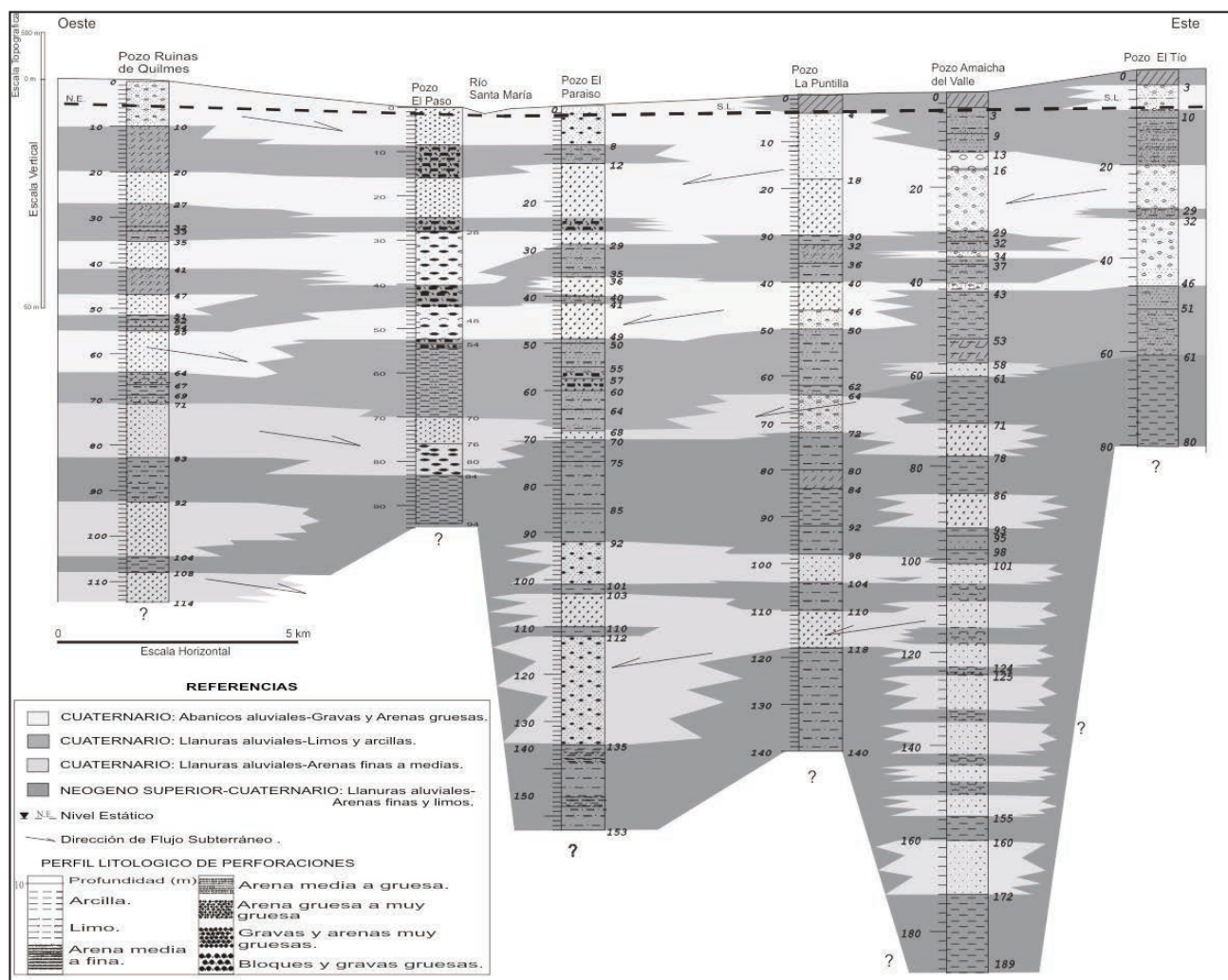


Figura 7. Perfil hidrogeológico del Valle de Santa María.

El valle de Choromoro pertenece a los Valles Intermon-tanos de las Sierras Subandinas. En la parte alta de esta región afloran rocas metamórficas de baja permeabilidad secundaria por diaclasas y fallas. En el piedemonte se desarrolla una secuencia mesozoica - terciaria fuertemente plegada y fallada, formada por areniscas, limos y arcillas de baja permeabilidad.

Los depósitos cuaternarios que constituyen los aluviones explotables de la región, cubren irregularmente a los sedimentos terciarios. Presentan una alternancia de materiales clásticos de grano grueso y fino, originando un sistema de acuíferos múltiples.

Los acuíferos se recargan en los depósitos de piedemonte de las sierras, donde las precipitaciones, son 600 mm anuales, que circulan por el subsuelo siguiendo la dirección y sentido que el escurrimiento superficial, hacia el río Salí.

La explotación de los mismos mejora en la parte baja del valle coincidiendo con el aumento de los espesores de los depósitos cuaternarios.

Del análisis de la información de subsuelo y la interpretación geológico-geomorfológica se pudieron diferenciar áreas o ambientes hidrogeológicos con características particulares en cuanto a niveles piezométricos, rendimientos y calidad del agua.

El área del Abanico Aluvial del Río Choromoro, que tiene menor distribución areal que el anterior, cubre una superfi-

cie de 50 km<sup>2</sup>. En él se han reconocido niveles permeables de arenas y gravas intercalados con limos, con espesores que aumentan hacia la parte baja del valle. Este ambiente constituye un importante reservorio de agua de buena calidad y caudales de 150 m<sup>3</sup>/h, en pozos de 100 a 150 m de profundidad. (Tizno, A., et al; 1996). (Figura 11).

El área del Abanico Aluvial del Río Acequiones tiene una distribución aproximada de 100 km<sup>2</sup>, con su ápice en la zona de Zárate y su descarga en el río Tala, entre Leocadio Paz y el sur de Trancas. Las perforaciones tienen una profundidad que varía entre los 100 y 230 m.b.b.p. y muestran paquetes de arenas gruesas y gravas con intercalaciones arcillosas.

En la zona apical del abanico reservorio el nivel estático es de -56 m.b.b.p. y el caudal de bombeo de 4 m<sup>3</sup>/h, mientras que próximo a la Ruta Nacional N° 9 el nivel estático se someriza, con un valor de -12 m.b.b.p. y un caudal de 120 m<sup>3</sup>/h. Los análisis químicos indican que las aguas son de buena calidad, aptas para uso humano y agrícola.

El área del Abanico Aluvial del Río Vipos, está ubicado al sur del Valle de Choromoro, donde los depósitos cuaternarios son de reducido espesor. En este ambiente predominan las lomadas terciarias por lo que la superficie del abanico aluvial actual es pequeña y restringida a la desembocadura del río Vipos en el Río Salí. La profundidad de las perforaciones para

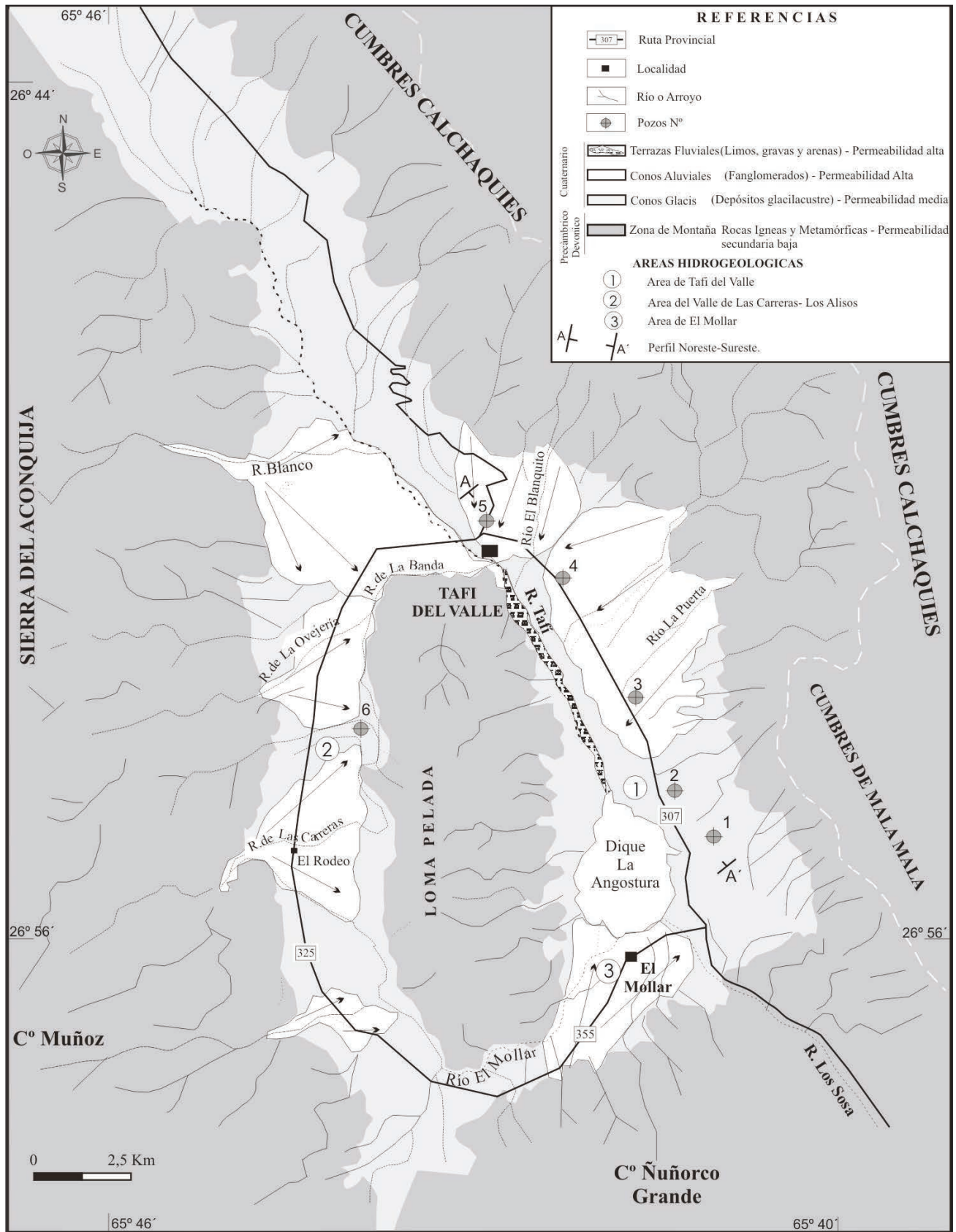


Figura 8. Mapa de región hidrogeológica del valle de Tafi.

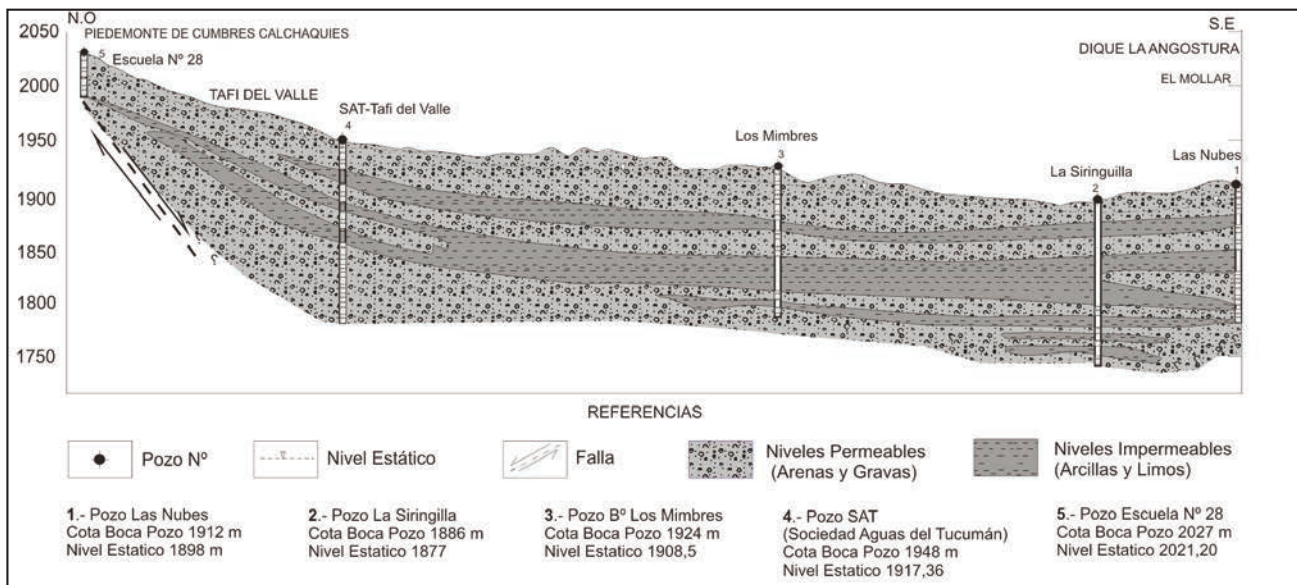


Figura 9. perfil de región hidrogeológica del valle de Tafi.

abastecimiento de agua potable son del orden de los 80 m, con un nivel estático de -10 m.b.b.p. y un caudal del orden de 40 m<sup>3</sup>/h.

El área de los Abanicos Aluviales de los Ríos India Muerta y Tapia está en el extremo sur de la región, donde predominan los afloramientos miocenos de margas y yeso con escaso relleno fluvial actual. Debido a que las aguas poseen elevados tenores salinos, este ambiente presenta malas condiciones para la acumulación de agua subterránea.

El área del Piedemonte de la Sierra de Medina se caracteriza por la heterogeneidad litológica, estratigrafía y tectónica. En la ladera occidental de la sierra de Medina se destacan formas de glaciés

de erosión, abanicos aluviales y valles estructurales. Aunque no existen antecedentes de perforaciones en la zona, las áreas de interés se encontrarían en la parte distal de los abanicos, muy cerca de la llanura aluvial del Río Salí.

El área de la Llanura Aluvial del Río Salí escurre por una falla de orientación aproximada norte-sur, generando depósitos aterrazados limitados en ambos márgenes por materiales pedemontanos y por lomadas terciarias en la zona de interfluvios.

Este ambiente hidrogeológico presenta las mejores posibilidades para el desarrollo económico, en base a la explotación de sus recursos hídricos subterráneos, sobre todo en la zona de las desembocaduras de los ríos Vipos, Choromoro y Acequiones, donde el valle es amplio y tiene un potente relleno cuaternario.

### REGIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS VALLES DE BURRUYACÚ

Estos valles intermontanos recién fueron estudiados desde el punto de vista hidrogeológico hace pocos años (2010-2012), cuando se hicieron estudios por parte de la cátedra de Hidrogeología de la Universidad Nacional de Tucumán, que permitieron describirla y definirla como perteneciente a los Valles de Sierras Subandinas (Faviana, M.; 2011 y Herazo, L.; 2012).

Esta región se ubica al noreste de la provincia de Tucumán, en el departamento Burruyacú, entre las Sierras de Medina y Nogalito por el Oeste, la Sierra del Campo por el Este, el límite con la provincia de Salta por el Norte y la Lomada de La Puerta por el Sur.

Es un área con valles tectónicos, que conforma sinclinales fallados con materiales sedimentarios cretácico-terciarios que cubren al basamento metamórfico de bajo grado y que presenta una escasa cobertura de sedimentos cuaternarios (Figura 12).

Los depósitos cuaternarios que constituyen los aluviones explotables de la región cubren irregularmente a los sedimentos terciarios. Presentan una alternancia de materiales clásticos de grano grueso y fino, originando un sistema de acuíferos libres de poco espesor, en el fondo de los valles fluviales. Las precipitaciones son regulares; superan los 600 mm en el fondo del valle y van aumentando hasta los de 800 mm anuales, a medida que se asciende en las sierras. La evapotranspiración es menor que la precipitación, sobre todo en los meses de verano cuando se produce la recarga de los acuíferos en los cauces de los ríos y arroyos.

El río Medina es el colector principal del sector oeste del valle, que escurre de norte a sur entre las sierras de Medina por el oeste y El Nogalito por el este, para desaguar con el nombre de río Calera en el río Salí, próximo a San Miguel de Tucumán.

En este valle elongado en sentido norte-sur, debido al escaso espesor de los materiales cuaternarios, solo existen pozos cavados de 5 a 10 m de profundidad que captan el acuífero libre para el abastecimiento doméstico. Además existen vertientes de aguas dulces de buena calidad, que son captadas y envasadas para agua mineral de mesa.

El río Nío es el colector principal del sector este del valle, que escurre de Este a Oeste entre las sierras de Nogalito por Oeste y la sierra del Campo por el Este hasta unirse al río Chorillos y formar el río Tajamar o Cajón, que desagua en la Llanura de Burruyacú.

En este valle alargado en sentido este-oeste existen pozos perforados de 80 a 100 m de profundidad, que captan niveles

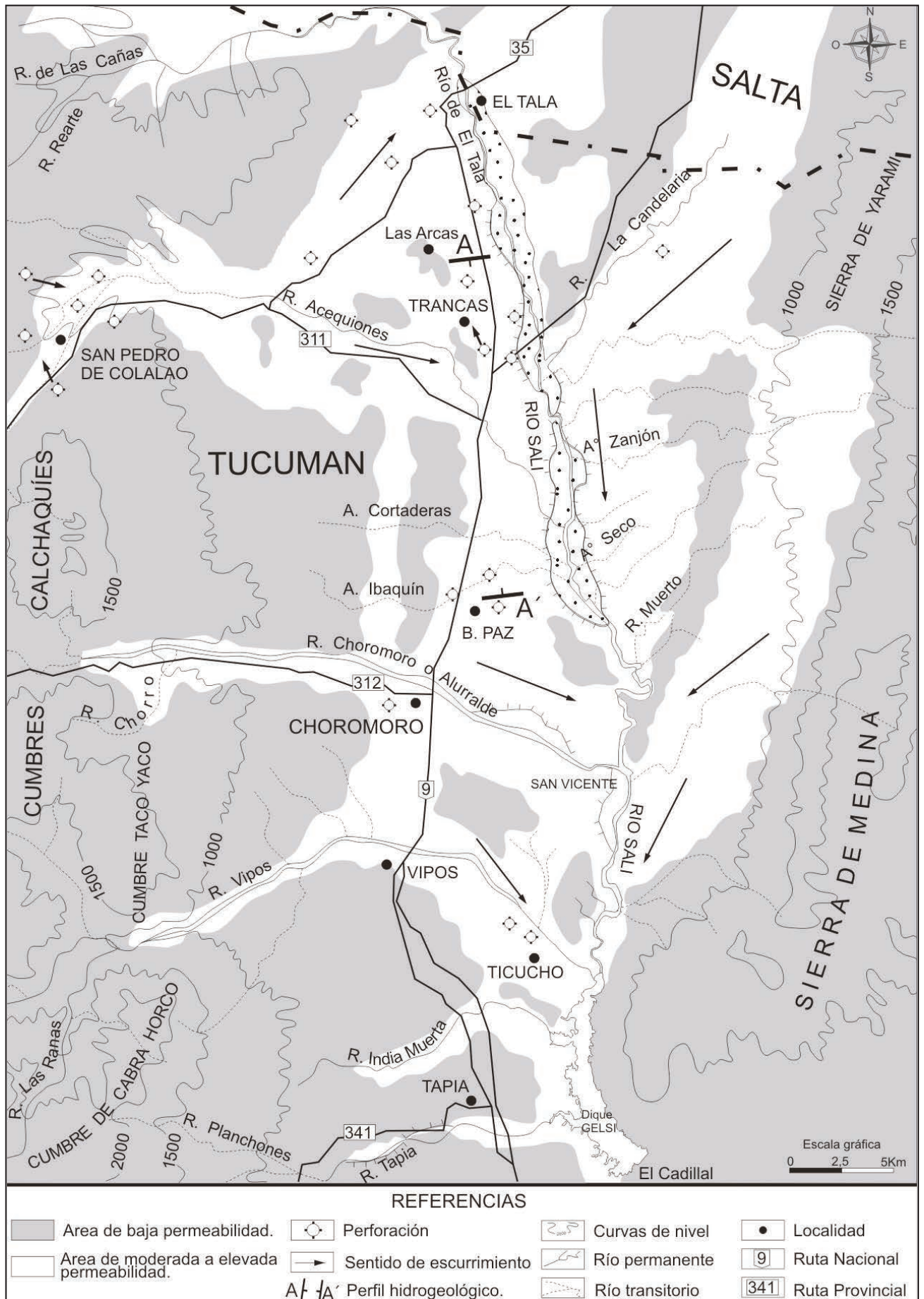


Figura 10. Mapa de región hidrogeológica del valle de Choromoro.

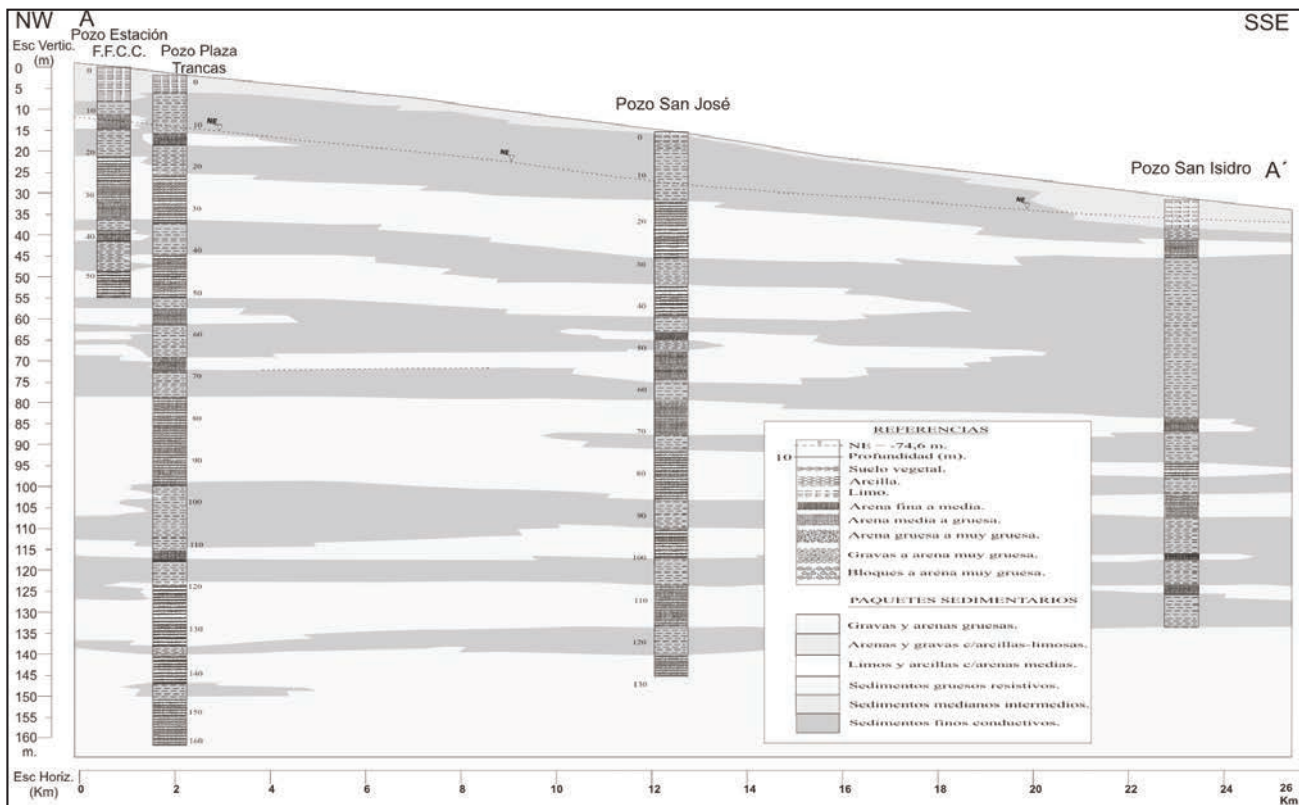


Figura 11. Perfil de región hidrogeológica del valle de Choromoro.

cuaternarios gravo-arenosos y probablemente arenas terciarias para el abastecimiento doméstico en el pueblo de Río Nío. También existen pozos cavados de 5 a 7 m de profundidad para uso familiar en zonas aisladas.

Es recomendable en el futuro extender los estudios hidrogeológicos a otras áreas del valle como en el río Chorrillos y prospectar la zona con estudios de subsuelo para la búsqueda de aguas termales dada la proximidad del valle a estructuras y lineamientos como los de Rosario de la Frontera y Metán.

### CONCLUSIONES

La provincia de Tucumán, emplazada en el sector norte de la Argentina, se destaca por la abundancia de sus recursos hídricos superficiales y subterráneos.

La particular disposición de los cordones montañosos occidentales de Cumbres Calchaquíes y Sierras del Aconquija y los cordones orientales, Sierra del Campo, La Ramada, Medinas y del Nogalito, así como sus características climáticas asociadas, determinan la formación de una densa red de ríos y arroyos en gran parte del territorio provincial.

En el sector más elevado de las Sierras del Aconquija las precipitaciones alcanzan máximos de 2.000 mm anuales, mientras que hacia el este, en el límite con la provincia de Santiago del Estero, la disminución de las lluvias y la insolación provocan un elevado índice de aridez.

La información de perforaciones y de estudios geofísicos por el método de sondeos eléctricos verticales, ha permitido estimar para el sector de valles intermontanos y llanura oriental tucumana, el desarrollo de sedimentos cuaternarios y pliocenos granulares de buena permeabilidad y espesores importantes, con acuíferos de buen rendimiento y calidad.

En base a las características climáticas, geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas se reconocen seis regiones hidrogeológicas: 1) Región Hidrogeológica del Valle del Río Salí, 2) Región Hidrogeológica de la Llanura de Burruyacú, 3) Región Hidrogeológica de Tafí del Valle; 4) Región Hidrogeológica del Valle de Santa María, y 6) Región Hidrogeológica de los Valles de Burruyacú.

Se plantea para los próximos años avanzar en el conocimiento de zonas marginales de la llanura y los valles intermontanos, así como profundizar las exploraciones en el subsuelo por debajo de los 300 m de profundidad, en niveles del Terciario.

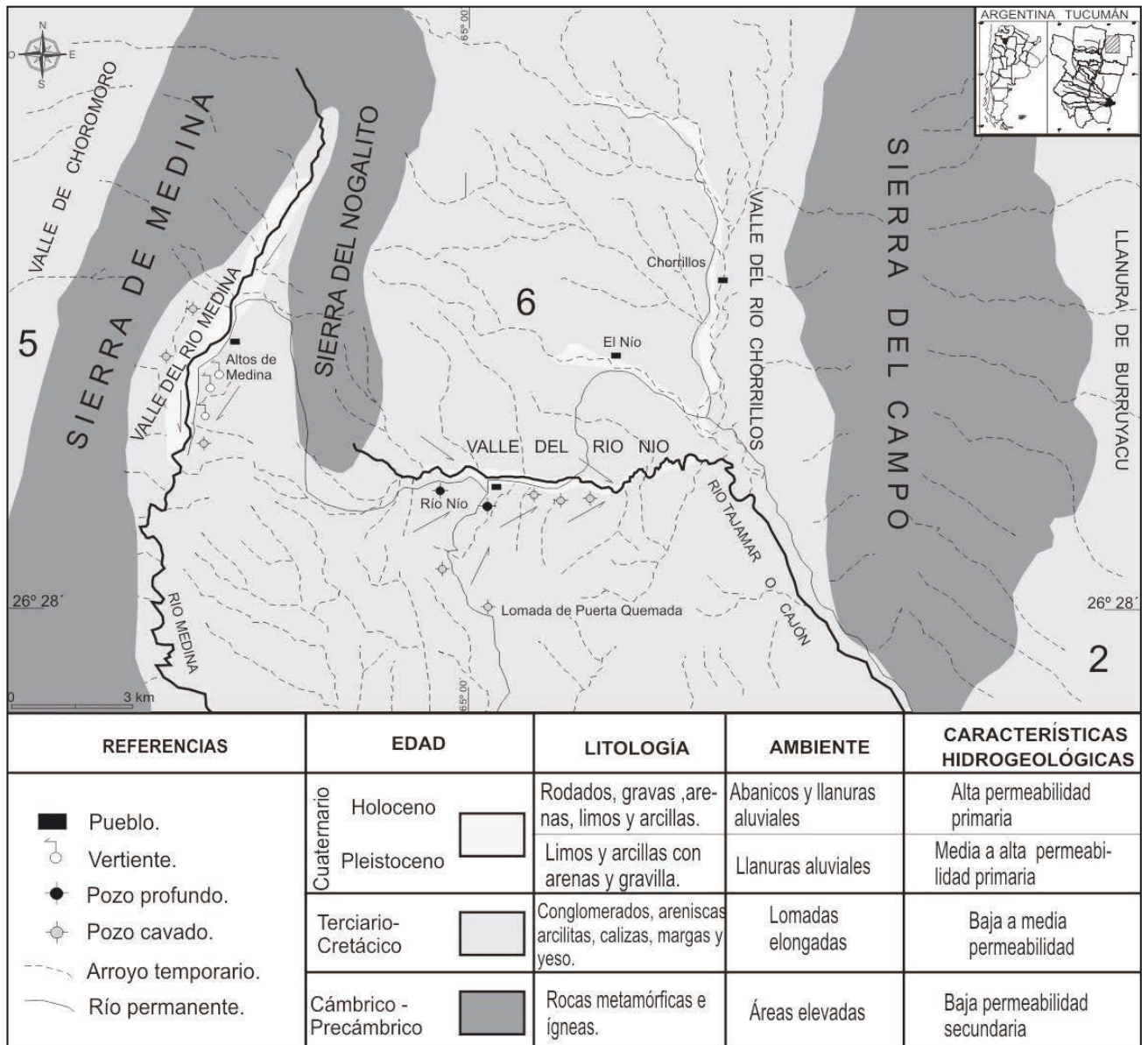


Figura 12. Mapa de región hidrogeológica de los valles de Burruyacu.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

CÁTEDRA DE HIDROGEOLOGÍA. 1983-2016.

Biblioteca de Tesinas-Tesis y Archivos de Perforaciones.

Facultad de Ciencias. Naturales e Instituto Miguel Lillo. UNT. (Inédito).

DIRECCIÓN PROVINCIAL DEL AGUA. 1978-2005.

Archivo de perforaciones. Laboratorio de Hidrogeología.

Gobierno de la Provincia de Tucumán. Inédito.

D'URSO, C.; RODRÍGUEZ AREAL, M.; MARCHISIO, P.; RODRIGUEZ, M.; LÓPEZ, J.P.; RODRÍGUEZ, G. Y SALES, A. 2013.

Caracterización Hidroquímica del Valle de Tafi, Provincia de Tucumán, República Argentina.

Acta Geológica Lilloana. Tucumán. 25(1-2); 9-20.

FALCÓN, C.M. 2004.

Hidrogeología del sector sudoriental de la Sierra de La Ramada y llanura adyacente, provincias de Tucumán y Santiago del Estero.

Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, UNT. (Inédita), 450 pp. Tucumán.

FALCÓN, C.M. Y A. TINEO. 2005.

Estudios geofísicos en la Cuenca Hidrogeológica de Burruyacu, Tucumán.

2º Seminario Hispano-latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea y 4º Congreso Hidrogeológico Argentino. T 1: 77-87. Río Cuarto. Córdoba.

- FALCÓN, C.M. Y A. TINEO. 2006.  
Aguas termominerales en la Cuenca hidrogeológica de Burreyacu. Provincia de Tucumán, Argentina.  
*13º Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial N° 7. Capítulo 7: 447-450. Lima.*
- HERAZO, L. 2012.  
Exploración Hidrogeológica en la Zona de Altos de Medina, Departamento Burreyacu, Provincia de Tucumán.  
*Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, UNT. (Inédito). Tucumán.*
- FAVIANA, M. 2011.  
Exploración Hidrogeológica en la Zona de Río Nío, Departamento Burreyacu, Provincia de Tucumán.  
*Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, UNT. (Inédito). Tucumán.*
- GARCÍA, J.W., 2005  
Hidrogeología de la Cuenca del Río Gastona, Departamento Chicligasta, Provincia de Tucumán.  
*Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, UNT. (Inédita). 495 pp. San Miguel de Tucumán.*
- GARCÍA, J.W., C.M. FALCÓN, C. D'URSO Y A. CHAMUT. 2011.  
Estudios geofísicos y de factibilidad de explotación de aguas subterráneas en las localidades de Amaicha, Quilmes, El Paso y Anjuana. Tafí del Valle, Tucumán (Inédito).  
*Minera Alumbreira.*
- GARCÍA, J.W. 2012.  
Hidrogeología de la Cuenca del Río Salí, Provincia de Tucumán.  
*Monografía Cátedra de Hidrogeología. Fac. Ciencias. Naturales e IML-UNT (Inédito).*
- HAUPT, M.; 1968.  
Descripción Hidrogeológica de la Hoja 11 F-Tucumán "Cono de deyección Tucumano".  
*Inf. Preliminar. Instituto Nacional de Minería y Geología. Buenos Aires.*
- NICOLLI, H.B., A. TINEO Y J.W. GARCÍA. 2000.  
Estudio hidrogeológico y de calidad del agua en la cuenca del río Salí, provincia de Tucumán.  
*Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, N° 15: 82-100. ISSN 0326-1921. Buenos Aires.*
- RUIZ HUIDOBRO, O.J. 1965.  
Hidrogeología del Valle de Santa María. Provincia de Catamarca.  
*Revista Asociación Geológica Argentina. T 20 (1): 29-66. Buenos Aires.*
- RABSIUM, S. 1960.  
Introducción a la Hidrología de Tucumán.  
*Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Publicación 821: 1-179. Tucumán.*
- STAPPENBECK, R. 1915.  
Las Aguas Subterráneas del Sur de la Provincia de Tucumán.  
*Boletín Oficial de la Casa de Gobierno de la Prov. de Tucumán. 17: 1-37. Tucumán.*
- STAPPENBECK, R. 1921.  
Reseña hidrogeológica del nordeste de la provincia de Tucumán y partes adyacentes.  
*Direc. Gral de Minas, Geol. e Hidrología. 1: 215-227. Bs. Aires.*
- TINEO, A.; FERNÁNDEZ, M.; FERNÁNDEZ, F.; GUERRERO, C. Y DE LA VEGA, E. 1984.  
Hidrogeología de Tucumán. Libro Geología de Tucumán.  
*Public. Especial Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Editores Aceñolaza, F.; Bossi, G. y Toselli, A.*
- TINEO, A., G. RODRÍGUEZ, J.W. GARCÍA, C.H. D'URSO Y C.M. FALCÓN. 1996.  
Caracterización Hidrogeológica de del Valle de Tapia-Trancas, Provincia de Tucumán, República Argentina.  
*3º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. (ALHSUD). T (II):215-226. San Luis de Potosí, México.*
- TINEO, A., C.M. FALCÓN, J.W. GARCÍA, C.H. D'URSO Y G. RODRÍGUEZ. 1998.  
Capítulo Hidrogeología. Libro Geología de Tucumán. Public. Esp. Col. Graduados en Cs. Geológicas de Tucumán.  
*2da. Edición. Pág. 259-274. Tucumán.*
- TINEO, A., C.M. FALCÓN, J.W. GARCÍA, C. D'URSO Y G. RODRÍGUEZ. 1999.  
Hidrogeología de la Provincia de Tucumán. Relatorio XIVº Congreso Geológico Argentino.  
*Geología del NOA. González Bonorino, G., R. Omarini y J. Viramontes (Eds.). Tomo 1: 37-47. Salta.*
- TINEO, A.; C.M. FALCÓN Y J.W. GARCÍA. 2007.  
El Agua Subterránea en la Provincia de Tucumán.  
*13 Congreso Nacional del Agua. CONAGUA 07'. San Miguel de Tucumán.*
- VILELA, C.R. 1970.  
Hidrogeología.  
*Opera Lilloana 18. San Miguel de Tucumán.*



## Estabilización de subrasante loésica con silicato de sodio líquido

### Loess subgrade stabilization with liquid sodium silicate

Cruz, María Pía <sup>1</sup>✉ - Martin Schmädke, Ítalo <sup>1</sup> - Arnaudo, Carlos <sup>1</sup> - Vigilante, Nicolás <sup>1</sup>

Recibido: 08 de mayo de 2015 • Aceptado: 12 de mayo de 2017

#### Resumen

*Se busca identificar la dosificación óptima para uso vial del silicato de sodio líquido ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) con sedimentos loésicos erodables de la provincia de Córdoba (Argentina), para así lograr una eficiente estabilización físico química del suelo. El silicato de sodio puede ser utilizado en estabilización de suelos cuando existen sales de calcio en la matriz del suelo o diluidas en agua, pues esto origina silicatos gelatinosos de calcio insolubles, que al hidratarse producen un magnífico agente cementante. Esta aplicación pretende estabilizar subrasantes de caminos rurales erodables y acarcavados. Los caminos de tierra representan el 87% de la red vial provincial. La estabilización propuesta logra disminuir la erodabilidad superficial, bajar el índice de plasticidad, aumentar notablemente la resistencia al corte no drenado del suelo e incrementar su valor soporte. Esto se traduce en reducción de costos de rehabilitación y mantenimiento de los caminos.*

**Palabras clave:** *estabilización, loess, subrasante, silicato de sodio.*

#### Abstract

*The objective of this study is to identify the optimum dosage for road use of liquid sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) with erodable loessic sediments from the province of Córdoba (Argentina), in order to achieve an efficient physical chemical stabilization of the soil. Sodium silicate can be used in soil stabilization when the soil contains salts of calcium in soil's matrix or diluted in water, as this results gelatinous insoluble calcium silicates, that upon hydration produces a great cementing agent. This application responds to stabilize erodible subgrades of rural roads. Dirt roads account for 87% of provincial road network. The proposed stabilization reduces the surface erodibility, lower the plasticity index, significantly increase the non-drained cutting resistance of the soil and increase its support value. This results in reduction of costs of rehabilitation and maintenance of roads.*

**Keywords:** *stabilization, loess, subgrade, sodium silicate.*

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

✉ [mpcruz@ucc.edu.ar](mailto:mpcruz@ucc.edu.ar)



## INTRODUCCIÓN

La iniciativa del grupo de investigación de geotecnia de la Universidad Católica de Córdoba (U.C.C.), consistió en determinar el porcentaje óptimo para uso vial de la dosificación de silicato de sodio líquido ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) con loess erodables de la región cordobesa (Argentina). El silicato de sodio aplicado en suelos con presencia de sales de calcio, reacciona originando silicatos de calcio insolubles, que al hidratarse producen una cementación muy resistente. Este estudio busca estabilizar subrasantes erodables y semisaturadas susceptibles de manifestarse en "caminos de tierra o red terciaria". El 87% de la red vial cordobesa corresponde a caminos sin pavimentar potencialmente problemáticos, que equivalen a unos 55.900 kilómetros según la Dirección Provincial de Vialidad (D.P.V). Esta estabilización tiene como objetivo lograr una disminución de la erodabilidad superficial y del índice de plasticidad y, además, garantizar un aumento tanto de la resistencia al corte no drenado como del valor soporte del suelo tratado.

Las subrasantes del centro-este cordobés, corresponden a sedimentos finos del tipo loésicos – A4 ó A6 – según American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.). Manifiestan un variado comportamiento tenso-deformacional ante aumentos del contenido de humedad natural, grado de saturación, tensión de corte, tensión normal media y presión de poros según *Zur y Wiseman (1973)*.

El clima de la región va de templado a semiárido. En primavera-verano con las precipitaciones se produce gran acumulación de agua sobre las subrasantes con insuficiente perfilado del bombeo transversal o drenaje lateral. Por lo tanto, se forman baches, acarvamientos o subsidencias a lo largo de la traza. Los caminos quedan intransitables para cualquier vehículo. Luego, épocas de otoño-invierno sin humedad y ventosas, aportan sequedad a los caminos no pavimentados. Se genera así mucho polvo ambiental al rodar los vehículos. El suelo disminuye su peso unitario seco (pasa de  $1,4 \text{ tn/m}^3$  a  $1,1 \text{ tn/m}^3$ ) y desaparece su resistencia al corte intergranular (valor aproximado  $0,2 \text{ kg/cm}^2$ ).

## METODOLOGÍA Y ANALISIS

Para obtener una estructura estable en el tiempo con los suelos loésicos, existen distintos procedimientos. Uno de ellos consiste en modificar las propiedades del suelo mediante su estabilización mecánica para hacerlo capaz de cumplir un requerimiento técnico-operativo.

En este estudio, se trata de una estabilización química y mecánica de los suelos; siguiendo el procedimiento: 1º Identificar la problemática del suelo en un uso vial. 2º Dosificar el porcentaje óptimo de silicato de sodio líquido con dicho suelo. 3º Garantizar una reducción del impacto en la problemática de suelos loésicos erodables.

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en relación a la estabilización de suelos con silicato de sodio. La única investigación local reciente corresponde a *S. Moretto (2006)*, de la U.C.C., que propone la estabilización de loess colapsibles con inyección in situ de silicato de sodio líquido, con aplicación a cimentaciones o recalces de fundaciones. A partir de las conclusiones y limitaciones de las publicaciones estudiadas, se planificó realizar estabilizaciones con mezclas de baja relación agua/silicato o sea mezclas aptas para ser consideradas de uso civil, como es el caso vial.

La caracterización geotécnica-vial de los sedimentos a estabilizar se estructuró en dos etapas de ensayos. La primera sobre muestras de suelo loésico en estado natural, y la segunda sobre probetas de suelo loésico con silicatos de sodio líquido.

Las muestras de suelos estudiados son del campus de la U.C.C. ( $31^\circ 29' 17.21'' \text{ S}$ ,  $64^\circ 14' 20.94'' \text{ O}$ ); cuyas profundidades varía entre 0,5m a 1,0m desde el nivel de terreno natural (378 m.s.n.m.).

En la primera etapa se ejecutaron ensayos de: contenido de humedad, lavado tamiz 200 (0,075mm), ensayos granulométricos, límites de Atterberg, doble hidrómetro, superficie específica, sales totales, ensayo proctor estándar/T99, ensayo California Bearing Ratio con hinchamiento ( $\text{CBR}_{2,5\text{mm}}$ ), determinación química del contenido de carbonato de calcio y pH.

En la segunda etapa, se realizó el estudio de la fase líquida óptima y de dosificación de suelo loésico con silicato de sodio líquido para uso vial. Esto implicó realizar a cada dosificación el ensayo de compresión simple desde probetas remoldeadas, elaboradas al peso unitario seco máximo ( $\gamma_{\text{ssmax}}$ ) con contenido de humedad óptima ( $\omega_{\text{óptimo}}$ ), del proctor estándar o T99. El suelo natural estudiado tiene un ángulo de fricción interna bajo, por lo que para el ensayo de compresión simple se asumió que la resistencia al corte no drenado sería la misma que la resistencia a compresión simple, despreciando la fricción interna del suelo. Luego se seleccionó la mejor dosificación suelo-silicato; siendo, los criterios determinísticos de selección: no ser erodable, disminuir el índice de plasticidad e incrementar la resistencia al corte no drenado respecto al estado natural del suelo.

Finalmente, se determinó el índice de  $\text{CBR}_{2,5\text{mm}}$ , para las dosificaciones 1S:2A:10L y 1S:5A:22L, con una sobrecarga de 44 newton y medición del hinchamiento a 4 días según norma ASTM D1883, y a 11 días según comentarios de *Hurley (1971)*. La mayor inmersión facilitó la formación de silicatos gelatinosos de calcio insolubles, que provocan la cementación.

La rehabilitación anual usual con motoniveladora implica unos \$68.400+IVA por kilómetro para vías rurales. Las tareas de mantenimiento le agregan un 50% más. La aplicación de silicato de sodio líquido supondría un costo de \$18.300+IVA por kilómetro, evitando la mayoría del mantenimiento.

## RESULTADOS

Los principales resultados de los ensayos realizados y las características geotécnicas tanto del suelo natural erodable, como de las distintas dosificaciones del suelo con el silicato de sodio líquido propuestas en este trabajo se presentan en la Tabla 1. En negrita se resaltan los valores para una mayor facilidad en la comparación del suelo natural con respecto a la dosificación óptima escogida.

## CONCLUSIONES

- El agente utilizado para estabilizar química-mecánicamente las subrasantes loésicas erodables cordobesas fue el silicato de sodio líquido ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).
- Para el presente trabajo se estudiaron diversas dosificaciones: 1S:2A:10L, 1S:4A:18L, 1S:5A:22L, 1S:6A:28L, 1S:8A:38L, siendo S el silicato de sodio líquido, A el agua potable y L el loess.

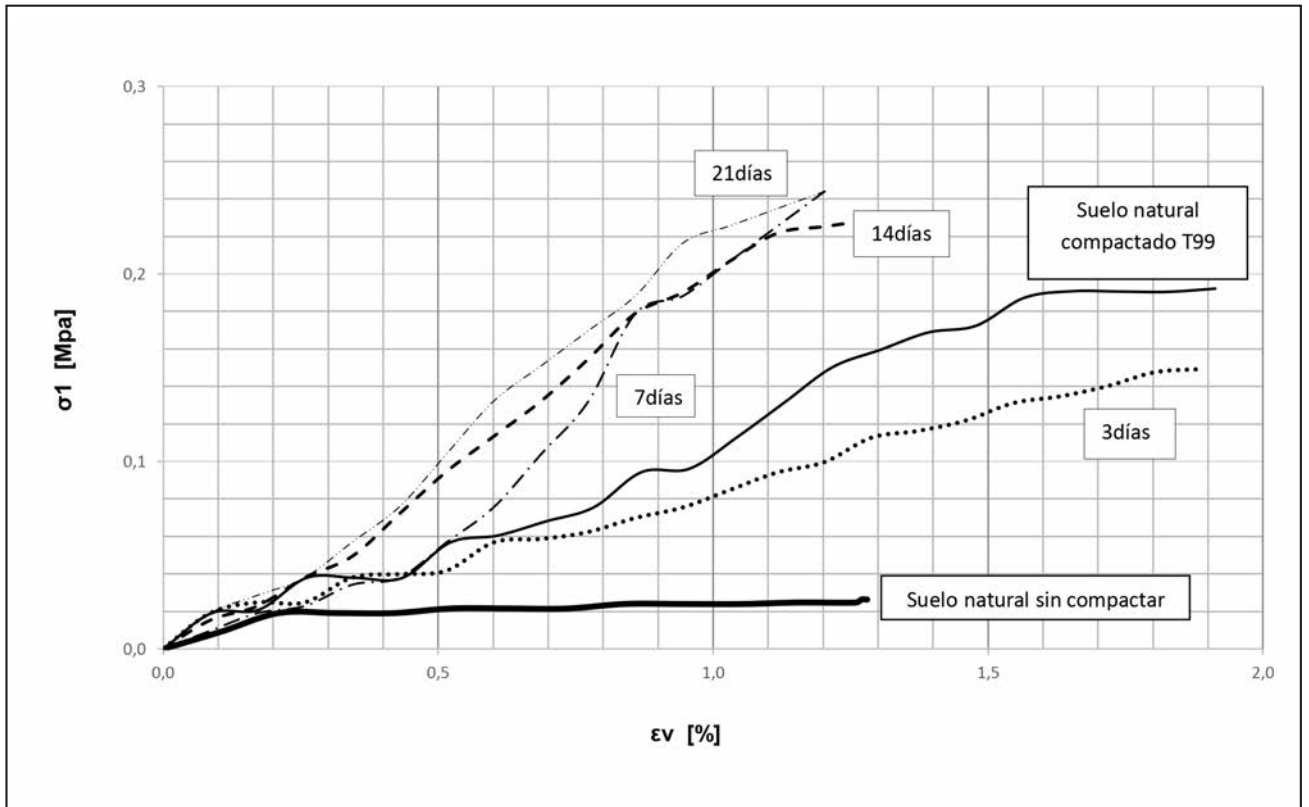


Figura 1. Gráfico de compresión simple en una probeta de suelo natural respecto de la dosificación óptima (1S:2A:10L), a distintos tiempos de curado; siendo S: silicato, A: agua y L: loess.

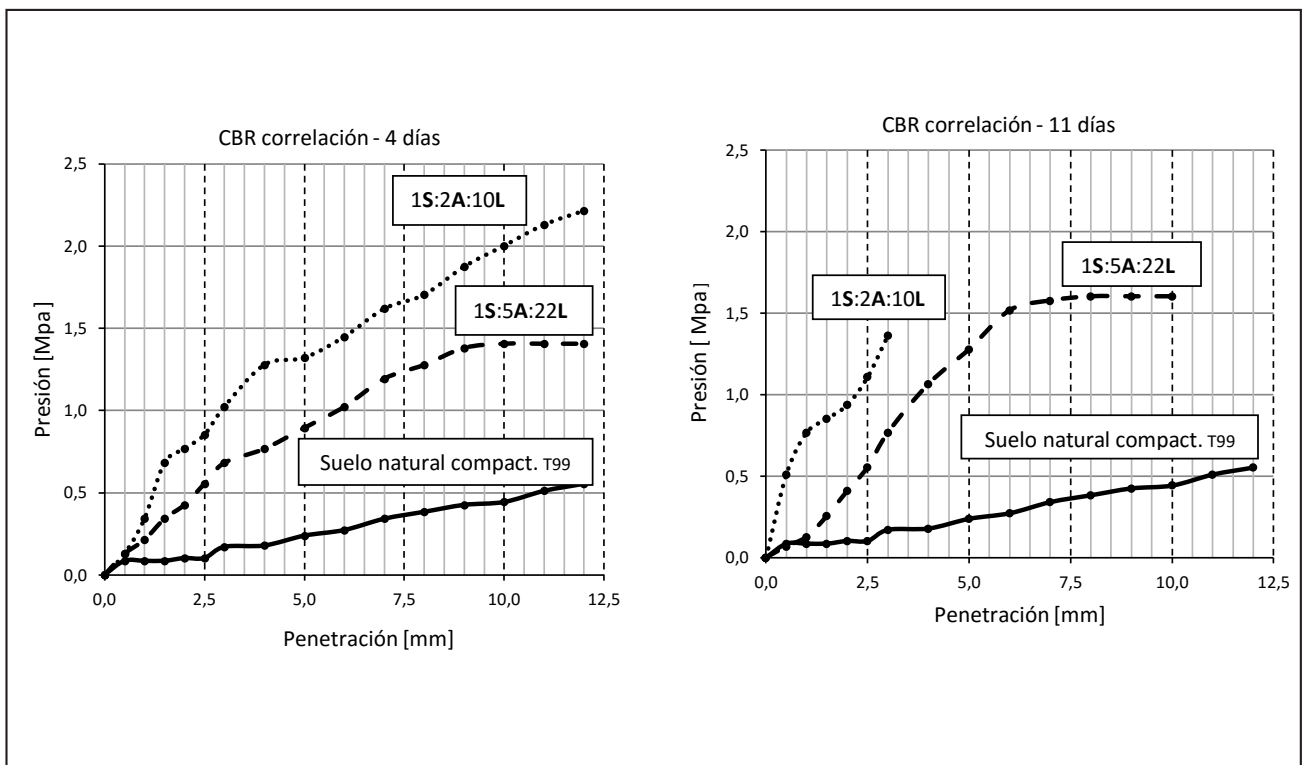


Figura 2. Gráficos de CBR con medición de hinchamiento.

- La relación óptima del silicato de sodio líquido, mezclado con los sedimentos inorgánicos, resultó ser 1S:2A:10L (relación en peso). Esta dosificación aplicada para uso vial, lograría: eliminar la erodabilidad (se obtiene un valor dispersivo en el doble hidrómetro significativamente inferior a 30%), bajar el índice de plasticidad un 8%, y aumentar la resistencia al corte no drenado un 938%. Se mejora el índice CBR<sub>2,5mm</sub> ante hinchamientos un 1085% para un tiempo de curado de 11 días. La dosificación óptima responde a la máxima cantidad de silicato estudiado para una mínima fase líquida de amasado. Un valor mayor de silicato, no permite una adecuada dilución del silicato y por ende no podría incorporarse al suelo para generar una mezcla fluida. Una nueva línea de investigación estudia mezclas del tipo suelo vial que demandan una mayor relación silicato/agua.
- El valor soporte del suelo se incrementa un 30% si en el ensayo de CBR<sub>2,5mm</sub> la probeta permanece sumergida 11 días, en vez de 4, lo que confirma la reacción diferida en el tiempo del silicato de sodio con las sales de calcio del suelo o presentes en el agua intersticial.
- Por todo lo expresado anteriormente puede inferirse que las principales ventajas desde la perspectiva vial de utilizar dicha estabilización en subrasantes no pavimentadas erodables son: “disminuir” la vulnerabilidad a la erodabilidad a corto plazo, “reducir” la cantidad de polvo ambiental, como de baches y acaravamientos en la zona de ancho de camino y, “aminorar” los costos de mantenimiento y rehabilitación anual en dichas vías no pavimentadas. Al no haberse realizado aún ensayos de durabilidad, no se puede tener precisión de los ahorros de costos obtenidos con la estabilización propuesta.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

HURLEY C. H., 1971.

Sodium Silicate Stabilization of soils  
*A review of the literature, University of Illinois, Chicago.*

MORETTO S., 2006.

Tesis de grado sobre Estabilización de suelos loésicos colapsibles mediante inyecciones a base de silicato de sodio, Córdoba.

ZUR, A. Y WISEMAN, G., 1973.

A Study of Collapse Phenomena of an Undisturbed Loess.  
*8° International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2.2, Session 4/43, pp. 265-268. Moscú, URSS.*

Tabla 1. Resultados de ensayos sobre suelo natural, y dosificaciones con silicato de sodio líquido.

Nombre del ensayo	Parámetros resultantes (unidad)	Suelo natural (Loess)	Dosificación (S) silicato de sodio, (A) agua, (L) loess *				
			1S:2A:10L	1S:4A:18L	1S:5A:22L	1S:6A:28L	1S:8A:38L
Identificación	A.A.S.H.T.O.:	<b>A4 a A6</b>	<b>1S:2A:10L</b>	1S:4A:18L	1S:5A:22L	1S:6A:28L	1S:8A:38L
Lavado tamiz 200	$\omega_{T200}$ (%)	99	84	86	87	88	92
	Grava (%)	0	0,67	0,50	0,17	0,17	0,17
	Arena (%)	2	15,0	13,17	12,5	11,5	7,33
Análisis granulométrico	Limo y Arcilla (%)	98	84,33	86,33	87,33	88,33	92,5
	D <sub>10</sub> (mm)	0,170	0,125	0,150	0,160	0,150	0,125
	$\omega_{LL}$ (%)	22,6	27,4	24,6	27,7	21,8	25,1
Límites de Atterberg	$\omega_{LP}$ (%)	20,0	25,0	22,2	25,0	19,1	22,2
	<b>IP (%)</b>	<b>2,6</b>	<b>2,4</b>	2,4	2,7	2,7	2,9
<b>Doble hidrómetro</b>	<b>Erodable</b>	<b>35,9</b>	<b>25,8</b>	26,6	26,1	29,8	32,6
Sales solubles totales	Sales solubles (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Superficie específica	Se (m <sup>2</sup> /gr)	0,61	1,08	NE	0,82	NE	NE
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub> (%)	1,6	2,3	3,2	3,0	3,0	2,9
pH		8,3	9,8	9,6	9,5	9,4	9,3
Proctor estándar	$\omega_{\text{óptima}}$ (%)	17,5	23,0	22,0	21,5	20,0	19,0
	$\gamma_{ss}$ máx (kg/m <sup>3</sup> )	1.660	1.480	1.500	1.530	1.530	1.550
	Índices CBR (%)	1,48**	<b>12,35</b>	NE	8,03	NE	NE
California Bearing Ratio							
4 días	Hinchamiento (%)	-0,6**	+4,5	NE	+3,6	NE	NE
<b>California Bearing Ratio</b>	<b>Índices CBR (%)</b>	<b>1,48**</b>	<b>16,06</b>	NE	8,03	NE	NE
11 días	Hinchamiento (%)	-0,7**	+5,0	NE	+3,8	NE	NE
<b>Compresión simple***</b>	<b>Su (MPa)</b>	<b>0,013</b>	<b>0,122</b>	0,121	0,107	0,121	0,122
	E <sub>1%</sub> def. vertical (MPa)	2,35	22,16	10,00	11,47	7,35	23,83

NE: No Ensayado.

NC: No Corresponde ser ensayado.

\*: Relación en peso. \*\*: A partir de ensayar el suelo natural compactado al peso unitario seco máximo ( $\gamma_{ss}$  máx) y contenido de humedad óptimo ( $\omega_{\text{óptimo}}$ ) del ensayo proctor estándar o T99. \*\*\*: Probetas de suelo-silicato curadas 21 días antes de ser ensayadas a la compresión simple.





## Recurso hídrico y emprendimientos urbanísticos en la costa oriental de la provincia de Buenos Aires

### Water resource and real state ventures on the western coast of Buenos Aires province

Rodriguez Capitulo, Leandro<sup>1</sup> ✉ - Carretero, Silvina<sup>1</sup> - Kruse, Eduardo<sup>1</sup>

Recibido: 06 de diciembre de 2016 • Aceptado: 30 de junio de 2017

#### Resumen

*Se analiza la evolución paleoambiental del cordón costero como el factor regulador de las reservas de agua subterránea dulce disponible y se evalúa su implicancia y consecuencia en el desarrollo socioeconómico de dos zonas costeras de Buenos Aires, Argentina. Este es uno de los destinos turísticos más importantes del país y para su estudio se dividió en sector norte y sur. En el sector sur el agua subterránea explotable se asocia a la evolución paleoambiental holocena y pleistocena superior que generó tres unidades acuíferas interrelacionadas, constituyendo un sistema cuyo espesor útil alcanza al menos los 45 m. En cambio, el sector norte se restringe a dos unidades acuíferas holocenas, cuyo espesor es del orden de 12 m. Las características morfológicas y las mayores reservas de agua subterránea dulce del sector sur son indicadores de mejores condiciones para el crecimiento económico lo cual se refleja principalmente en la expansión de emprendimientos inmobiliarios. El enfoque empleado puede ser utilizado por tomadores de decisiones de otras regiones para evaluar la factibilidad de futuros emprendimientos turísticos basados en la disponibilidad del recurso hídrico asociado a rasgos geomorfológicos.*

**Palabras clave:** *evolución costera, aguas subterráneas, turismo, urbanizaciones, Argentina.*

#### Abstract

*The palaeoenvironmental evolution of the sand-dune barrier is analyzed as the factor regulating the fresh groundwater reserves available and its impact and consequence for the social and economic development of two coastal areas in Buenos Aires, Argentina, are assessed. This is one of the most important tourist destinations in the country; for study purposes, it was divided into a northern sector and a southern sector. In the southern sector, exploitable groundwater is associated with the Holocene and Upper Pleistocene palaeoenvironmental evolution, which generated three interrelated aquifer units, constituting a system whose useful thickness reaches at least 45 m. On the other hand, the northern sector is restricted to two Holocene aquifer units, whose thickness is on the order of 12 m. The morphological characteristics and the occurrence of the largest fresh groundwater reserves in the southern sector are indicators of better conditions for economic growth, which is mainly reflected on the expansion of real estate ventures. The approach chosen may be used by decision makers in other regions to assess the feasibility of future tourism projects on the basis of the availability of water resources associated with geomorphological features.*

**Keywords:** *coastal evolution, groundwater, tourism, urban development, Argentina.*

1. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 64 n° 3, 1900 La Plata, Argentina. Tel: +542214249049, int 14.

✉ leandrorodriguescapitulo@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

El turismo es una de las economías de más rápido desarrollo a nivel mundial y una de las actividades socioeconómicas de importancia en muchas regiones. Las zonas costeras concentran la mayor cantidad de sitios turísticos y número de visitantes. La escasez de agua representa una restricción para esta industria, sin el recurso hídrico actividades como piscinas, campos de golf, parques acuáticos, jardines, spas, complejos deportivos, etc serían inviables (*Gössling, 2006*). La relación entre el turismo y el consumo de agua es un tema relativamente poco investigado y estudios de detalle sobre el uso del recurso hídrico con dicha finalidad en diferentes ambientes geográficos tampoco es abundante (*Gössling, 2006*). Estudios en el Mediterráneo muestran que no son los grandes hoteles los más altos consumidores de agua, sino los golfs, casas particulares, y complejos con jardines y piscinas. El riego de jardines es la causa del mayor consumo (70%) del agua calculada como de uso recreativo en esta región de Europa (*Hof y Schmitt, 2011*). Los Environmental amenities son factores que atraen al visitante para desarrollar actividades de esparcimiento al aire libre, la forestación es uno de ellos. En la costa arenosa de la provincia de Buenos Aires la vegetación típica es de tipo pastizal, pero desde mediados del siglo XX existen sectores que han sido artificialmente forestados con coníferas y que constituyen un atractivo turístico (*Rodríguez Capitulo, 2015; Rodríguez Capitulo y Kruse, 2011*).

Las dunas costeras constituyen reservorios de agua, en ocasiones de pequeña magnitud y en muchos casos son la única fuente de abastecimiento a poblaciones. En Sudamérica los acuíferos que contienen el mayor desarrollo de dunas se encuentran sobre el margen del Atlántico, son del Cuaternario y en general alojan agua de buena calidad. En Argentina se ha estudiado la evolución de las dunas costeras de la provincia de Buenos Aires desde diversos puntos de vista, pero hasta el momento ninguno ha relacionado los caracteres hidrogeomorfológicos de la costa bonaerense con indicadores de desarrollo socioeconómico relacionados al turismo. Los estudios que integran la paleoevolución del ambiente costero a las actividades turísticas son muy escasos y están usualmente referidos a la morfodinámica de las playas sin tener en cuenta el agua subterránea (*El Mrini et al, 2012*).

En este trabajo se analiza la evolución paleoambiental del cordón costero como el factor regulador de las reservas de agua subterránea dulce disponible y se evalúa su implicancia y consecuencias en el desarrollo socioeconómico de dos zonas de la costa oriental arenosa bonaerense, una en su porción norte (Partido de La Costa) y otra en la sur (Partido de Pinamar).

No existen investigaciones de este tipo en la región, y un estudio integral de las características propuestas puede resultar de interés a las autoridades que intervienen en el área costera.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la costa arenosa de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, que geopolíticamente incluye a los Partidos de La Costa (sector norte) y Pinamar (sector sur) (Figura 1). Cada Partido a su vez se divide en localidades encontrándose en La Costa, de norte a sur, San Clemente del Tuyú, Las Toninas, Santa Teresita, Mar del Tuyú, Costa del Este, Aguas Verdes, La Lucila, San Bernardo, Mar de Ajó, Nueva Atlantis y Punta Médanos. Por su parte Pinamar comprende a

las localidades de Montecarlo, Pinamar, Ostende, Valeria del Mar y Cariló.

Este es uno de los destinos turísticos más importantes del país. La actividad económica dominante es el turismo, no existen industrias, ganadería, agricultura u otras actividades importantes por lo que se considera que el uso del agua es casi exclusivamente para consumo humano y recreativo. La población, que depende íntegramente del acuífero costero para el suministro de agua, se incrementa notablemente durante el verano.

La mayoría de las localidades del sector norte no poseen servicio de agua potable y la población se abastece mediante pozos domiciliarios individuales, sin tratamiento del agua. Un pequeño porcentaje de los habitantes cuenta con suministro de agua de red entre ellos San Clemente del Tuyú. En esta localidad la red alimenta principalmente la zona céntrica. La extracción del recurso se realiza a partir de un campo de bombeo situado hacia el sur fuera de la zona urbanizada, mediante sistemas tipo Wellpoint, y Ranney. Existe una planta potabilizadora donde se trata el agua extraída (abatimiento de Fe y Mn) para su distribución

En el caso del sector sur el sistema de abastecimiento se realiza a partir de una red de pozos convencionales distribuidos en Pinamar, Ostende y Valeria del Mar los cuales alimentan a una red unificada. Se diferencian dos tipos de captaciones, las primeras son destinadas al consumo humano mientras que las segundas son destinadas principalmente al riego de parques y jardines y eventualmente para el consumo humano. La metodología empleada genera a nivel local conos o áreas de abatimiento que se reconocen en las fluctuaciones de los niveles freáticos y en la evolución de los mapas de flujo subterráneo.

En el sector norte las localidades con mayor desarrollo poseen servicio de red cloacal el cual es manejado por Cooperativas de Obras y Servicios (San Clemente, Las Toninas, Mar del Tuyú, San Bernardo, Mar de Ajó). Si bien la cobertura no llega al 100%, se destaca que los sectores con mayor grado de urbanización se encuentran dentro del área servida. Las plantas depuradoras de líquidos cloacales se localizan fuera del ambiente del cordón costero, en la llanura deprimida y descargan los efluentes tratados a arroyos que desaguan en la Bahía de Samborombón. A diferencia del caso anterior, el sistema empleado en el sector sur consta de un sistema de lagunas de oxidación ubicado dentro del cordón costero en donde las aguas tratadas son reinfiltradas nuevamente al sistema acuífero en el mismo sitio donde son tratadas. Este sistema muestra una baja eficiencia la cual se asocia a problemas de impermeabilización del sistema de lagunas como así también los prolongados tiempos de residencia del efluente dentro del cuerpo receptor, generando por lo general el desborde en los períodos de mayor afluencia turística. Esta condición pudo ser advertida al analizar la distribución de las concentraciones de los compuestos nitrogenados, en particular la del nitrato, las cuales muestran valores máximos en los alrededores de dicha planta (*Rodríguez Capitulo, 2015*).

El clima de la región es templado húmedo, con una estación de menores precipitaciones en los meses fríos (abril-septiembre) y una húmeda en los meses cálidos (octubre-marzo). La precipitación media anual oscila entre los 900 y 1000 mm, donde el 60% se produce en los meses con mayor evapotranspiración (meses cálidos) por lo que la mayor recarga se produce durante la estación fría (*Carretero y Kruse, 2012*).

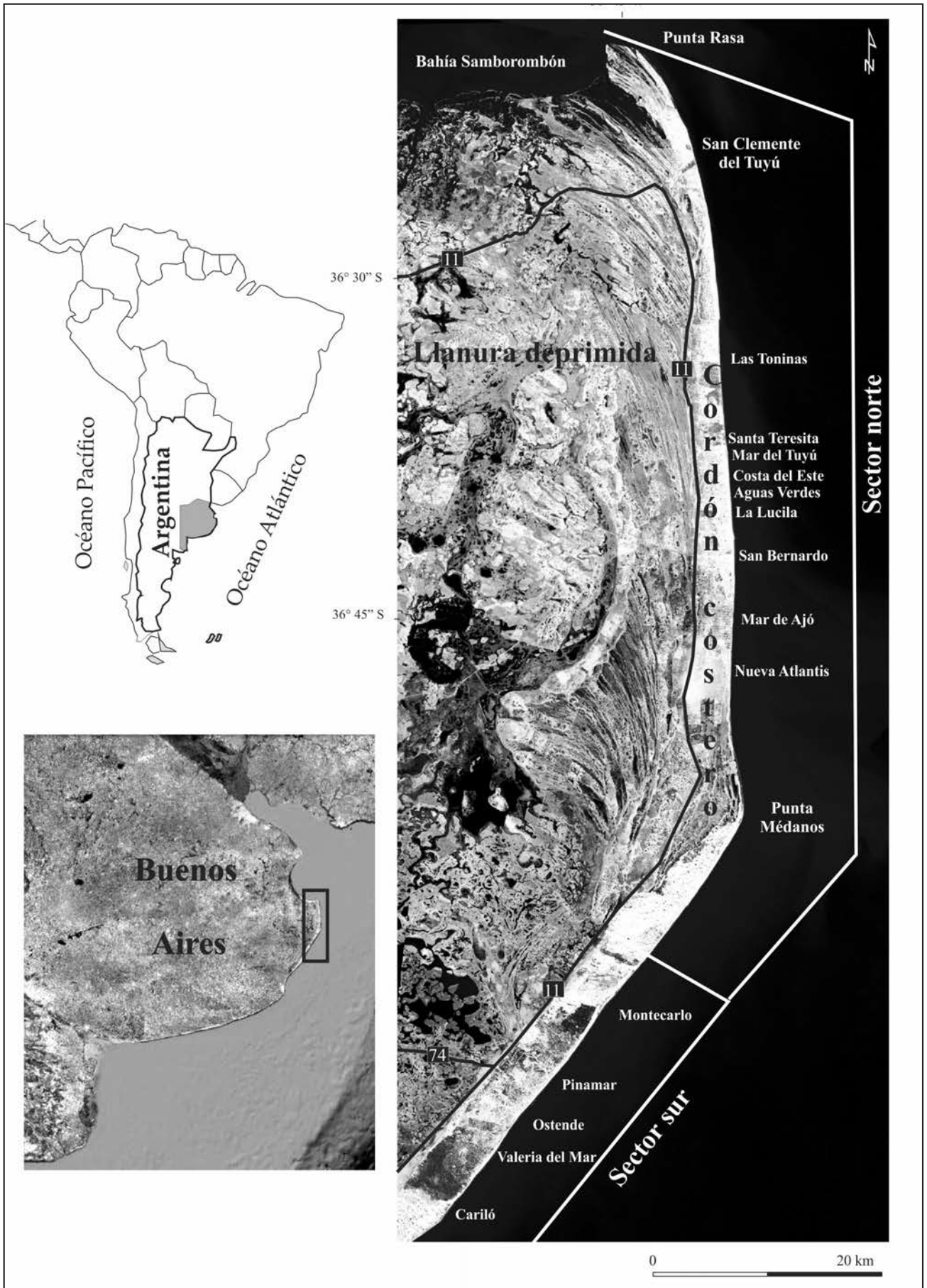


Figura 1. Área de estudio.



La recarga general se produce exclusivamente a partir de los excesos de las precipitaciones sobre la capa freática cuya morfología es radial con curvas equipotenciales paralelas a la línea costa indicando un sentido de flujo subterráneo hacia el mar y otro hacia el continente con un gradiente hídrico que varía entre 1,5 y 4 km/m. En función del tipo de cobertura identificada se reconocen mayores excesos en el suelo desnudo (470 mm/año) con respecto a suelo forestado (261 mm/año), indicando mayor evapotranspiración para la cobertura arbórea (Rodríguez Capitulo y Kruse, 2012). Este fenómeno es particularmente importante en el sector sur debido a la extensa superficie forestada. En términos generales, la divisoria de agua subterránea coincide con las máximas alturas topográficas siguiendo una línea imaginaria orientada en sentido sudoeste-noreste. En el sector norte, el espesor del acuífero oscila entre 10 y 15 m con profundidades de los niveles freáticos menores a los 3 m b.b.p., mientras que, en el sector sur, la posición del nivel supera los 6 m b.b.p. en un acuífero de entre 20 y 40 m de potencia. La oscilación de los niveles a lo largo del año responde a la distribución de los excesos del balance hídrico, los cuales se manifiestan a partir de un ascenso generalizado de los niveles durante los meses más fríos y un descenso durante los más calurosos.

Desde un punto de vista hidroquímico ambos sectores muestran aguas de baja salinidad las cuales presentan un predominio del tipo bicarbonatado cálcico sódico y cuyo comportamiento es el típico para aguas de reciente infiltración (Rodríguez Capitulo, 2015). En el partido de La Costa el espesor útil del acuífero se ve limitado debido a la existencia de una zonación química y un abrupto gradiente vertical de la conductividad a los 5-7 m de profundidad (Carretero et al., 2016). Este fenómeno no se observa en el sistema acuífero del sector sur, resultando un mayor espesor útil de agua de buena calidad.

Una de las problemáticas existentes en ambos sectores (norte y sur) se relaciona con las elevadas concentraciones de Fe total y Mn, cuyo origen se vincula con la composición mineralógica de las arenas que conforman el reservorio subterráneo (Rodríguez Capitulo, 2015; Carretero et al., 2015). Otro de los problemas relacionados con la calidad del agua se refiere a procesos puntuales de salinización tanto en el sector norte (Santa Teresita) (Carretero et al., 2013; Perdomo et al., 2013), como también en el sector sur, en las localidades de Pinamar, Valeria del Mar y Cariló. Estos procesos se vinculan con la extracción intensiva del recurso favoreciendo el avance del frente salino, el cual se verifica a partir de un salto abrupto de los valores de conductividad eléctrica en pozos situados en la línea de costa (Figura 2).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó la evolución de la población de acuerdo a las estadísticas publicadas por el INDEC (2010). En base al análisis de las encuestas realizadas en ambos partidos se obtuvo información que contribuyó a definir las similitudes y diferencias de la actividad económica más importante de la región. Dichas encuestas fueron realizadas por la Secretaría de Turismo, Cultura y Educación, Municipalidad de Pinamar (2015) y la Secretaría de Turismo, Deportes y Cultura, Municipalidad de La Costa (2015) para la temporada estival 2014-2015.

Se recabó información sobre la existencia de emprendimientos urbanísticos (EU) (ARBA, 2015) y la cobertura que representa en cada uno para así establecer la importancia de esta actividad económica. Se estimó el consumo de agua total para los emprendimientos considerando la población proyectada

para cada uno, asumiendo un consumo medio de 200 L/d (Planas et al., 2000). Los valores de agua utilizada para riego, los cuales no son menores en este tipo de urbanizaciones, se han estimado a partir de Domene y Sauri (2006) y Hof y Schmitt (2011). Estos autores establecen que el volumen de agua para la irrigación de jardines oscila entre el 40 y 50% del consumo humano. Los EU que cuentan con campos de golf presentan un consumo extra mayor a 500m<sup>3</sup>/d. Se ha realizado una generalización a partir de Durán Valsero et al. (2001) y Lyman (2012) quienes han calculado un valor medio de riego para la superficie estándar de un campo de golf de 18 hoyos. Durante el período comprendido entre 2011 y 2014 se realizaron perforaciones con profundidades entre 10 y 40 m. Los sistemas de perforación fueron manuales y rotativos con inyección de lodo. Se logró contar con la descripción detallada de 47 perforaciones totalizando 1260 metros lineales de perforación y 252 kg de muestras de cutting. El muestreo de cutting de perforación se realizó mediante la utilización de tamices efectuándose una descripción mesoscópica de campo y en el laboratorio llevó cabo el análisis mineralógico y granulométrico con lupa binocular. La determinación de la fracción carbonática se realizó mediante la reacción de efervescencia con ácido clorhídrico. La descripción cualitativa y porcentual de los componentes minerales de los sedimentos se efectuó a partir de una selección estadística. Esta información permitió la definición del perfil litológico para los diferentes ambientes sedimentarios y en base a ello se efectuó la reconstrucción paleoambiental. Adicionalmente y para mejorar la resolución del perfil geológico se incluyó la descripción litológica de perforaciones exploratorias realizadas por González Arzac et al. (1991). Se asignaron hidrofacies de acuerdo a los comportamientos hidráulicos de las unidades litoestratigráficas identificadas. Se define como hidrofacia a una unidad sedimentaria homogénea que, formada bajo condiciones particulares, conduce a un comportamiento hidrogeológico particular (Anderson, 1989).

La interpretación regional de los estadios evolutivos se realizó en base a los términos definidos por Nichols y Allen (1981) para ambientes del tipo costas microtidales y lagunas internas. El resultado de la descripción litológica del material de cutting se utilizó para realizar perfiles geológicos longitudinales y transversales al cordón costero a partir de los cuales fue posible evaluar la continuidad de los niveles sedimentarios en profundidad y asignarles un comportamiento hidrogeológico. La reconstrucción paleoambiental se realizó a partir de la recopilación de información antecedente principalmente de Parker y Violante (1989) y Parker (1991), en tanto que las interpretaciones regionales se basaron en el enfoque propuesto por Violante et al. (2001) y por Cavalloto (2011) quienes describen el esquema evolutivo regional durante el Pleistoceno y el Holoceno.

La caracterización hidráulica de los niveles acuíferos se llevó a cabo mediante la realización de ensayos de bombeo a caudal constante utilizando el método de Theis (1935), Hantush y Jacob (1955) y Neuman (1975) los cuales permitieron obtener los parámetros hidráulicos del acuífero.

## RESULTADOS

### Condiciones geológicas - geomorfológicas y el sistema hidrogeológico

El cordón costero (CFI, 1989; Violante et al., 2001) se extiende entre Punta Rasa, en el norte, y Mar Chiquita, en el sur, con un ancho que varía entre 2 y 4 km. Limita hacia el oeste con la llanura deprimida que se caracteriza por cotas inferiores

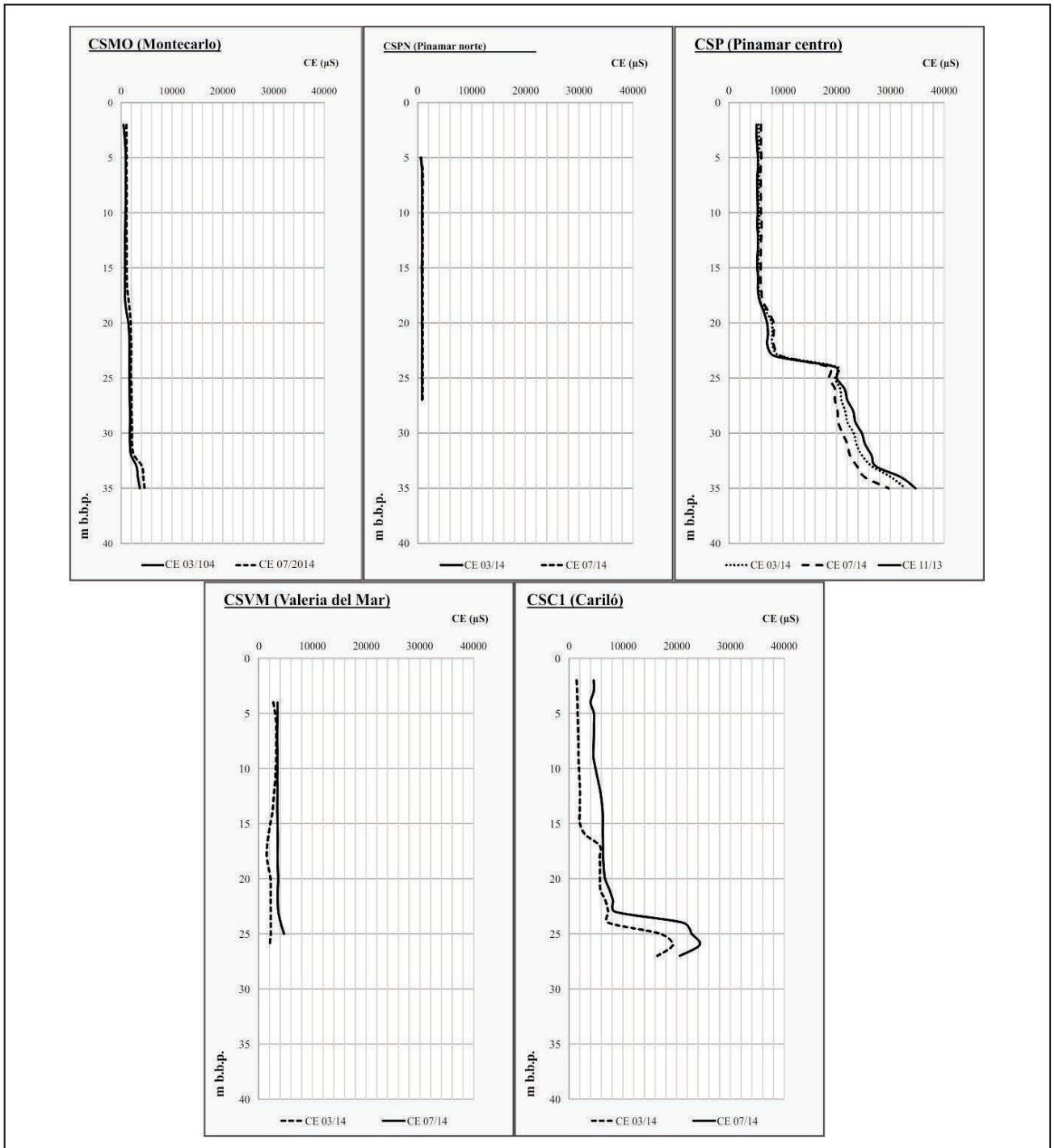


Figura 2. Perfiles de conductividad eléctrica (CE) situados sobre la línea de costa.

a 2 m s.n.m., y un predominio de materiales limosos y arcillosos, con cañadones en dirección sudeste-noroeste que drenan hacia la Bahía de Samborombón.

Los médanos del cordón costero son bajos (cotas entre 2 y 11 m s.n.m.) y fijados por escasa vegetación en el sector norte, mientras que en la zona de Punta Médanos y en Pinamar alcanzan cotas máximas que varían entre 28 y 36 msnm. En este ambiente los suelos son arenosos, no presentan desarrollo de horizontes, son excesivamente drenados e inestables limitando así, casi totalmente su capacidad de uso para la actividad agroganadera.

El comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de las aguas subterráneas está condicionado por la evolución geológica - geomorfológica ocurrida durante el Cuaternario. De acuerdo a la información antecedentes y los perfiles geológicos (Figura 3,4 y 5) confeccionados a partir de las perforaciones realizadas fue posible definir un esquema evolutivo geológico - geomorfológico durante el Pleistoceno superior - Holoceno. El mismo consta de 4 estadios (Figura 6). Estos estadios reflejan la evolución de un área costera asociada a procesos transgresivos y regresivos que se caracterizan por una sedimentación con fuertes variaciones laterales tanto en espesores como en su composición litológica.

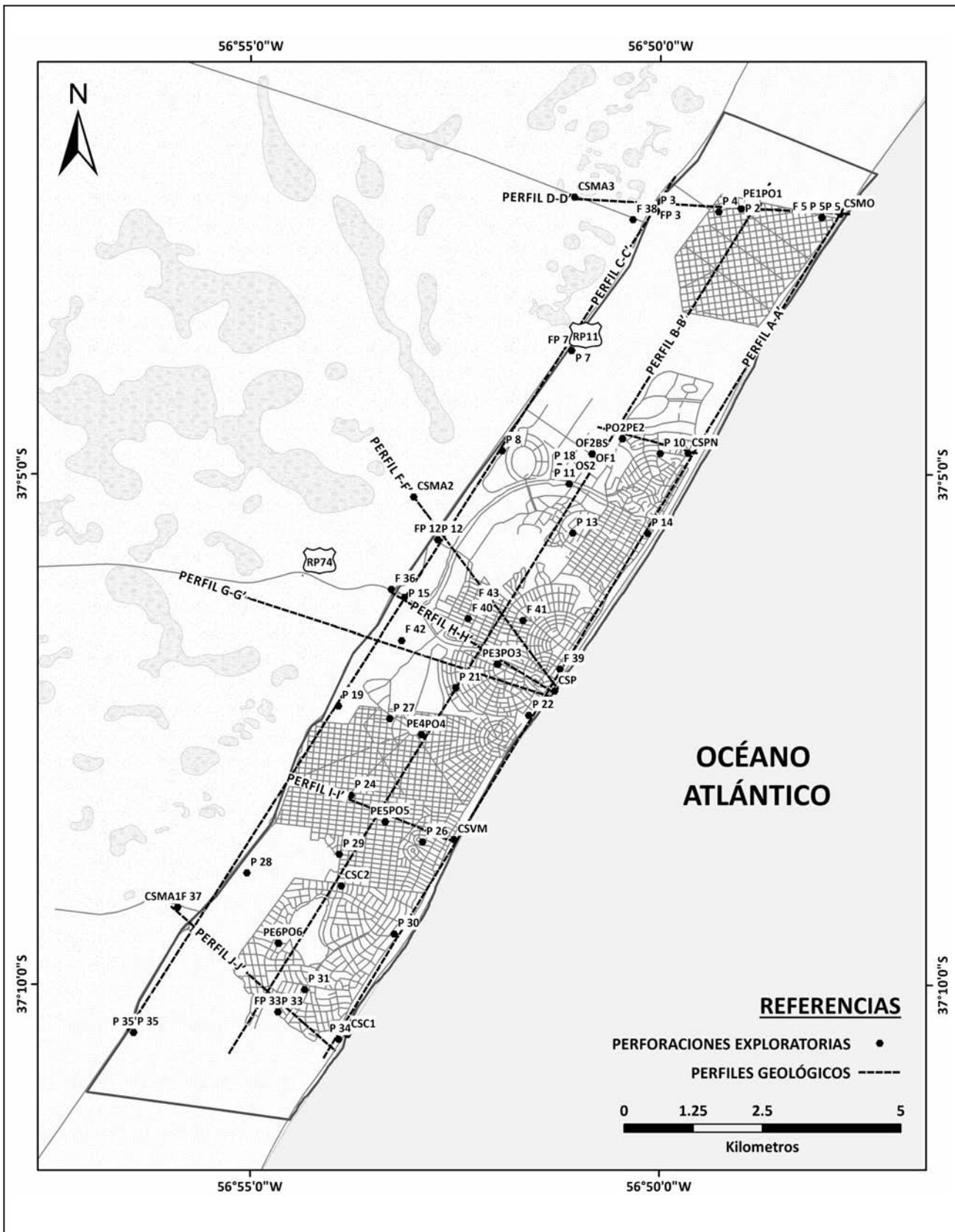


Figura 3. Mapa de localización de las perforaciones y los perfiles asociados.

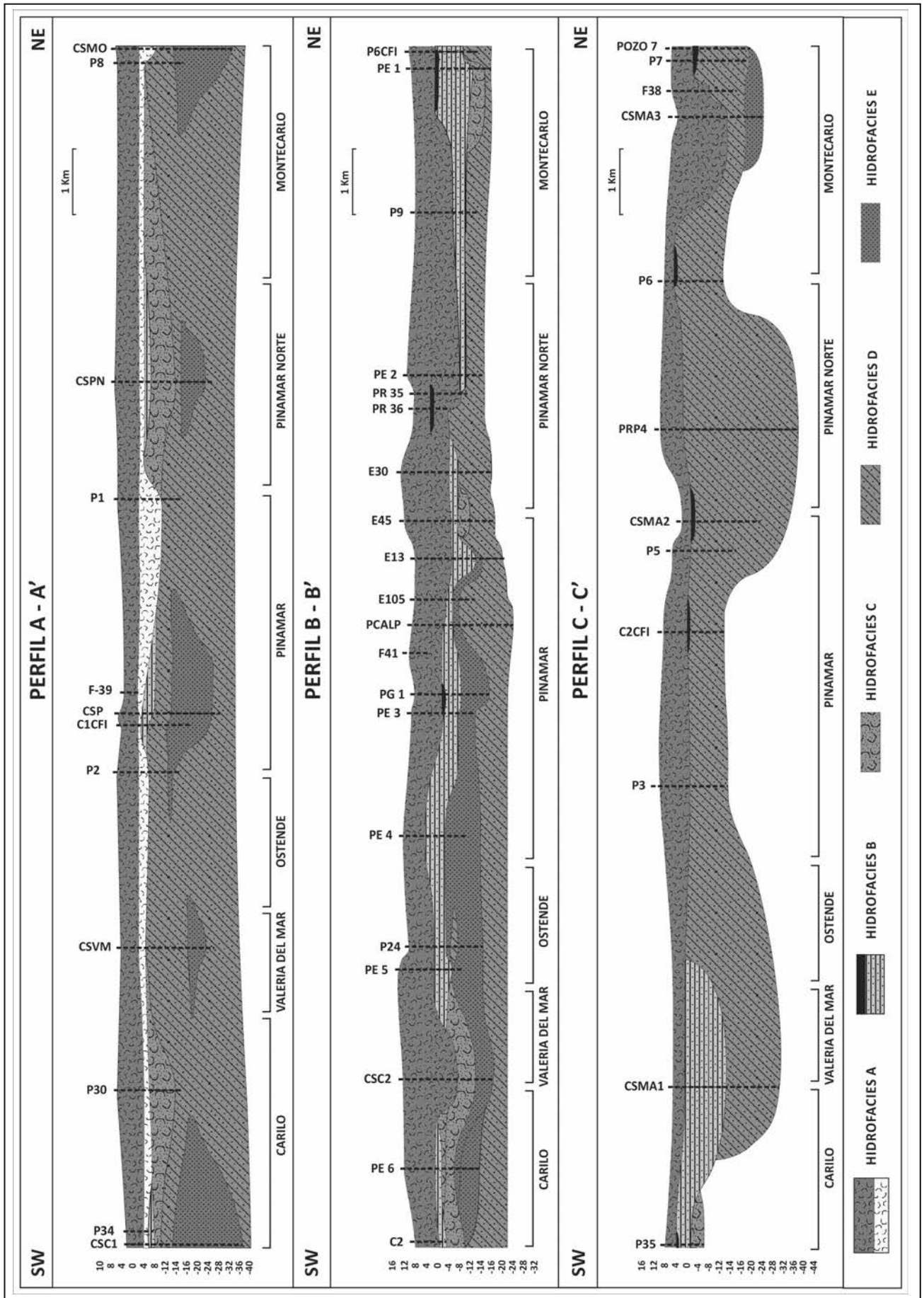


Figura 4. Perfiles A-A', B-B' y C-C' (Modificado de Rodrigués Capitulo y Kruse, 2016).

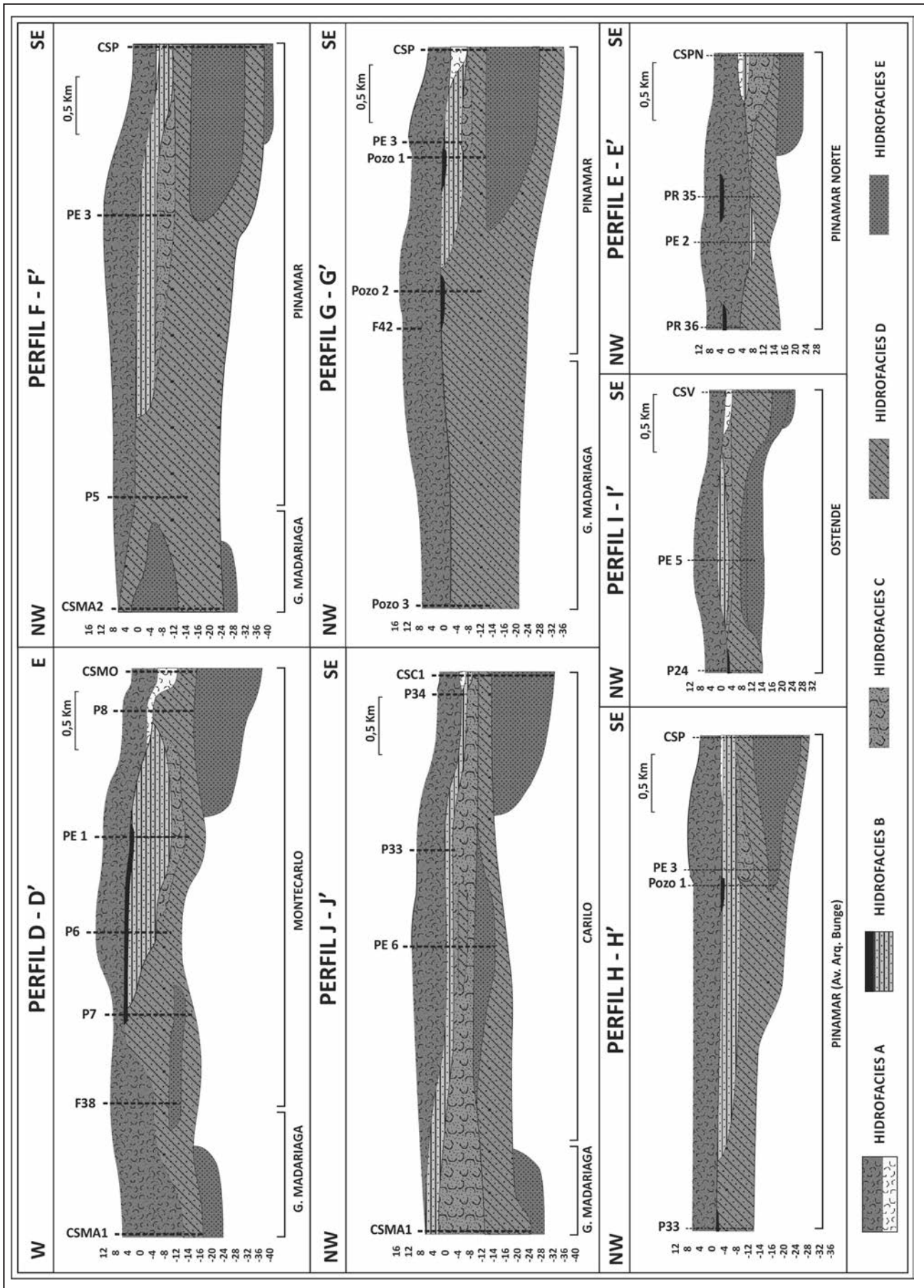


Figura 5. Perfiles D-D', E-E', F-F', G-G', H-H' e I-I' (Modificado de Rodrigues Capitulo y Kruse, 2016).

Geológicamente el sistema comprende:

- Pleistoceno superior (Estadios I y II), que incluye a “limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas” con interdigitaciones de lentes o mantos de “arena muy fina”.
- Holoceno temprano (Estadio III), que abarca el desarrollo coetáneo de “arenas medianas” relacionadas a barreras transgresivas y “arcillas grises con intercalaciones arenosas” formadas en un ambiente de baja energía el cual estaría restringido solo al sector sur. El paisaje correspondiente para este intervalo se correspondería con el de lagunas internas y costas microtidales (*Nichols y Allen, 1981*) parcialmente aisladas del sistema marino. En este ámbito, la actividad marina predomina sobre los procesos continentales, ya sea por la acreción de las barreras areno-conchilíferas en sentido vertical, como también la creación de aperturas temporales de canales (Inlets) que permiten el ingreso de agua de mar al sistema de lagunas internas o albuferas entre otras geoformas. En los sectores más aislados de la dinámica marina se habrían desarrollado incipientes suelos y pantanos los cuales han sido descritos en este trabajo como horizontes orgánicos. En concordancia con los escenarios planteados por *Violante et al. (2001)* e *Isla et al. (1996)*, este tipo de ambientes habrían ocurrido tanto durante el proceso transgresivo como en el regresivo. Dicha condición explicaría la alternancia de las arenas y las arcillas observada en algunas perforaciones.
- Holoceno tardío (Estadio IV), representado por las “arenas finas” de la cadena de médanos actual.

La aplicación de este esquema desde un punto de vista hidrogeológico posibilita reconocer las siguientes hidrofacies (Figura 6):

- A (arena fina con conchilla): acuífero que contiene a la zona no saturada y a la capa freática. Los espesores oscilan entre los 2 y los 15 m. Los valores de T y K promedio son de 174 m<sup>2</sup>/d y 20 m/d respectivamente, mientras que el almacenamiento (S) es de 0,10.
- B (arcilla gris con intercalaciones arenosas): nivel acuitado entre las hidrofacies A y C con espesores máximos de 12 m. Los valores de T' y K' son de 1x10<sup>-4</sup> m/d, 1x10<sup>-5</sup> d<sup>-1</sup> en cada caso.
- C (arenas medianas): nivel acuífero con espesores que alcanzan los 12 m en el sector central. Los rangos de transmisividad y permeabilidad van de los 45 y los 70 m<sup>2</sup>/d y de 10 y los 20 m/d, mientras que el de almacenamiento es de 1x10<sup>-3/4</sup>.
- D (limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas): nivel acuitado entre las hidrofacies C y E con valores de T' y K' son de 1x10<sup>-2/3</sup> m/d, 1x10<sup>-3/4</sup> d<sup>-1</sup> en cada caso y cuyos espesores máximos alcanzan los 40 m.
- E (lentes arenosas muy finas): unidad acuífera incluida en forma de lentes de hasta 20 m de espesor dentro de las hidrofacies D. Los valores de T y K se sitúan entre los 15 y los 150 m<sup>2</sup>/d y entre los 4 y 40 m/d, mientras que el almacenamiento se encuentra en el rango de 1x10<sup>-3/4</sup>.

Este sistema hidrogeológico se caracteriza por su continuidad hidráulica con una variada conexión entre los niveles

acuíferos, la cual es función de la presencia y variaciones en el espesor de los niveles acuitados.

Los resultados obtenidos para San Clemente (sector norte) y Pinamar (sector sur) permiten advertir diferencias en los grados de expresión y desarrollo de los tipos litológicos en cada caso. Desde un punto de vista práctico, estas diferencias condicionan el desarrollo de dos sistemas hidrogeológicos, que, si bien pertenecen a la misma geoforma, presentan esquemas de funcionamiento diferentes.

El sector norte (Partido de La Costa), el nivel acuífero que abastece a la población se encuentra restringido exclusivamente a la hidrofacies A y C cuya potencia en forma conjunta raramente supera los 12 m. El basamento hidrogeológico en esta área lo constituye un paquete arcilloso que limita al agua dulce de las salobres que caracterizan al sistema acuífero profundo.

El sistema en el sector sur se compone de 3 niveles acuíferos. Las hidrofacies A, C, representan a ciclos sedimentarios del Holoceno mientras que la hidrofacies E es de génesis Pleistocena superior. Estos 3 niveles acuíferos son explotados en forma simultánea constituyendo, en función de la existencia y composición de los niveles de menor permeabilidad (acuitados), un sistema hidráulico interconectado cuyo espesor útil alcanza al menos los 45 m de espesor

#### Población y desarrollo turístico

En los últimos 40 años se ha producido un constante aumento de la población con diferentes tasas de crecimiento según los sectores. La densidad poblacional es mayor en el sector sur (Pinamar 390 hab/km<sup>2</sup>) que en el norte (La Costa 280 hab/km<sup>2</sup>) con un total de 25.728 habitantes para el primero y 69.633 para el segundo (*INDEC, 2010*). Se destaca que en el sector sur en el periodo 1991-2001 el incremento fue de más del 100%.

El turismo que se produce en la época estival, especialmente en enero y febrero hace que la población se incremente más de 10 veces la población normal de la región. En el sector norte la influencia de turistas puede superar los 2.700.000 de habitantes en su superficie de 249 km<sup>2</sup>, mientras que, en el sur, los 1.000.000 de habitantes en un área de 66 km<sup>2</sup>

El lugar de residencia de los turistas que visitan el área de estudio es principalmente de la capital del país (ciudad de Buenos Aires) y de provincia de Buenos Aires, en una menor proporción del interior del país (10%) y extrajeros (1%). El grupo vacacional para ambos lugares se compone preferentemente por familias (60-74%) seguido en orden por parejas (20-27%) y amigos (6-10%).

La condición laboral del visitante es principalmente de personas en actividad con empleo, siendo mayor el porcentaje en Pinamar. La diferencia encontrada es que en el Partido de La Costa hay un mayor porcentaje de jubilados, resultando menor la cantidad de visitantes ocupados respecto de Pinamar lo cual implica un menor poder adquisitivo y de inversión en la región.

El poder adquisitivo del turista del sector sur es mayor que del sector norte. Si bien en ambos casos el mayor porcentaje (30-36%) de los turistas tienen ingresos medios, en el caso del sector sur un 20% corresponde a un segmento de altos ingresos y resulta la diferencia más importante con el sector norte.

En los dos sectores la mayoría de los turistas permanecen 15 días en el destino, pero en el sur el porcentaje es mayor (47%) que en el norte (23%). Estadías de una semana le siguen en el

orden, donde el 25% de los visitantes eligen esta duración para sus vacaciones. Se destaca que en el sector sur el 10% permanece más de un mes mientras que en el norte este valor no llega al 5%.

Si bien el cordón costero se caracteriza por la actividad turística en toda su extensión, existen diferencias en cuanto a los productos turísticos que en él se explotan. En términos generales sus principales atractivos incluyen entre otros, los centros comerciales, la actividad balnearia y deportiva desarrolladas en el continente (golf), en el mar (windsurf, kite, etc.) y en el sector de dunas (motocross y travesías 4x4).

En términos generales las playas del sector norte son amplias y llanas y se extienden entre 100 a 150 metros de ancho. En algunas localidades este paisaje está siendo afectado por procesos erosivos, lo cual ha llevado a su reducción junto con la cadena de médanos activos afectando a la actividad balnearia. Se destaca el sector entre Nueva Atlantis y Punta Médanos por poseer playas casi inexploradas. El sector norte no se caracteriza por poseer una gran superficie de bosques. Existen dos clubes de golf, uno en Santa Teresita con un predio de 54 Ha de exuberante vegetación y otro ubicado en Costa Esmeralda al sur de Punta Médanos.

En el sector sur (Partido de Pinamar), el principal atractivo turístico lo constituyen los bosques de coníferas, los cuales

abarcan más de la mitad de la superficie total. Este tipo de cobertura le otorga al sector un paisaje distintivo el cual permite combinar elementos propios con otros que son típicos de otras regiones geográficas. Esta situación representa un atractivo adicional relacionado con el sector inmobiliario y de la construcción.

De manera paralela y asociada al turismo la proliferación de emprendimientos inmobiliarios es una de las actividades que más se ha desarrollado durante las últimas 5 décadas. El sector norte cuenta solo con cuatro emprendimientos inmobiliarios de tipo barrio cerrado de reducida superficie (Figura 6, Tabla 1). Al sur de Punta Médanos se encuentran en desarrollo otros tres emprendimientos de mayor extensión y oferta de servicios. En estos emprendimientos se advierte la existencia de lagunas artificiales alimentadas por la capa freática y en muchos casos utilizadas como reserva para riego de los espacios públicos.

El sector sur (partido de Pinamar), cuenta con numerosos emprendimientos urbanísticos de mediana y gran envergadura de los cuales los más relevantes se muestran en la Figura 6 y Tabla 1. Este tipo de emprendimientos contemplan también la creación de cuerpos de aguas superficiales los cuales deben ser alimentados permanentemente mediante el bombeo de perforaciones de agua subterránea.

Tabla 1: Distribución de emprendimientos urbanísticos por sector.

Sector	District	Emp. Urbanísticos N°	Area emprendimiento urbanístico (km <sup>2</sup> )	Σ Area emprendimiento urbanístico (km <sup>2</sup> )	Σ Area emprendimiento urbanístico / Area Partido
Norte	Partido de La Costa (Norte)	1	0.92	2.54	0.010
		2	0.21		
		3	1.34		
		4	0.07		
	Partido de La Costa (Sur)	5	9.96	27.33	0.11
		6	7.25		
		7	10.11		
Sur	Partido de Pinamar	8	0.03	3.73	0.053
		9	0.06		
		10	1.20		
		11	0.05		
		12	1.55		
		13	0.22		
		14	0.52		
		15	0.10		

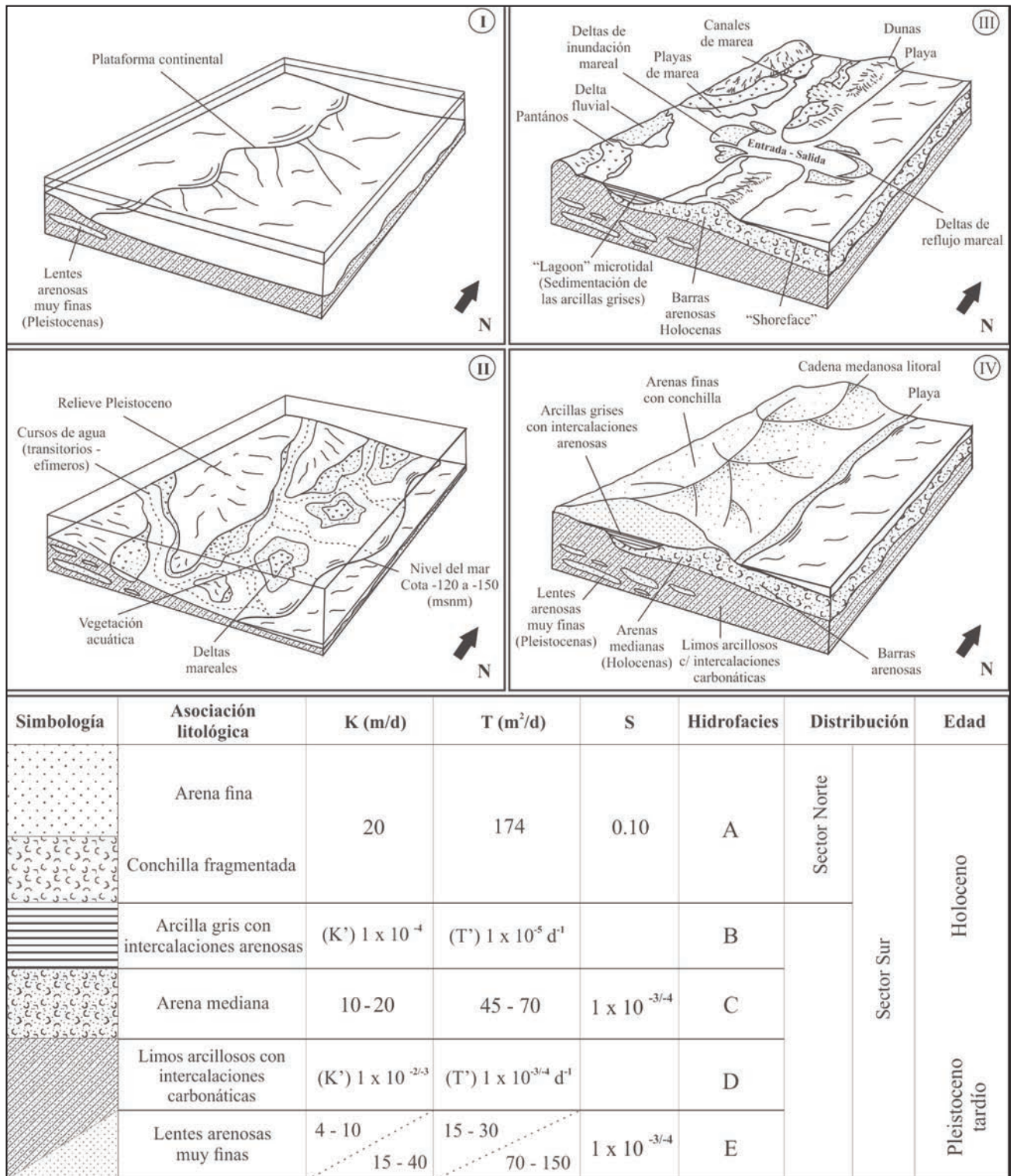


Figura 6. Esquema geológico evolutivo para el Pleistoceno superior - Holoceno (Sup). Esquema hidrogeológico (Inf).

Tal como se puede advertir las actividades desarrolladas en este sector albergan, en relación al sector norte del cordón costero, a un segmento social reducido que, en términos generales, posee un mayor poder adquisitivo, como lo reflejan las estadísticas relevadas por la secretaría de turismo del Partido.

En Punta Médanos, que según el límite político pertenece al Partido de La Costa (norte), las características naturales son asimilables a las del Partido de Pinamar (sur). Una mayor

disponibilidad del recurso hídrico ha posibilitado el planteo de paisajes de tipo boscoso, jardines que demandan riego y conservación de lagunas tanto de valor ornamental como para el desarrollo de actividades náuticas. La presencia de importante forestación en estos emprendimientos (Figura 7) contribuye con la idea de que este sector no se diferencia del área natural donde se desarrolla Pinamar reforzando la idea de que la geomorfología es el factor que condiciona el desarrollo económico.



La relación entre la superficie del sector sur y la totalidad de emprendimientos es de 0,053 mientras que para el norte es de 0,01 (Tabla 1). El sector sur estaría ofreciendo mejores condiciones para el desarrollo de estas urbanizaciones. Por otro lado, en Punta Médanos, la relación (0,11) es superior a los otros dos casos, resultando que, a futuro, esta área prácticamente inexplorada hasta hace unos pocos años, se transformará en una urbanización de relevancia.

#### **Relación entre factores socioeconómicos y disponibilidad de agua asociada a la evolución paleoambiental**

Existen una serie de relaciones entre la evolución paleoambiental regional de los dos sectores con la distribución de los recursos hídricos subterráneos y el rol de estos últimos como factor condicionante del crecimiento y desarrollo vinculado al sector turístico e inmobiliario.

En los dos sectores analizados, el crecimiento poblacional se destaca como un indicador común del desarrollo socioeconómico. A su vez, se reconoce una similitud en los sistemas acuíferos del cordón costero ya que comparten una historia geológica similar. Los factores geodinámicos, han condicionado la distribución de los sedimentos Pleistocenos-Holocenos, que son portadores de la única fuente disponible de agua en cada sector. Sin embargo, existen diferencias entre el sector norte y el sector sur que influyen en el desarrollo de las actividades socioeconómicas.

El sector norte se caracteriza por una menor densidad poblacional, siendo la afluencia turística cubierta por personas con menor poder adquisitivo, menor posibilidad de inversión y tiempo de permanencia durante sus períodos de descanso. En la época turística la concentración de población alcanza a 10.000 hab/km<sup>2</sup>. Los emprendimientos urbanísticos están restringidos debido a que el recurso de agua dulce disponible es de menor magnitud y está destinado, mayormente, al abastecimiento a la población no dejando margen para la generación de lagunas, o riegos. Además, existe una escasa cobertura en la distribución de agua potable a la población.

Los rasgos geomorfológicos diferenciales en el sector norte se asocian a un espesor acuífero de agua dulce relacionado con el Holoceno que no supera los 12 m y un nivel freático que se ubica por encima de los 3 m b.b.p. Las reservas reguladoras disponibles son del orden de 42 mm/km. Las unidades hidrogeológicas tienen prácticamente la mitad del espesor que, en el sector sur, y se registra una zonación química vertical que disminuye la disponibilidad del reservorio de agua dulce.

A diferencia de lo que ocurre con lo descrito en el sector norte, el sector sur (Pinamar) se caracteriza por una mayor densidad poblacional, reconociéndose un progreso más acelerado. En los meses de verano se estima una concentración de población de 15.500 hab/km<sup>2</sup>. El perfil del turista presenta un alto poder adquisitivo invirtiendo más en la región y vacacionando por más días. El servicio de abastecimiento de agua potable presenta una mayor cobertura (45%). Las inversiones en emprendimientos inmobiliarios asociados al turismo son de mayor envergadura. La urbanización contempla, además de su propio desarrollo, diferentes comodidades para el esparcimiento que implican un mayor consumo de agua (campos de golf, spa, jardines y canchas de polo). Asimismo, existe una tendencia arquitectónica en las últimas décadas a la creación de cuerpos lagunares artificiales que, si bien son impermeabilizados en su lecho, requieren de un constante aporte de agua a los efectos de mantener su volumen. En este sector se registran importantes

desarrollos urbanísticos, por ejemplo, Pinamar cuenta con 5 espejos de agua con un área promedio de 4200 m<sup>2</sup>, mientras que Punta Médanos posee 4 cuerpos lagunares cuya superficie media supera los 10000 m<sup>2</sup>.

La evolución paleoambiental explica las diferencias hidrogeológicas que apoyan estas características. En el sector sur, el perfil hidrogeológico con disponibilidad de agua dulce alcanza 45 m de profundidad y representa a dos eventos transgresivos regresivos ocurridos durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno. La posición media del nivel freático supera los 6 m b.b.p. Como consecuencia de la potencia de los depósitos arenosos (capas acuíferas), adquieren una mayor importancia las reservas de agua dulce disponibles, resultando que las reservas reguladoras alcanzan un valor de 77 mm/km. Las dunas naturales fueron modificadas por forestación, lo que se traduce en una modificación del balance hidrológico natural resultando que los excesos se reducen casi a la mitad en un suelo forestado respecto de un suelo arenoso desnudo. La existencia de los bosques de coníferas se sostiene debido a la presencia de mayores reservas de agua en este sector.

La relación consumo y área de los EU (Figura 8) permite advertir que en la mayoría de los casos el consumo diario se encuentra por debajo de los 1000 m<sup>3</sup> salvo los casos 6 y 7 los cuales se localizan en el Partido de La Costa (sur, sector de Punta Médanos). Llama la atención el consumo calculado para el emprendimiento 7 cuyo volumen es mayor a 10.000 m<sup>3</sup>/d mientras que el caso 5, si bien presenta prácticamente la misma superficie, dicho valor es 28 veces menor (370 m<sup>3</sup>/d). La principal diferencia reside en la planificación y uso del suelo para cada EU, en el caso de la urbanización 7 la proyección de habitantes alcanza los 35.000, e incluye un campo de golf y una zona hípica con cancha de polo la cual supone una demanda mayor de agua para irrigación. En cambio, el emprendimiento 5 no alcanza a los 1500 habitantes. Este proyecto arquitectónico ha sido orientado hacia la conservación de mayores sectores de duna y de ambiente natural.

Si el área de los EU se ubica por debajo de la línea de tendencia es interpretada como una región en la cual los emprendimientos muestran consumos sustentables o que el impacto al ciclo hidrológico es aceptable. Se podría establecer que, en términos generales, los emprendimientos presentan un nivel de consumo acorde con la superficie abarcada. No es así el caso del proyecto 7, en donde al evaluar dicha relación se advierte que representará a futuro una situación en donde el recurso hídrico se verá fuertemente afectado. Se podrían comprometer las reservas útiles explotables no descartando, además, la aparición de problemáticas asociadas con una inversión de gradientes hídricos a partir de conos de depresión o un avance de la interfase agua dulce - salada.

#### **CONCLUSIONES**

Las diferencias en la historia geológica del cordón costero del este de la Provincia de Buenos Aires condicionan las reservas de agua subterránea dulce. Ello tiene consecuencias directas en las características del desarrollo urbano y territorial. La comparación de dos sectores (norte y sur) muestra indicadores contrastantes en relación a la actividad turística.

El análisis comparativo de las actividades turísticas de dos zonas costeras (sector norte y sector sur) posibilitó relacionar la influencia del recurso hídrico subterráneo, única fuente de abastecimiento a la población, con el desarrollo socioeconómico de ambos sectores.

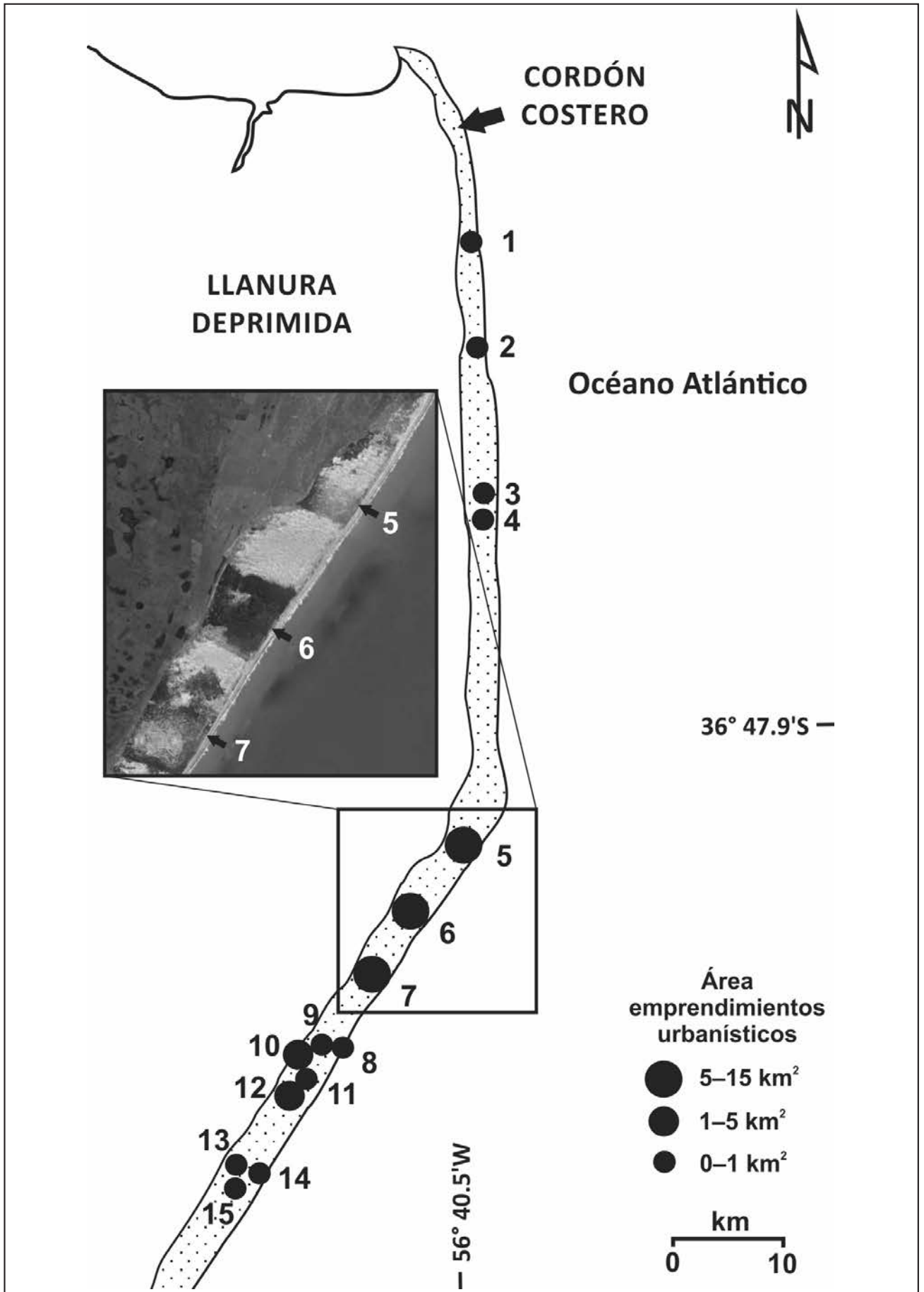


Figura 7. Distribución de los emprendimientos urbanísticos, áreas y relaciones entre superficies.

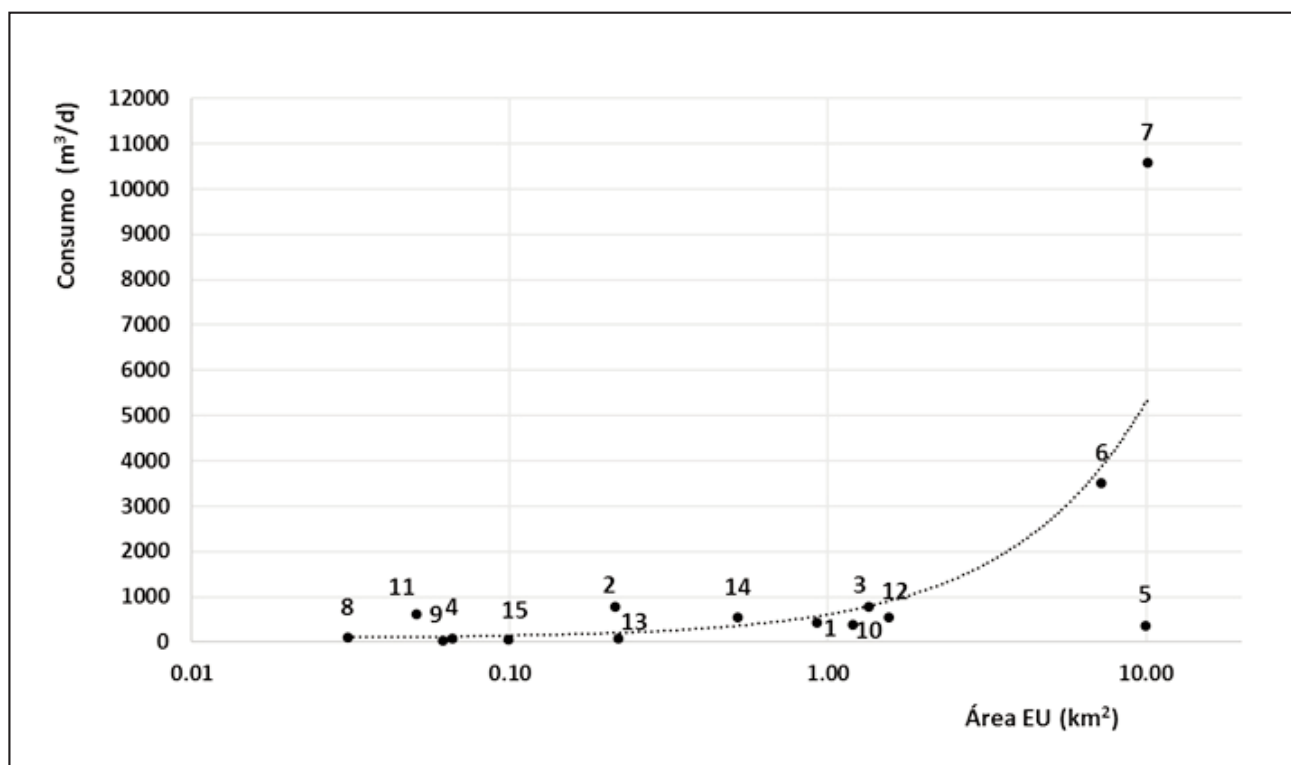


Figura 8. Relación consumo vs área de los emprendimientos urbanísticos (EU).

Asociado al marco hidrogeológico y la disponibilidad de agua dulce en el sector sur el agua subterránea explotable se asocia a la evolución paleoambiental holocena y pleistocena superior que generó 3 unidades acuíferas interrelacionadas, constituyendo un sistema cuyo espesor útil alcanza al menos los 45 m. En cambio, el sector norte se restringe a dos unidades acuíferas holocenas, cuyo espesor es del orden de 12 m.

Las características morfológicas y las mayores reservas de agua subterránea dulce del sector sur son indicadores de mejores condiciones para el crecimiento económico.

Esta situación se ve reflejada no sólo en una mayor densidad de habitantes en el sector sur, sino en un perfil del turista de alto poder adquisitivo con mayores inversiones y tiempos de estadía.

El desarrollo de complejos urbanísticos contempla la construcción y mantenimiento de lagunas artificiales y campos de golf entre otros. La forestación de bosques de coníferas, los cuales suponen una cuantiosa demanda hídrica, son considerados como una ventaja de oferta turística respecto al sector norte.

La tendencia de la relación consumo vs área EU es un indicador de base para una gestión sustentable del recurso

hídrico o para el reconocimiento de un impacto aceptable en el ciclo hidrológico. Esta relación puede constituir una pauta para alcanzar un turismo sustentable evitando los riesgos que implica la sobreexplotación de agua subterránea y la intrusión de agua salada en ambientes costeros. El desarrollo de una urbanización costera asociada a la disponibilidad de agua subterránea está condicionado por aquellos impactos negativos que pueden afectar las reservas de agua subterránea (intrusión salina, disminución de niveles de agua subterránea, contaminación por nitratos entre otros). Estudios de este tipo son necesarios también en la generación de políticas del manejo y uso del suelo, en particular en aquellos sectores en donde la producción de bienes y servicios se limita a una sola actividad. Tal es el caso de un desarrollo turístico de calidad o residencial, el cual supone una demanda considerable de agua.

El enfoque empleado puede ser utilizado por tomadores de decisiones de otras regiones con acuíferos costeros de similares características para evaluar la factibilidad de futuros emprendimientos turísticos basados en la disponibilidad del recurso hídrico asociado a la evolución paleoambiental del cordón costero.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ANDERSON, M. P., 1989.

Hydrogeological facies models to delineate large-scale spatial trends in glacial and glaciofluvial sediments. *Geological Society of American Bulletin*, Vol. 101:501-511.

ARBA (AGENCIA DE RECAUDACIÓN DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES).2015.

CartoArba, visualizador de cartografía catastral.

Disponibile en <https://www.carto.arba.gov.ar/cartoArba/application>, último acceso 22 de octubre de 2015.

- CARRETERO, S. Y KRUSE E., 2012.  
Relationship between precipitation and water-table fluctuation in a coastal dune aquifer: northeastern coast of the Buenos Aires province, Argentina.  
*Hydrogeology Journal*, Vol. 20: 1613–1621.
- CARRETERO, S. Y KRUSE E., 2015.  
Iron and manganese content in groundwater on the northeastern coast of the Buenos Aires province, Argentina.  
*Environmental Earth Science*, Vol. 73(5):1983–1995.
- CARRETERO, S.; KRUSE E. Y ROJO A., 2013.  
Condiciones hidrogeológicas en Las Toninas y Santa Teresita, Partido de La Costa.  
En: N. González, E. Kruse, M.M. Trovatto y P. Laurencena (eds) *Temas actuales en hidrología subterránea*, pp 28-35, La Plata, EDULP.
- CARRETERO, S.; PERDOMO S.; KRUSE E. Y AINCHIL J., 2016.  
Respuesta eléctrica de la zonación química en un nivel acuífero en la costa arenosa oriental de la Provincia de Buenos Aires.  
En: R. García y E. Mariño (eds) *Calidad del agua subterránea*, pp 93-100, Editorial Científica Universitaria - Secretaría de Ciencia y Tecnología - Universidad Nacional de Catamarca, San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca.
- CFI, 1989.  
Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Regiones I y II Punta Rasa-Punta Médanos.  
*Provincia de Buenos Aires Informe Final. Tomo II. Geología y Geomorfología*. 192 p.
- DURÁN VALSERO J.J.; FERNÁNDEZ M. L.; MATEOS RUIZ R. M. Y ROBLEDO ARDILA P.A. 2001.  
Las aguas subterráneas y los campos de golf. Una aproximación Integradora.  
In: Pulido Leboeuf P.A., Pulido Bosch A., Vallejos Izquierdo A. (Eds), *V Simposio sobre el Agua en Andalucía*, Vol. 2:61-68
- EL MRINI, A.; ANTHONY, E.; MAANAN, M.; TAAOUATI, M. Y NACHITE, M., 2012.  
Beach dune degradation in a Mediterranean context of strong development pressures, and the missing integrated management perspective.  
*Ocean & Coastal Management*, Vol.69: 299–306.
- GONZÁLEZ ARZAC R., PÉREZ SPINA R., GARAY R., VIZCAINO A., REMORINI G., CAMPOS A., RASCOVKY L., GARCÍA R. & BRAVO MOLINO R (1993).  
Estado actual de las fuentes subterráneas en Pinamar y Villa Gesell (Primera etapa: Pinamar).  
*Consejo Federal de Inversiones. Administración general de obras sanitarias*. 71p
- GÖSSLING, S., 2006.  
Tourism and water.  
En: S. Gössling, C.M. Hall (eds.), *Tourism & Global Environmental Change*, pp. 180–194, Routledge, London.
- HOF, A. Y SCHMITT, T., 2011.  
Urban and tourist land use patterns and water consumption: Evidence from Mallorca, Balearic Islands.  
*Land Use Policy*, Vol. 28: 792–804.
- INDEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA), 2010).  
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Buenos Aires.  
Disponible en <http://www.indec.gov.ar>, último acceso 15 de julio de 2015.
- LYMAN G.T. 2012.  
How Much Water Does Golf Use and Where Does It Come From?.  
*Environmental Programs, United States Golf Association. Golf's Use of Water: Challenges and Opportunities A USGA Summit on Golf Course Water Use, November 2012. Disponible en <http://usgatero.msu.edu/v11/216335.pdf>, último acceso 8 de octubre de 2015.* NICHOLS M. M. y ALLEN, G. 1981. *Sedimentary processes in coastal lagoons. In Coastal lagoon research, present and future*. pp 27-80. Paris: UNESCO. *Technical Papers in Marine Science*, 33.
- PARKER G. 1991.  
Caracterización geológica y geomorfológica del sector Punta Médanos-Pinamar:  
*Informe preliminar, provincia de Buenos Aires*. 44 pp.
- PARKER G. Y VIOLANTE R. A. 1989.  
Geología y Geomorfología. Regiones I y II. Punta Rasa - Faro Querandí. Provincia de Buenos Aires.  
*Convenio Consejo Federal de Inversiones y Servicio de Hidrografía Naval, Informe final*. 141 pp.
- PERDOMO S.; CARRETERO S.; KRUSE E. Y AINCHIL J., 2013.  
Identificación de la intrusión salina en Santa Teresita (Buenos Aires), mediante la aplicación de métodos eléctricos.  
En: N. González, E. Kruse, M.M. Trovatto y P. Laurencena (eds) *Temas actuales en hidrología subterránea*, pp 44-49, La Plata, EDULP.
- PLANAS, A. C.; GAVIÑO NOVILLO, M.; MENDIBURO, N.; CALCAGNO, A., Y URBANO JÁUREGUI, L. (2000).  
Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina. Buenos Aires:  
*JVP Consultores*

- RODRIGUES CAPITULO, L., 2015.  
Evaluación geohidrológica en la región costera oriental de la provincia de Buenos Aires.  
*Caso de estudio Pinamar. Tesis doctoral. La Plata: Facultad de Ciencias Naturales y Museo.*
- RODRIGUES CAPÍTULO, L. Y KRUSE E., 2011.  
Balance hidrológico en un área costera medanosa con forestación.  
*Caso de estudio: Partido de Pinamar (Provincia de Buenos Aires). VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Hidrogeología regional y exploración hidrogeológica. Actas del taller 2: 80-87, Salta.*
- RODRIGUES CAPÍTULO, L. Y KRUSE E., 2016.  
Relationship between geohydrology and Upper Pleistocene-Holocene evolution of the eastern region of the Province of Buenos Aires, Argentina.  
*Journal of South American Earth Sciences. Vol 76: 276-289*
- SECRETARÍA DE TURISMO, CULTURA Y EDUCACIÓN, MUNICIPALIDAD DE PINAMAR, 2015.  
Encuesta Enero-Febrero 2014. Buenos Aires, Pinamar.  
*Disponible en <http://www.repotur.gov.ar/handle/123456789/3875>, último acceso 22 de octubre de 2015.*
- SECRETARÍA DE TURISMO, DEPORTES Y CULTURA, MUNICIPALIDAD DE LA COSTA 2015.  
Encuesta de afluencia turística. Perfiles del visitante, consumo y valuación del destino turístico.  
Partido de La Costa. Buenos Aires.  
*Disponible en <http://lacosta.tur.ar/tlc/estadisticas/encuesta-afluencia-turistica>, último acceso 22 de octubre de 2015.*
- VIOLANTE R.A.; PARKER G. Y CAVALLOTTO J.L., 2001.  
Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56 (1): 51-66*

# INSTRUCCIONES PARA AUTORES

La Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente publica: Artículos Originales, Artículos Invitados, Notas Técnicas, Reseñas de Libros, Artículos especiales sobre casos de estudio históricos de interés relevante, Discusiones Técnicas breves de artículos y comunicaciones publicadas en la Revista y Anuncios de eventos.

En atención al procedimiento de arbitraje, se solicita a los autores leer y seguir estrictamente las siguientes instrucciones:

## a) De carácter general:

- Las contribuciones deben ser originales.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no ha sido publicado, total o parcialmente, con anterioridad.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no será publicado en otras publicaciones en cualquier idioma sin el consentimiento de los propietarios de los derechos de autor (o copyright), que los derechos de terceros (terceras partes) no serán violados y que el editor no será considerado legalmente responsable si existe algún reclamo de indemnización.
- Se podrán recibir trabajos escritos en español, portugués o inglés.
- El Comité Editorial y la Dirección de la Revista se reservan la posibilidad de invitar a especialistas reconocidos a enviar artículos sobre temas de interés específico

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

- La versión original deberá ser editada en Microsoft Word (.doc o .docx).
- En la primera página se deberá incluir el título del artículo, que debe ser conciso, informativo e indicativo del contenido del mismo y escrito sin utilizar abreviaturas. Se debe utilizar letra Times New Roman tamaño 12, mayúscula, negrita y centrado, sin subrayar.  
El título se debe expresar en español y en inglés. Si el trabajo está escrito en portugués, también se debe incluir en inglés. Si el trabajo está escrito en inglés, también se debe incluir en español.
- Debajo del título, el texto centrado, en letra Times New Roman tamaño 10, con los datos de los autor/es y afiliaciones. Los nombres de los autores se deben escribir en letra normal, las afiliaciones y direcciones de correo electrónico en letra cursiva. Se deberá identificar con un superíndice al autor que se deba dirigir la correspondencia.
- Desde la segunda página comienza el desarrollo del trabajo. En el caso que el idioma del trabajo sea español, se debe incorporar, en forma consecutiva, el "Resumen" de hasta 250 palabras, las "Palabras clave" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Abstract" y las correspondientes "Keywords". A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- En el caso que el idioma del trabajo sea inglés, la primera sección será el "Abstract" de hasta 250 palabras, seguido de las "Keywords" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Resumen" y las correspondientes "Palabras clave" en español. A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- En el caso que el idioma del trabajo sea portugués, la primera sección será el "Resumo" de hasta 200 palabras, seguido de las "Palavras chave" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Abstract" y las correspondientes "Keywords" en inglés. A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- Todo el texto deberá estar escrito en letra Times New Roman punto 12 a interlineado sencillo, con sangría de un centímetro y sin doble espacio entre párrafos. Se conservarán

los tipos de letra destacados que el autor considere convenientes, así como los correspondientes a determinados términos científicos o expresiones latinas o extranjeras. Deberá estar escrito en una sola columna.

- El tamaño de la hoja es A4 (210 x 297 mm). El área de trabajo será de 170 mm de ancho y 247 mm de altura. Es decir, 20 mm de márgenes derecho e izquierdo y márgenes superior e inferior de 25 mm. Se debe usar justificación completa.
- La extensión no deberá superar las 20 páginas en el caso de Artículos Originales. En el caso de Artículos Invitados la extensión podrá ser superior, siempre que el interés del contenido lo justifique y previo acuerdo con la Dirección de la Revista y el Comité Editorial. En el caso de las Notas Técnicas la extensión no deberá superar las 3 carillas, y en el resto de las situaciones mencionadas una página. En todos los casos la fuente y los márgenes se conservan.
- Es obligatorio el uso del sistema métrico decimal.
- Cuando una abreviatura, o un acrónimo, aparezca en el texto por primera vez, su significado deberá ser aclarado en forma completa entre paréntesis.
- No se aceptarán notas de pie de página. La información respectiva deberá incorporarse en el texto.
- Las expresiones matemáticas deben ser elaboradas con el procesador de texto y formar parte del mismo. Las ecuaciones deben estar centradas y separadas por una interlínea. Todas las ecuaciones deben estar numeradas consecutivamente, usando numerales en paréntesis alineados al margen derecho. La secuencia de paréntesis deberá ser la usual en Matemática:}}).
- Las fórmulas deben ser digitadas. Deje un espacio amplio alrededor de la fórmula.
- Los subíndices y superíndices deben ser claros.
- Los caracteres especiales y otras letras no latinas deben ser explicados en el margen, donde sean usados por primera vez. Tenga especial cuidado en diferenciar entre cero (0) y la letra "o", y entre uno (1) y la letra "l".
- Proporcione el significado de todos los símbolos inmediatamente después de la ecuación en la que son usados por primera vez.
- Para fracciones simples use el símbolo "/" en lugar de la línea horizontal; por ejemplo:  $Sy/Xm$  en lugar de  $\frac{Sy}{Xm}$
- En las fórmulas químicas deben especificarse la valencia de los iones como, por ejemplo,  $Ca^{2+}$  y  $CO_3^{2-}$ , no como  $Ca^{++}$  o  $CO^{-3}$ .
- Los números de isótopos deben indicarse mediante un superíndice antecediendo a los símbolos químicos, por ejemplo:  $^{18}O$ .
- Donde sea posible se debe evitar la escritura repetida de fórmulas químicas en el texto. En lugar de ello se debe dar el nombre completo del compuesto. Se exceptuarán aquellos casos de nombres muy largos y frecuentes, o de compuestos que son descritos como el producto final de una determinación gravimétrica (ejemplo: fosfato como  $P_2O_5$ ).

## c) Sobre el formato de figuras y tablas:

- Se incluirán como figuras todas las ilustraciones, mapas, fotografías, gráficos, etc., presentes en el texto, que deberán llevar numeración arábiga correlativa por orden de aparición y se ajustarán al tamaño de la caja.  
Las ilustraciones deben diseñarse teniendo en cuenta el formato de la página de la revista. Su tamaño original debe permitir una reducción del 50%, sin pérdida de claridad. Deben

tener una resolución mínima de 300 dpi.

- Se deben evitar los espacios en blanco sobrantes alrededor de la figura, o la presencia de grandes sectores sin información en el interior de la misma.
- Todas las figuras llevarán su correspondiente leyenda, inmediatamente después de la misma, la que no se debe incluir en el cuerpo de la figura. Se usará letra Times New Roman punto 12, a interlineado sencillo. La figura y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Figura n: donde n es el número de orden que corresponda. Se recomienda que las leyendas sean cortas y concisas.
- Las figuras serán citadas en el texto como (Figura n), siendo n el número de orden que corresponda, sea directamente como Figura 1, por ejemplo, o bien entre paréntesis como (Figura 1). Se deberán limitar, como máximo, a una caja de 15 x 23 cm, debiendo considerar el espacio ocupado por el epígrafe. Se las deberá enviar como archivos individuales en uno de los formatos aceptables (.tif, .jpg, .pdf o .eps). No se aceptan archivos incluidos en documentos de otros formatos, como Word o PowerPoint, por ejemplo. En el caso de una figura compuesta por varias imágenes las mismas deberán estar debidamente identificadas con una letra en la esquina inferior derecha de la misma.
- Las fotografías (y figuras en formato raster con tono continuo) deben ser pancromáticas, contrastadas, claras y con una luz adecuada, ni demasiado clara ni oscura. Deben ser enviadas como archivos .tif, .jpg, .pdf o .eps. No se aceptarán fotografías en color. Las fotografías en color serán reproducidas en escala de grises, salvo que él o los autores del trabajo se hagan cargo de la diferencia de costos.  
Deberán incluir escala, vertical y horizontal en caso de ser distintas, cuando no existan elementos en la misma que permitan su dimensionamiento (escala, cinta métrica, martillo geológico, brújula, vehículo, etc.).
- Las figuras delineadas o dibujos deben ser contrastados y claros.
- Las figuras de tipo mapa deben estar orientadas, incluir escala gráfica e indicación de la localización geográfica (trazas UTM o Lat/Long). Deberán tener referencias adecuadas a los símbolos, rastras, etc. utilizados. No se aceptarán mapas en color. Los mapas en color serán reproducidos en escala de grises, salvo que él o los autores del trabajo se hagan cargo de la diferencia de costos.
- Se debe utilizar la misma tipografía en todas las ilustraciones.
- Los gráficos deben poseer ejes de coordenadas correctamente rotulados y con indicación de la unidad de medida correspondiente, en el caso que corresponda.
- Las tablas deben ser remitidas en páginas separadas, indicando su ubicación dentro del texto. Se deben remitir como archivo de texto y no como imagen.
- Las Tablas serán citadas en el texto iniciando con mayúscula en citas directas, o indirectas entre paréntesis. Es decir como Tabla 1, o bien (Tabla 1).
- La información presentada en las tablas no debe aparecer repetida en las figuras.
- Cada tabla debe llevar, del mismo modo que las figuras, una leyenda breve y explicativa, en la parte inferior. Se usará letra Times New Roman punto 12, a interlineado sencillo. La tabla y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Tabla n: donde n es el número de orden que corresponda.

#### **d) Sobre las referencias bibliográficas y las citas de trabajos de otros autores**

- No se admite la reproducción de figuras o tablas originales

de otros artículos o capítulos de libros si no se dispone de la autorización expresa de quién detente los derechos, es decir de la editorial responsable de la publicación correspondiente o bien del autor o los autores. La reproducción autorizada de tablas, fotografías u otras ilustraciones procedentes de otros trabajos deberá incorporar en el epígrafe la cita del trabajo original de donde fue obtenido. Con respecto a las figuras, en el caso que la misma se reelabore, o de una tabla, que sea editada, se deberá indicar “modificada a partir de ...” seguido de la cita del artículo original.

- A los autores que deseen incluir figuras tablas o secciones completas de texto que ya han sido publicados en otras publicaciones, se les requiere obtener el permiso del/de los propietario/s del copyright y que incluyan evidencias que dicho permiso ha sido concedido al presentar sus artículos. Todo ello sin perjuicio que otras inclusiones de párrafos, definiciones, conceptos o clasificaciones provenientes de otros autores puedan ser aceptadas con la cita expresa de la referencia correspondiente. Cualquier material recibido sin esa documentación será considerado como originado por los autores, quienes, por lo tanto, deberán asumir la responsabilidad legal correspondiente.
- Las referencias bibliográficas serán incluidas bajo el título de TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO. Las mismas deberán estar ordenadas alfabéticamente.
- La cita de trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores (en mayúsculas) y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: (Caminos, 1975). En caso de ser más de dos autores se usará et al. (en itálica, sin subrayado ni negrita). Cuando se cite más de un trabajo del mismo autor se separarán por una coma, por ejemplo: Caminos (1956, 1978). En el caso de ubicar varios autores dentro del paréntesis se separarán entre ellos por un punto y coma. Si se citan varios trabajos del mismo autor y del mismo año se agregarán, a continuación del año, letras, de acuerdo al orden de aparición en el texto.
- Las citas bibliográficas estarán justificadas a la izquierda y la segunda línea tendrá una sangría especial francesa de 15 puntos ó 0,75 cm.
- Los artículos en publicaciones periódicas se citarán empleando texto en cursiva sea para el título de la revista o actas de congreso o reunión científica, en el caso de artículos o el título del libro, en el caso de textos:  
CARRANZA TORRES, C.M., 1991. Cálculo analítico de redes de filtración. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Vol. VI: 250-267.
- Los artículos en textos:  
MATEOS RUIZ, R.M. y M. FERRER GIJÓN, 1994. Methodology for landslides hazard map 1:10,000 in the area of Monachil (Granada, Spain). En R. Oliveira, L.F. Rodrigues, A.G. Coelho & A.P. Cunha (eds.), 7th International Congress International Association of Engineering Geology, Vol III: 2059-2064, Rotterdam.
- Los libros de textos:  
DEARMAN, W.R., 1991. Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann Ltd, 387 pp. Oxford.
- En el caso de citar un párrafo o frase de otro trabajo, éste deberá aparecer entre comillas y cursiva, acompañada de la correspondiente cita. Por ejemplo, ..... según Casio et al., (1980), “la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma” ... o bien directamente “la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma” (Casio et al., 1980).
- Las citas correspondientes incluirán a la totalidad de los autores. Ejemplo para Casio et al., (1980):

---

CASIO, M.; MARCINUS, F; SALINA, R y HUBBARD, R.T., 1980. La caída del imperio romano. *Revista de Occidente*, Vol 180: 224-234.

- Las citas correspondientes de páginas Web se efectuarán de acuerdo al siguiente modelo: Barker, A and C Jones 2007. Reassessing the direction of postgraduate environmental assessment education: the Manchester experience 1996–present. En *Environmental Assessment Lecturer's Handbook*, ed. T B Fischer et al., pp. 29-38. Disponible en <<http://www.penta-eu.net>>, ultimo acceso 28 de Junio de 2010.

#### e) Notas Técnicas

- Es un artículo original que describe un proceso o técnica sin incluir, necesariamente, una exposición teórica y datos. También puede referirse a un estudio de caso, el que por

lo novedoso de los datos que se obtienen o de las técnicas utilizadas, el/los autor/es consideran de interés su difusión. La extensión total del manuscrito, que no debe superar las 3 (tres) páginas y ajustarse a los parámetros mencionados en el punto b, incluye Resumen, Abstract, palabras clave, keywords, hasta 2 (dos) figuras y una tabla acorde a lo establecido en el punto c. Las referencias bibliográficas deberán respetar lo establecido en el punto d.

#### f) Arbitraje

- La evaluación por pares es efectuada mediante el envío del original a dos evaluadores. En el caso de disparidad de opiniones, se remite a un tercer evaluador.
- Los Editores se reservan la posibilidad de tomar la decisión final en el caso que la tercera evaluación no establezca si el artículo debe ser aceptado, o no, para su publicación.





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

**FORMULARIO DE SUSCRIPCIÓN O COMPRA**

ENVIAR A:

**Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería**

Maipú 645 - Piso 1° - C1006ACG

Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

(Una vez completado el formulario envíelo a la dirección antes mencionada)

1. Suscripción a la *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, por el corriente año (marcar la siguiente casilla) [ ]

2. Deseo adquirir los números *atrasados*:

\_\_\_\_\_ [ ]

3. Deseo comprar los artículos:

\_\_\_\_\_ [ ]

Indique si desea recibir su pedido en formato *papel* (por correo tradicional), o en formato *electrónico en fichero pdf* (por correo electrónico):

**FORMA DE PAGO**

Adjuntando cheque a nombre de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería.

Mediante depósito en la Cuenta Corriente N° 20566/5 Sucursal 115 del Banco Santander Río

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

CBU 0720 11542 000000 2056654

Solicitud de *factura* para pago mediante transferencia.

**PRECIO DE COMPRA (Desde 01-04-2017):**

**Para Argentina:** Gastos de envío incluidos.

- Compra de número vigente: **1100** Pesos
- Compra de número atrasado: **880** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **330** Pesos por artículo

**Para el exterior:** Gastos de envío no incluidos.

- Compra de número vigente: **61** Dólares
- Compra de número atrasado: **49** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **18** Dólares por artículo

**PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 01-04-2017):**

**Para Argentina:** Gastos de envío incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **1350** Pesos, en formato electrónico, y **2200** Pesos en edición papel
- Suscripción Instituciones: **5400 / 8800** Pesos
- Compra de número atrasado: **880** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **330** Pesos por artículo

**Para el exterior:** Gastos de envío no incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **75** Dólares, en formato electrónico, y **122** Dólares en edición papel
- Suscripción Instituciones: **244 / 440** Dólares
- Compra de número atrasado: **49** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **18** Dólares por artículo

**Envíos fuera de Argentina:** se añadirán gastos de envío a los precios anteriormente señalados. Ver tarifas de correos en: [www.correoargentino.com.ar](http://www.correoargentino.com.ar)

*Quienes quieran asociarse a la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería encontrarán información a tal efecto en [www.asagai.org.ar](http://www.asagai.org.ar)*

**Los Socios de ASAGAI reciben sin cargo alguno la revista.**



# 1º Congreso Argentino de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



Ex estación de trenes (FFCC San Martín).  
Hoy Centro Cultural de la  
Municipalidad de San Luis

**Ciudad de San Luis**

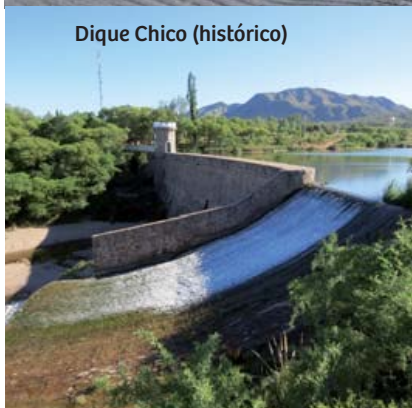
**22, 23 y 24 de agosto de 2018**



Salinas del Bebedero.  
Explotación de Sal. Prou. de San Luis



Vertedero principal  
Dique de La Florida



Dique Chico (histórico)

Organiza



**ASAGAI**  
ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Contacto: [congreso@asagai.org.ar](mailto:congreso@asagai.org.ar)

# 1º Congreso Argentino

## de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

### Temario:

#### Aspectos geológico-ingenieriles en la construcción de obras y patologías de terrenos

- Estudios geológicos y geotécnicos en el proyecto y construcción de obras de ingeniería.
- Investigación científico tecnológica: Aspectos geomecánicos (resistencia y deformabilidad) e hidráulicos (permeabilidad) de suelos y rocas (macizos rocosos) en la excavación y fundación de obras de ingeniería.
- Casos de obras.
- Geología Aplicada a la actividad minera.
- Geología Aplicada a la Ingeniería Vial y Ferroviaria.
- Geología Aplicada al proyecto y construcción de molinos eólicos y parques fotovoltaicos.
- Geología Forense (estudios de patologías del terreno y sus consecuencias).
- Auscultación geológico-geotécnica de las obras de ingeniería.
- Materiales de construcción.

#### Aspectos geológicos relacionados con:

- la energía geotérmica.
- la energía hidráulica.
- los sensores remotos.
- la geoquímica aplicada.
- la geofísica aplicada.

#### Cartografía temática

- Mapas de peligrosidad, susceptibilidad y riesgo.
- Mapas geotécnicos.
- Mapas de ordenamiento territorial.

#### Geología ambiental

- Conservación de la roca ornamental.
- Contaminación y degradación de recursos naturales.
- Evaluación ambiental de planes, proyectos y obras.
- Geoindicadores.
- Recuperación y rehabilitación de espacios degradados.
- Pasivos ambientales (depósitos de residuos domiciliarios e industriales, pasivos mineros, pasivos petroleros, abandono de sitios utilizados como obradores, etc.).

#### Geología Urbana y el Ordenamiento Territorial

- El ordenamiento del territorio y la geomorfología aplicada.
- Ordenamiento territorial urbano, estudios geológicos y geotécnicos vinculados.
- Impacto ambiental de intervenciones en áreas urbanas.

#### Geología costera

- Problemática del retroceso costero: natural o inducido.
- Urbanizaciones y ordenamiento territorial: crecimiento, impactos ambientales y planificación.
- Manejo costero (restauración de dunas y playas, medidas estructurales y no estructurales, etc.).

## **Ciudad de San Luis.**

**22, 23 y 24 de agosto de 2018**

- *Alteraciones a la dinámica litoral (perfil de playa, desbalance sedimentario, etc.)*
- *Explotación de acuíferos y de áridos en zonas costeras.*
- *Contaminación costera y calidad ambiental de playas*
- *Geomorfología y paisaje costero.*
- *Gestión de playas.*

### **Geología y las patologías profesionales**

- *Afecciones a la salud de origen geológico: asbesto, fluorosis, contaminación minera, etc.*

### **Geomecánica**

- *Ensayos de mecánica de rocas, suelos y hormigones.*
- *Geomecánica de macizos rocosos.*
- *Geomecánica aplicada a la explotación de recursos naturales (agua, hidrocarburos, minería).*
- *Modelado geomecánico.*

### **Gestión integrada de recursos hídricos**

- *Hidrología subterránea.*
- *Hidrología superficial.*
- *Inundaciones.*
- *Modelado de acuíferos con relación a proyectos de ingeniería, acuíferos costeros e intrusiones marinas.*

### **Parques Geológicos, Geoturismo y Educación.**

- *Geoparques y geositios.*
- *Gestión de áreas protegidas.*
- *Gestión de proyectos de geoparques: casos de estudio*
- *Patrimonio geológico.*
- *Protección de sitios de interés geológico-paleontológicos.*

### **Riesgo geológico**

- *Erosión y carcauamiento.*
- *Expansividad y colapsabilidad de suelos.*
- *Hundimientos y subsidencias.*
- *Impacto de meteoritos y cuerpos estelares.*
- *Problemática ligada a las Inundaciones.*
- *Movimientos de ladera: reptación y deslizamientos. Estabilidad de laderas y taludes.*
- *Sismos: licuefacción de suelos, fallas activas, tsunamis, seiches, efectos directos.*
- *Volcanismo activo.*

### **Mesa Redonda**

- *Enseñanza de la geología aplicada en la carrera de grado de Geología.*

### **Encuentro de Jóvenes Profesionales y Estudiantes avanzados**

*El programa contempla presentaciones a cargo de conferencistas y sesiones técnicas que permitirán a los autores de los resúmenes aceptados exponer en forma oral, o de póster, su propuesta.*



# Grupo Sub40

En el marco del 11° Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente, llevado a cabo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires los días 27 y 28 de agosto de 2015, se desarrolló la primera reunión del Grupo Sub40, el cual reúne al espectro de jóvenes asociados a ASAGAI que desarrollan sus actividades profesionales, laborales y/o académicas en diversas ramas de la Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente.

El Grupo Sub40 nace como respuesta a la necesidad de generar un espacio donde intercambiar opiniones e inquietudes, relacionadas con los intereses específicos de los jóvenes asociados. A lo largo de estos dos años sus integrantes han ido construyendo y fortaleciendo vínculos, compartiendo ideas e informaciones de interés, relacionadas con ofertas laborales, capacitaciones, grupos de trabajo, entre otras.

El Grupo Sub40 se consolida como la delegación argentina del Young Engineering Geologist Committee de la IAEG, lo que genera la oportunidad de interactuar con jóvenes de todo el mundo, y mantenerse actualizados en las últimas tendencias.

Algunos de los temas planteados en las reuniones periódicas del Grupo, se relacionan con:

**Cuota Estudiantil:** Se implementó una tarifa reducida del 50% en la membresía anual para estudiantes de grado, sumado a descuento especial para los cursos y congresos que organice ASAGAI. Asimismo en el corriente año se planteó a la Comisión Directiva la posibilidad de abonar la membresía anual en dos cuotas, lo cual fue bien aceptado y se implementó.

**Cursos:** A partir de una iniciativa del Grupo Sub40, se planteó a la Comisión Directiva de la ASAGAI la posibilidad de dictar cursos a distancia, a fin de salvar las distancias geográficas, compatibilizar las limitaciones de horarios y reducir los costos de inscripción.

**Difusión:** Se propuso la idea de organizar un ciclo de charlas a los estudiantes de geología con el objetivo que los jóvenes profesionales cuenten sus primeras experiencias en los distintos campos de la geología aplicada, respondiendo a las inquietudes de los alumnos sobre su inmediato futuro laboral y académico. En este sentido, resulta indispensable la participación de los Sub40s de todo el país.

**Grupos Temáticos:** A partir de una actualización de los datos e intereses de cada uno de los integrantes del Grupo, se han detectado áreas de interés común que podrían justificar la creación de grupos temáticos de trabajo. Los grupos temáticos que se establezcan lo harán en base a un reglamento recientemente definido y deberán mantenerse activos, con la participación de al menos un representante del Grupo Sub40.

**Convenios:** Se han firmado convenios con ICOG, SAIG y AGA, a partir de los cuales todos los miembros de ASAGAI gozarán de los mismos beneficios en cursos y congresos que los de dichas entidades.

**Comunicación:** A fin de mantener informados a los miembros del grupo y participar en un intercambio de ideas descentralizado y federal se abrieron distintos canales de comunicación, fundamentales para aquellos que por cuestiones de distancia o tiempo se les hace difícil la participación en las reuniones periódicas del Grupo.

Los invitamos a mantenerse en contacto, enviar sus ideas y sugerencias, y participar activamente del Grupo Sub40, a través de sus canales de comunicación:

[www.facebook.com/asagaidifusion](https://www.facebook.com/asagaidifusion)

[sub40@asagai.org.ar](mailto:sub40@asagai.org.ar)

Si desea ser incluido en el grupo de WhatsApp, puede enviarnos sus datos por correo electrónico.



Copyright  
© Editorial ASAGAI. 2017  
Printed in Argentina

Se terminó de imprimir en Junio de 2017